НАУКА И ТЕХНИКА ТРАНСПОРТА

ISSN 2074-9325



Транспорт

Моделирование транспортных процессов

Безопасность деятельности человека

2025 2

Наука и Техника Транспорта

Научно-технический журнал



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

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

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

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

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

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

Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ).

Редакция не несет ответственности за представленные материалы. Мнение редакции может не совпадать с мнением автора. Рукописи рецензируются и не возвращаются. Использованы фотоматериалы из открытых источников. Обложка: фото 1,2,4 стр. (автор Д.Н. Тихонычев).

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

Подписано в печать 25.06.2025.

Усл. печ. л. 15,75 Тираж 60 экз.
Формат 60×90 1/8. Тип. зак. 7

© Наука и техника транспорта, 2025

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

Главный редактор
В.И. Апатцев
Ответственный редактор
В.А. Бугреев
Ответственный секретарь
В.А. Кочнев
Редакторы
Д.Н. Тихонычев, В.К. Тихонычева

2' 2025

Содержание

Транспорт



С.П. Вакуленко, В.И. Апатцев, К.А. Калинин, А.Д. Ершов
Апробация алгоритма определения размеров движения грузовых поездов в общих сечениях их проследования **8**



А.С. Космодамианский, В.И. Воробьев, О.В. Измеров, А.Е. Карпов
Концепция энергосберегающей экипажной части локомотива **19**



Д.Г. Евсеев, А.С. Богачев
Возможности повышения межремонтного пробега гидравлических гасителей колебаний пассажирских вагонов путем изменения конструкции и материала втулок в головках гасителей **30**



Л.Н. Иванкова, А.В. Подорожкина, А.Н. Иванков
Принципы реконструкции горловин для повышения пропускной способности станции **34**



Д.И. Бодриков, В.П. Смирнов, Т.Н. Фадейкин, Н.С. Русаков
Безотказность тяговых электродвигателей электровозов юго-западного направления Восточного полигона **40**



П.С. Сиделев, Е.Ю. Минаков, Н.И. Федоринин
Стрелочный перевод Р65 М1/25 для ВСЖМ-1. Теоретические основы построения структуры переводных, замыкающих и контрольных устройств **44**



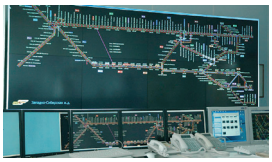
Е.Г. Максаев, Д.Н. Шевченко
Методология анализа отказов узлов железнодорожного подвижного состава в действующих системах для оценки их технического состояния и ремонта **53**



Р.А. Раенко, Т.А. Рудницкая, С.Л. Рудницкий
Математическая модель системы питания для электроснабжения скоростных электровозов **59**

Содержание

Моделирование транспортных процессов



Д.В. Ефанов, Е.М. Михайлюта
Способы информационного сопряжения систем автоматизированного мониторинга объектов железнодорожной инфраструктуры с системами управления движением поездов **63**



О.В. Дружинина, К.Д. Степанов
Оценка вибрационных воздействий транспортных потоков на объекты городской инфраструктуры с использованием современных программных решений **71**

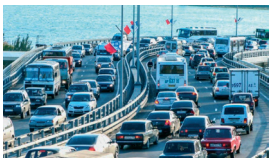


С.Е. Иконников, Цзэчэнь Мао
Интеллектуальные алгоритмы централизованного управления и их применение на железных дорогах КНР **80**



П.А. Козлов, В.С. Колокольников, К.М. Тимухин
Структурно-функциональное взаимодействие в системах железнодорожного транспорта **85**

Безопасность деятельности человека



А.Р. Муратова, М.В. Графкина
Новые подходы к моделированию и анализу показателей производственного травматизма на транспорте **89**



Д.В. Климова
Формирование модели обеспечения безопасности труда работников транспортной отрасли **95**



Ю.В. Пименова
Оценка фактического питания работников ремонтно-путевого комплекса **105**

Содержание



О.А. Васюкова, М.В. Капустина, О.С. Сачкова
Особенности сброса поверхностных сточных вод в существующие сети водостока: экологические аспекты и последствия **112**



Д.В. Давыдов
Анализ методов обеззараживания воздушной среды в системах вентиляции и кондиционирования общественного транспорта **117**

CONTENTS

Transport

S.P. Vakulenko, V.I. Apattsev, K.A. Kalinin, A.D. Ershov
Approbation of an Algorithm for Determining the Size of Freight Trains in the General Sections of Their Passage **8**

The article describes the stages of application of the algorithm developed by the authors in modeling the operation of railway infrastructure using the example of a large railway hub with a complex structure and nonlinear communication between stations, having stations for mass formation and disbandment of train flows.
Key words: traffic flows, freight transportation, railway junction, traffic size, infrastructure operation

A.S. Kosmodamiansky, V.I. Vorobyov, O.V. Izmerov, A.E. Karpov
The Concept of an Energy-efficient Locomotive Carriage **19**

The issue was considered and the need to create a concept for an energy-efficient locomotive carriage was identified. The formulation of the concept and basic requirements are proposed. As an example of the concept implementation, it is recommended to use two-axle trolleys with a wheel diameter of 1250 mm in the carriage.
Key words: locomotive traction, wheel coupling with rail, anti-boxing devices, locomotive traction drive

D.G. Evseev, A.S. Bogachev
The Possibility of Increasing the Inter-repair Mileage of Hydraulic Vibration Dampers of Passenger Cars by Changing the Design and Material of the Bushings in the Heads of the Dampers **30**

The article discusses the design of the heads of hydraulic vibration dampers of passenger cars with a detailed analysis of the materials used in the manufacture of bushings in the heads of dampers. Based on the analysis of the characteristics of these materials, as well as taking into account the aggressive environment in which the extinguisher operates, the main disadvantages of the materials used and the possibility of replacing them with more wear-resistant ones are identified.
Key words: hydraulic vibration dampener, passenger car, rubber compounds, sleeve materials

L.N. Ivankova, A.V. Podorozhkina, A.N. Ivankov
Principles of Neck Reconstruction to Increase the Capacity of the Station **34**

Proposals for the reconstruction of station necks for the passage of mixed train traffic, including long-train and regular-length trains, have been considered. The main costs of reconstruction measures to increase the capacity of the station have been established.
Key words: reconstruction of the necks, ensuring the required capacity of the station

D.I. Bodrikov, V.P. Smirnov, T.N. Fadeikin, N.S. Rusakov
Reliability of Traction Electric Motors of Electric Locomotives of the South-western Direction of the Eastern Landfill **40**

It was found that the reliability of TED NB-418K6 anchors is 3.13 times higher than the reliability of TED NB-514 anchors. The reliability of the TED NB-418K6 is 2 times higher than that of the NB-514 engines. In this article, it is proposed to modernize TED NB-514, NB-514B, NB-514D and NB-514E electric locomotives VL85 and 2,3,4ES5K, taking into account the positive operating experience of TED NB-418K6.
Key words: Eastern polygon of Russian Railways, electric locomotives, traction electric motors, TED anchors, reliability, TED modernization

P.S. Sidelev, E.Y. Minakov, N.I. Fedorinin
Switch Switch R65 M1/25 for VSZHM-1. Theoretical Foundations of the Structure of Transfer, Closing and Control Devices. **44**

The organization and development of high—speed and high-speed railways in Russia with train speeds up to 200-400 km/h is one of the priorities facing the Russian Railways company today.
Key words: switchboard, electric switchboard drive, switch headset, wit, frame rail, external circuit breaker

CONTENTS

E.G. Maksaev, D.N. Shevchenko
Methodology for Analyzing Failures of Railway Rolling Stock Components in Existing Systems to Assess their Technical Condition and Repair 53

The article discusses the features of failure analysis of locomotive components to assess their technical condition and repair. An approach based on the failure modes and consequences analysis method is described in order to identify and assess potential risks associated with failure of rolling stock components. The applied features of the method are considered on the example of failure of the locomotive braking system.
Key words: rolling stock, brakes, analysis, failure, risk

R.A. Raenko, T.A. Rudnitskaya, S.L. Rudnitsky
Mathematical Model of the Power Supply System for High-speed Electric Locomotives 59

A structural scheme of a guaranteed power supply system for a high-speed electric locomotive is proposed, in which electricity is transmitted from the contact network to the wagons using an electromechanical unit, which consists of three units connected by a common shaft: a contactless DC motor, a synchronous generator with permanent magnets and a valve generator.
Key words: permanent magnet, stator, rotor, winding, shaft, mode, synchronous motor, generator

Modelling of transport processes

D.V. Efanov, E.M. Mikhaylyuta
Methods of Information Coupling of Automated Monitoring Systems of Railway Infrastructure Facilities with Train Traffic Control Systems 63

Some ways of information coupling of automated monitoring systems of railway infrastructure facilities with train traffic control systems are proposed. Information coupling is carried out through linking with railway automation and telemechanics systems and requires certification and proof of the safety of monitoring systems to use data on the condition of diagnostic facilities in the control loop.
Key words: train traffic control system, information interface of systems

O.V. Druzhinina, K.D. Stepanov
Assessment of Vibration Effects of Traffic Flows on Urban Infrastructure Facilities Using Modern Software Solutions 71

The issues of the development of algorithmic and software for the automated assessment of the vibration effects of traffic flows on infrastructure facilities, performed on the basis of simulation modeling and expert knowledge, are considered. The features of the representation and integration of data from field measurements of vibrations are described using the example of vibration loads created by the movement of subway trains.
Key words: vibration effects, traffic flows, modeling, automated system, monitoring

S.E. Ikonnikov, Zechen Mao
Intelligent Centralized Management Algorithms and Their Application on Chinese Railways 80

The article discusses the centralized management algorithms used on Chinese railways, the features of their models, taking into account the current restrictions. The features of the structure and the results of the application of an intelligent train traffic control system based on a centralized automated dispatch system are investigated.
Key words: train traffic control, dispatch control system, automation levels

CONTENTS

P.A. Kozlov, V.S. Kolokolnikov, K.M. Timukhin
Structural and Functional Interaction in Railway Transport Systems **85**

The problem of structural imbalances arising at the design stage of railway stations and landfills is considered. The direct elimination of structural errors would require serious material costs. The authors propose a way to reduce the negative effects of imbalances by technological means. The experiments were carried out on a polygon model built using an IOMETER simulation system.
Key words: railway station, landfill, technology, simulation modeling

Safety of human activity

A.R. Muratova, M.V. Grafkina
New Approaches to Modeling and Analyzing Occupational Injury Rates in Transport **89**

The results of the analysis of the statistics of occupational injuries in vehicles according to the data of the State Labor Inspectorate in the Moscow region are presented. An average model of the seasonal component of the time series and an age component model are constructed using the Excel software environment. The results can be used in carrying out control and supervisory measures to prevent and minimize accidents at work.
Key words: occupational injuries, road transport, statistical data, time series

D.V. Klimova
Formation of a Model for Ensuring the Safety of Workers in the Transport Industry **95**

The article describes a model for ensuring the safety of workers in the transport industry. The use of algorithms for dynamic analysis of data monitoring the working conditions of railway transport workers will expand the apparatus for assessing working conditions and conduct targeted formation of a system of preventive measures.
Key words: technosphere safety, non-stationary workplace, sanitation, working conditions, railway transport, monitoring of working conditions

Yu.V. Pimenova
Assessment of the Actual Nutrition of the Workers of the Repair and Track Complex **105**

The results of a study of the state of actual nutrition and vitamin and mineral security of workers engaged in railway track repairs are presented. An imbalance of the diet in terms of basic nutrients has been established, a low quota of carbohydrates and a deficiency of essential vitamins have been identified. Taking into account the assessment of nutritional status, a nutrition program has been developed aimed at enriching the workers' diet with essential nutrients (vitamins and minerals), protecting the body from adverse production conditions, and improving working capacity.
Key words: track fitters, workers of the track repair complex, actual nutrition, menu layout, nutritional value of the diet, unfavorable production factors

O.A. Vasyukova, M.V. Kapustina, O.S. Sachkova
Features of Surface Wastewater Discharge into Existing Drainage Networks: Environmental Aspects and Consequences **112**

The article discusses problematic issues arising in the treatment of surface wastewater during the construction and operation of railway facilities, and considers measures to reduce the negative impact on the environment.
Key words: wastewater, pollutants, maximum permissible concentrations, local sewage treatment plants

D.V. Davydov
Analysis of Methods of Disinfection of the Air Environment in Ventilation and Air Conditioning Systems of Public Transport. **117**

An overview of methods of disinfection of the air environment is presented. The analysis of the applicability of disinfection methods in ventilation and air conditioning systems of public transport is carried out, conclusions are drawn about the most effective and safe methods of disinfection of the air environment of vehicles.
Key words: assessment of the effectiveness and safety of the use of various methods of air disinfection in transport, air disinfection installations

АПРОБАЦИЯ АЛГОРИТМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЗМЕРОВ ДВИЖЕНИЯ ГРУЗОВЫХ ПОЕЗДОВ В ОБЩИХ СЕЧЕНИЯХ ИХ ПРОСЛЕДОВАНИЯ



С.П. Вакуленко



В.И. Апатцев

В статье изложены этапы применения разработанного авторами алгоритма при моделировании работы железнодорожной инфраструктуры на примере крупного железнодорожного узла, обладающего сложной структурой и нелинейной связью между станциями, имеющего станции массового формирования и расформирования поездопотоков.

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

EDN: KPUTXB

В статье [1] описан разработанный авторами алгоритм определения размеров движения грузовых поездов в сечениях железнодорожных узлов и полигонов [2]. Эффективный инструмент определения общих сечений движения грузовых поездов различных назначений [3–5] позволит выявить ограничивающие элементы в пределах рассматриваемого фрагмента железнодорожной сети и выработать решения по необходимости инвестиций в развитие пропускной и перерабатывающей способности участков [6]. Современные системы оперативного управления перевозочным процессом [7] требуют разработки форматизированных подходов к определению параметров движения грузовых поездов. Полученные с использованием разработанного алгоритма данные можно использовать при составлении имитационных моделей [8–10] описывающих закономерности продвижения поездопотока в пределах железнодорожных узлов.

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

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

Калинин Кирилл Антонович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Управление транспортным бизнесом и интеллектуальные системы» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: повышение эффективности эксплуатации железнодорожной инфраструктуры в грузовом и пассажирском сообщениях, конфигурация работы железнодорожных узлов, организация высокоскоростных пассажирских перевозок, современные логистические технологии на железнодорожном транспорте. Автор 81 научной работы, в том числе пяти учебных пособий и пяти монографий.

Ершов Андрей Дмитриевич, старший преподаватель кафедры «Управление транспортным бизнесом и интеллектуальные системы» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: моделирование работы железнодорожных станций и участков, развитие полигонных технологий, современные логистические технологии на железнодорожном транспорте. Автор 21 научной работы, в том числе одного учебного пособия и одной монографии.

Алгоритм [1] рассматривается на примере модельного железнодорожного узла, схема которого представлена на рис. 1.

На приведенной схеме имеется 20 железнодорожных станций из которых:

• точки 1,2,3 являются стыковочными и обозначают «границы» железнодорожного узла;

• станции 4,5 являются внутриузловыми станциями массового расформирования составов, в адрес которых прибывают поезда со станций 1,2,3;

• станции 6–20 внутриузловые станции, открытые для грузовой работы, на которые прибывают поезда различных категорий, как отправительские маршруты со станций 1,2 и 3, так и внутриузловые вывозные сборные или сборно-вывозные поезда, формируемые на станциях 4 и 5.

На первом этапе алгоритма железнодорожный узел представляется в виде массивов данных, характеризующих связь станций (точек) между собой (матрица связности с указанием расстояний между точками представлена в табл. 1) и связи станций и соединяющих их перегонов. Общее количество станций в моделируемом примере – 20. В случае наличия связи (перегона) между рассматриваемой парой станций в качестве затрат принимается фактическое расстояние между осями железнодорожных станций, а в случае ее отсутствия искомое расстояние обозначается как «∞».

Для составления матрицы инцидентности необходимо пронумеровать все перегоны, соединяющие точки. Нумерация выполняется последовательно, построчно, в соответствии с составленной матрицей связности. Номера перегонов, связывающих точки узла, приведены в табл. 2. Общее множество перегонов для рассматриваемого примера составит 28.

Из полученных матриц составляется матрица инцидентности (табл. 3), имеющая размерность: количество точек на количество перегонов. Она показывает соединяемые каждым перегоном станции.

Результат применения алгоритма для схемы, приведенной на рис. 1 для точек формирования внутри узловых поездопотоков (точки 4 и 5) и формируемые соответствующие массивы для каждой итерации расчета затрат на перемещение и назначение следования поездов приведены в табл. 4,5 для точки 5 и в табл. 6 и 7 для точки 4.

В табл. 8 приведен сводный результат расчета кратчайших расстояний следования грузовых поездов в пределах моделируемого железнодорожного узла, а в табл. 9 маршруты следования для всех станций в пределах рассматриваемого узла.

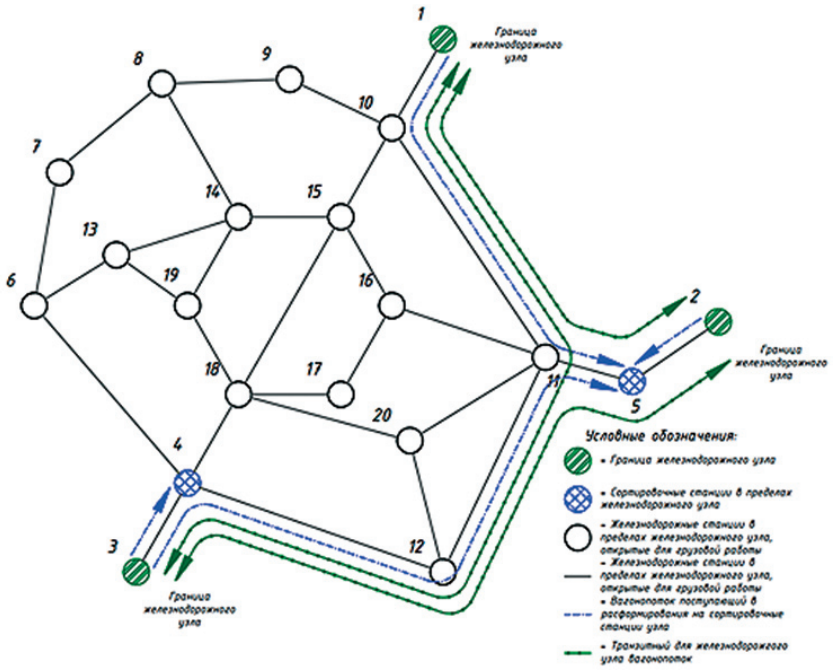


Рис. 1. Структура и вагонопотоки моделируемого железнодорожного узла

В условиях эксплуатации железнодорожной инфраструктуры в крупных железнодорожных узлах с интенсивным движением прочих категорий поездов на движение грузовых поездов могут накладываться ограничения на использование определенных участков и перегонов. Следствием таких ограничений может являться отклонение грузовых поездов на части внутриузловых назначений от оптимального маршрута по исследуемому параметру (расстояние или приведенные затраты на пропуск). Пример подобного изменения маршрута следования грузового поезда при наличии ограничений приведен на рис. 2. В дальнейших расчетах для всех рассматриваемых назначений грузовых поездов будет выполняться проверка ограничений и корректировка маршрутов следования при их наличии.

Для проверки корректности работы алгоритма введем пятнадцать маршрутов следования грузовых поездов, приведенных в табл. 10, для каждого из которых выявлен маршрут следования, представляющий собой упорядоченную последовательность точек и соответствующую им совокупность перегонов в пределах железнодорожного узла.

Для каждого назначения задается мощность корреспонденции, составляется матрица, размерность которой определяется общим количеством маршрутов и перегонов в пределах железнодорожного узла. Каждый элемент полученного массива, отражающий инцидентность перегонов к выделенным маршрутам следования, заполняется переменными из булева множества (табл. 11).

На основании табл. 11 составляется матрица сочетаемости маршрутов, обозначающая, какие маршруты являются более короткими по отношению к другим (табл. 12). Выявленные маршруты следования поездов, сочетаемые с более короткими, приведены в табл. 13.

Для модельного примера маршрут 2–3 является более дальним по отношению к наибольшему числу более коротких маршрутов (2–4, 2–5, 3–4, 3–5, 4–5) и в промежуточных сечениях может образовывать дробную нумерацию на наибольшем числе внутриузловых маршрутов. В то же время в сечениях маршрутов 2–5 и 4–5 наблюдается наибольшее увеличение потенциальных размеров движения – на 36 и 29 пар поездов, что составляет 280 и 261% от собственных размеров движения данных назначений соответственно.

Наибольшая дробность ниток грузовых поездов наблюдается на перегоне, соединяющем точки 5 и 11, при полностью дробном графике каждой нитке необходимо присваивать 5 номеров.

Результаты применения алгоритма для фрагмента железнодорожной инфраструктуры применимы при выявлении ключевых параметров и характеристик использования инфраструктуры в рассматриваемых сечениях и описании структуры поездопотока на основных железнодорожных перегонах.

Литература

1. Особенности пропуска грузовых поездов в крупных железнодорожных узлах при дробной нумерации ниток в графике движения / С. П. Вакуленко, В. И. Апатцев, К. А. Калинин, А. Д. Ершов. - Текст : непосредственный // Наука и техника транспорта. - 2025. - № 1. - С. 16-23. EDN: KZVDBF.
2. Вакуленко, С. П. Особенности распределения вагонопотоков насети железных дорог / С. П. Вакуленко, К. А. Калинин. - Текст : непосредственный // Железнодорожный транспорт. - 2024. - № 9. - С. 12-15. - EDN ALEVLE.
3. Особенности пропуска грузовых поездов в крупных железнодорожных узлах при дробной нумерации ниток в графике движения / С. П. Вакуленко, Д. Ю. Роменский, А. Д. Ершов, К. А. Калинин. - Текст : непосредственный // Наука и техника транспорта. - 2023. - № 2. - С. 32-41. -EDN QGNBRX.
4. Вакуленко, С. П. Определение интервалов между грузовыми поездами при использовании полностью дробной нумерации ниток поездов в нормативном графике движения / С. П. Вакуленко, А. Д. Ершов, К. А. Калинин. - Текст : непосредственный // Интеллектуальные транспортные системы: материалы III Международной научно-практической конференции, Москва, 30 мая 2024 года. - Москва: Российский университет транспорта (МИИТ), 2024. - С. 54-62. - DOI 10.30932/9785002446094-2024-54-62. - EDN IQIOUV.
5. Вакуленко, С. П. Структуризация опыта применения дробной нумерации в графике движения поездов в крупных железнодорожных узлах / С. П. Вакуленко, А. Д. Ершов, К. А. Калинин. - Текст : непосредственный // Наука и техника транспорта. - 2024. - № 1. - С. 44-50. - EDN LMZPLM.

6. Бородин, А. Ф. Использование ресурсов железнодорожной сети: результативность планирования и управления / А. Ф. Бородин, Р. В. Шиндеров, Р. Г. Строченков. - Текст : непосредственный // Транспорт Урала. - 2024. - № 3(82). - С. 3-10. - DOI 10.20291/1815-9400-2024-3-3-10. - EDN QYCIJB.

7. Задачи развития системы оперативного управления перевозочным процессом / М. И. Мехедов, Е. А. Сотников, П. С. Холодняк, С. В. Лобанов. -Текст : непосредственный // Железнодорожный транспорт. - 2024. - № 6. - С. 4-9. - EDN DCAWBJ.

8. Козлов, П. А. Оптимизация развития транспортных узлов и полигонов на основе имитационного моделирования / П. А. Козлов. - Текст : непосредственный // Бюллетень ученого совета АО «ИЭРТ». - 2023. - № 8-2. - С. 30-40. - EDN GEIEHV.

9. Козлов, П. А. Управление транспортными потоками при случайном разбросе в параметрах / П. А. Козлов, В. П. Козлова, М. А. Туманов. - Текст : непосредственный // Наука и техника транспорта. - 2023. - № 1. - С. 90-95. - EDN UQJZOO.

10. Об устойчивости транспортных систем / П. А. Козлов, С. П. Вакуленко, О. В. Осокин, Н. В. Якушев. - Текст : непосредственный // Транспорт Урала. - 2024. - № 2(81). - С. 11-15. - DOI 10.20291/1815-9400-2024-2-11-15. - EDN CHWROF.

Таблица 1

Матрица затрат для расчетного железнодорожного узла

Номер точки (станции) отправления в пределах рассматриваемого железнодорожного узла	Номер точки (станции) назначения в пределах рассматриваемого железнодорожного узла																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	0	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	1	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
2	∞	0	∞	∞	2,8	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
3	∞	∞	0	2,9	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
4	∞	∞	2,9	0	∞	5,8	∞	∞	∞	∞	∞	4,3	∞	∞	∞	∞	∞	2,8	∞	∞
5	∞	2,8	∞	∞	0	∞	∞	∞	∞	∞	1,9	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
6	∞	∞	∞	5,8	∞	0	3,3	∞	∞	∞	∞	∞	1,1	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
7	∞	∞	∞	∞	∞	3,3	0	2,2	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
8	∞	∞	∞	∞	∞	∞	2,2	0	2,9	∞	∞	∞	∞	2,9	∞	∞	∞	∞	∞	∞
9	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	2,9	0	2	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
10	1	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	2	0	4,8	∞	∞	∞	1,1	∞	∞	∞	∞	∞
11	∞	∞	∞	∞	1,9	∞	∞	∞	∞	4,8	0	4,2	∞	∞	∞	1,7	∞	∞	∞	2,2
12	∞	∞	∞	4,3	∞	∞	∞	∞	∞	∞	4,2	0	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	1
13	∞	∞	∞	∞	∞	1,1	∞	∞	∞	∞	∞	∞	0	2,7	∞	∞	∞	∞	2	∞
14	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	2,9	∞	∞	∞	∞	2,7	0	1,7	∞	∞	∞	3	∞
15	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	1,1	∞	∞	∞	1,7	0	1,5	∞	4,5	∞	∞
16	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	1,7	∞	∞	∞	1,5	0	2,1	∞	∞	∞
17	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	2,1	0	1,6	∞	∞
18	∞	∞	∞	2,8	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	4,5	∞	1,6	0	∞	2,3
19	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	2	3	∞	∞	∞	∞	0	∞
20	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	2,2	1	∞	∞	∞	∞	∞	2,3	∞	0

Таблица 2

Матрица номеров перегонов для расчетного железнодорожного узла

Номер точки (станции) в пределах рассматриваемого железнодорожного узла	Номер точки (станции) назначения в пределах рассматриваемого железнодорожного узла																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1										1										
2					2															
3				3																
4			3			4						5						6		
5		2									7									
6				4			8						9							
7						8		10												
8							10		11					12						
9								11		13										
10	1								13		14				15					
11					7					14		16				17				18
12				5							16									19
13						9								20					21	
14								12					20		22				23	
15										15				22		24		25		
16											17				24		26			
17																26		27		
18				6											25		27			28
19													21	23						
20											18	19						28		

Таблица 3

Матрица инцидентности перегонов и соединяемых ими железнодорожных станций

Номер точки (станции) в пределах рассматриваемого железнодорожного узла	Номер ребра (перегона) в пределах рассматриваемого железнодорожного узла																										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
1	1																											
2		1																										
3			1																									
4			1	1	1	1																						
5		1					1																					
6				1				1	1																			
7								1		1																		
8										1	1	1																
9											1		1															
10	1												1	1	1													
11							1							1		1	1	1										
12					1											1			1									
13									1											1	1							
14												1								1		1	1					
15															1							1		1	1			
16																	1							1		1		
17																										1	1	
18						1																			1		1	1
19																					1		1					
20																		1	1									1

Таблица 4

Результат расчета затрат на маршрутах следования от станции «5» моделируемого железнодорожного узла с минимизацией целевого параметра при использовании алгоритма Дейкстры

Номер итерации (шага расчета)	Станция отправления	Станция прибытия	Номер точки назначения в пределах рассматриваемого узла																				Минимальное расстояние на рассматриваемой итерации, км
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
		Общее расстояние	7,2	28	12,1	9,2	0	10,6	11,9	9,7	8,2	6,2	1,9	5,1	9,5	6,8	5,1	3,6	5,7	6,4	9,8	4,1	
1	5	11	∞	28	∞	∞		∞	∞	∞	∞	∞	1,9	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	1,9
2	11	2	∞	28	∞	∞		∞	∞	∞	∞	6,7		6,1	∞	∞	∞	3,6	∞	∞	∞	4,1	2,8
3	2	16	∞		∞	∞		∞	∞	∞	∞	6,7		6,1	∞	∞	∞	3,6	∞	∞	∞	4,1	3,6
4	16	20	∞		∞	∞		∞	∞	∞	∞	6,7		6,1	∞	∞	5,1		5,7	∞	∞	4,1	4,1
5	20	12	∞		∞	∞		∞	∞	∞	∞	6,7		5,1	∞	∞	5,1		5,7	6,4	∞		5,1
6	12	15	∞		∞	9,4		∞	∞	∞	∞	6,7			∞	∞	5,1		5,7	6,4	∞		5,1
7	15	17	∞		∞	9,4		∞	∞	∞	∞	6,2			∞	6,8			5,7	6,4	∞		5,7
8	17	10	∞		∞	9,4		∞	∞	∞	∞	6,2			∞	6,8				6,4	∞		6,2
9	10	18	7,2		∞	9,4		∞	∞	∞	8,2				∞	6,8				6,4	∞		6,4
10	18	14	7,2		∞	9,2		∞	∞	∞	8,2				∞	6,8					∞		6,8
11	14	1	7,2		∞	9,2		∞	∞	9,7	8,2				9,5						9,8		7,2
12	1	9			∞	9,2		∞	∞	9,7	8,2				9,5						9,8		8,2
13	9	4			∞	9,2		∞	∞	9,7					9,5						9,8		9,2
14	4	13			12,1			15	∞	9,7					9,5						9,8		9,5
15	13	8			12,1			10,6	∞	9,7											9,8		9,7
16	8	19			12,1			10,6	11,9												9,8		9,8
17	19	6			12,1			10,6	11,9														10,6
18	6	7			12,1				11,9														11,9
19	7	3			12,1																		12,1

Таблица 5

Результат расчета назначений на маршрутах следования от станции «5» моделируемого железнодорожного узла с минимизацией целевого параметра при использовании алгоритма Дейкстры

Номер шага расчета маршрута	Направление следования в точку назначения																				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	10	5	4	18	5	13	8	14	10	15	5	20	14	15	16	11	16	20	14	11
1	1	5	3	4	5	6	7	8	9	10	5	12	13	14	15	16	17	18	19	20
2	1	5	3	4		6	7	8	9	11		11	13	14	15	11	17	18	19	11
3	1		3	4		6	7	8	9	11		11	13	14	15	11	17	18	19	11
4	1		3	4		6	7	8	9	11		11	13	14	16		16	18	19	11
5	1		3	4		6	7	8	9	11		20	13	14	16		16	20	19	
6	1		3	12		6	7	8	9	11			13	14	16		16	20	19	
7	1		3	12		6	7	8	9	15			13	15			16	20	19	
8	1		3	12		6	7	8	9	15			13	15				20	19	
9	10		3	12		6	7	8	10				13	15				20	19	
10	10		3	18		6	7	8	10				13	15					19	
11	10		3	18		6	7	14	10				14						14	
12			3	18		6	7	14	10				14						14	
13			3	18		6	7	14					14						14	
14			4			4	7	14					14						14	
15			4			13	7	14											14	
16			4			13	8												14	
17			4			13	8													
18			4				8													
19			4																	

Таблица 6

Результат расчета затрат на маршрутах следования от станции «4» моделируемого железнодорожного узла с минимизацией целевого параметра при использовании алгоритма Дейкстры

Номер итерации (шага расчета)	Станция отправления	Станция прибытия	Номер точки назначения в пределах рассматриваемого узла																				Минимальное расстояние на рассматриваемой итерации, км
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
	Общее расстояние		9,4	12	2,9	0	9,2	5,8	9,1	11,3	10,4	8,4	7,3	4,3	6,9	9	7,3	6,5	4,4	2,8	8,9	5,1	
1	4	18	∞	∞	2,9		∞	5,8	∞	∞	∞	∞	∞	4,3	∞	∞	∞	∞	∞	2,8	∞	∞	2,8
2	18	3	∞	∞	2,9		∞	5,8	∞	∞	∞	∞	∞	4,3	∞	∞	7,3	∞	4,4		∞	5,1	2,9
3	3	12	∞	∞			∞	5,8	∞	∞	∞	∞	∞	4,3	∞	∞	7,3	∞	4,4		∞	5,1	4,3
4	12	17	∞	∞			∞	5,8	∞	∞	∞	∞	8,5		∞	∞	7,3	∞	4,4		∞	5,1	4,4
5	17	20	∞	∞			∞	5,8	∞	∞	∞	∞	8,5		∞	∞	7,3	6,5			∞	5,1	5,1
6	20	6	∞	∞			∞	5,8	∞	∞	∞	∞	7,3		∞	∞	7,3	6,5			∞		5,8
7	6	16	∞	∞			∞		9,1	∞	∞	∞	7,3		6,9	∞	7,3	6,5			∞		6,5
8	16	13	∞	∞			∞		9,1	∞	∞	∞	7,3		6,9	∞	7,3				∞		6,9
9	13	11	∞	∞			∞		9,1	∞	∞	∞	7,3			9,6	7,3				8,9		7,3
10	11	15	∞	∞			9,2		9,1	∞	∞	12,1				9,6	7,3				8,9		7,3
11	15	10	∞	∞			9,2		9,1	∞	∞	8,4				9					8,9		8,4
12	10	19	9,4	∞			9,2		9,1	∞	10,4					9					8,9		8,9
13	19	14	9,4	∞			9,2		9,1	∞	10,4					9							9
14	14	7	9,4	∞			9,2		9,1	11,9	10,4												9,1
15	7	5	9,4	∞			9,2			11,3	10,4												9,2
16	5	1	9,4	12						11,3	10,4												9,4
17	1	9		12						11,3	10,4												10,4
18	9	8		12						11,3													11,3
19	8	2		12																			12

Таблица 7

Результат расчета назначений на маршрутах следования от станции «4» моделируемого железнодорожного узла с минимизацией целевого параметра при использовании алгоритма Дейкстры

		Направление следования в точку назначения																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
		10	5	4	4	11	4	6	7	10	15	20	4	6	15	18	17	18	4	13	18
Номер шага расчета маршрута	1	1	2	4	4	5	4	7	8	9	10	11	4	13	14	15	16	17	4	19	20
	2	1	2	4		5	4	7	8	9	10	11	4	13	14	18	16	18		19	18
	3	1	2			5	4	7	8	9	10	11	4	13	14	18	16	18		19	18
	4	1	2			5	4	7	8	9	10	12		13	14	18	16	18		19	18
	5	1	2			5	4	7	8	9	10	12		13	14	18	17			19	18
	6	1	2			5	4	7	8	9	10	20		13	14	18	17			19	
	7	1	2			5		6	8	9	10	20		6	14	18	17			19	
	8	1	2			5		6	8	9	10	20		6	14	18				19	
	9	1	2			5		6	8	9	10	20			13	18				13	
	10	1	2			11		6	8	9	11				13	18				13	
	11	1	2			11		6	8	9	15				15					13	
	12	10	2			11		6	8	10					15					13	
	13	10	2			11		6	8	10					15						
	14	10	2			11		6	14	10											
	15	10	2			11			7	10											
	16	10	5						7	10											
	17		5						7	10											
	18		5						7												
	19		5																		

Таблица 8

Выявленные кратчайшие расстояния следования грузовых поездов в моделируемом железнодорожном узле

Точка отправления	Результат определения маршрутов следования при применении алгоритма																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	0	10	12	9,4	7,2	7,6	8,1	5,9	3	1	5,3	8,5	6,5	3,8	2,1	3,6	5,7	6,6	6,8	7,5
2	10	0	15	12	2,8	13	15	13	11	9	4,7	7,9	12	9,6	7,9	6,4	8,5	9,2	13	6,9
3	12	15	0	2,9	12	8,7	12	14	13	11	10	7,2	9,8	12	10	9,4	7,3	5,7	12	8
4	9,4	12	2,9	0	9,2	5,8	9,1	11	10	8,4	7,3	4,3	6,9	9	7,3	6,5	4,4	2,8	8,9	5,1
5	7,2	2,8	12	9,2	0	11	12	9,7	8,2	6,2	1,9	5,1	9,5	6,8	5,1	3,6	5,7	6,4	9,8	4,1
6	7,6	13	8,7	5,8	11	0	3,3	5,5	8,4	6,6	8,7	10	1,1	3,8	5,5	7	9,1	8,6	3,1	11
7	8,1	15	12	9,1	12	3,3	0	2,2	5,1	7,1	10	13	4,4	5,1	6,8	8,3	10	11	6,4	12
8	5,9	13	14	11	9,7	5,5	2,2	0	2,9	4,9	7,8	11	5,6	2,9	4,6	6,1	8,2	9,1	5,9	10
9	3	11	13	10	8,2	8,4	5,1	2,9	0	2	6,3	9,5	7,5	4,8	3,1	4,6	6,7	7,6	7,8	8,5
10	1	9	11	8,4	6,2	6,6	7,1	4,9	2	0	4,3	7,5	5,5	2,8	1,1	2,6	4,7	5,6	5,8	6,5
11	5,3	4,7	10	7,3	1,9	8,7	10	7,8	6,3	4,3	0	3,2	7,6	4,9	3,2	1,7	3,8	4,5	7,9	2,2
12	8,5	7,9	7,2	4,3	5,1	10	13	11	9,5	7,5	3,2	0	11	8,1	6,4	4,9	4,9	3,3	11	1
13	6,5	12	9,8	6,9	9,5	1,1	4,4	5,6	7,5	5,5	7,6	11	0	2,7	4,4	5,9	8	8,9	2	9,8
14	3,8	9,6	12	9	6,8	3,8	5,1	2,9	4,8	2,8	4,9	8,1	2,7	0	1,7	3,2	5,3	6,2	3	7,1
15	2,1	7,9	10	7,3	5,1	5,5	6,8	4,6	3,1	1,1	3,2	6,4	4,4	1,7	0	1,5	3,6	4,5	4,7	5,4
16	3,6	6,4	9,4	6,5	3,6	7	8,3	6,1	4,6	2,6	1,7	4,9	5,9	3,2	1,5	0	2,1	3,7	6,2	3,9
17	5,7	8,5	7,3	4,4	5,7	9,1	10	8,2	6,7	4,7	3,8	4,9	8	5,3	3,6	2,1	0	1,6	8,3	3,9
18	6,6	9,2	5,7	2,8	6,4	8,6	11	9,1	7,6	5,6	4,5	3,3	8,9	6,2	4,5	3,7	1,6	0	9,2	2,3
19	6,8	13	12	8,9	9,8	3,1	6,4	5,9	7,8	5,8	7,9	11	2	3	4,7	6,2	8,3	9,2	0	10
20	7,5	6,9	8	5,1	4,1	11	12	10	8,5	6,5	2,2	1	9,8	7,1	5,4	3,9	3,9	2,3	10	0

Таблица 9

Выявленные маршруты следования грузовых поездов
в моделируемом железнодорожном узле

Точка отправления	Результат определения маршрутов следования в точку назначения при применении алгоритма Дейкстры																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	1	5	4	18	11	13	8	9	10	1	16	20	14	15	10	15	16	15	14	11
2	10	2	4	18	2	13	8	14	10	15	5	20	14	15	16	11	16	20	14	11
3	10	5	3	3	11	4	6	7	10	15	20	4	6	15	18	17	18	4	13	18
4	10	5	4	4	11	4	6	7	10	15	20	4	6	15	18	17	18	4	13	18
5	10	5	4	18	5	13	8	14	10	15	5	20	14	15	16	11	16	20	14	11
6	10	5	4	6	11	6	6	7	8	15	16	4	6	13	14	15	16	4	13	18
7	10	5	4	6	11	7	7	7	8	9	16	20	6	8	14	15	16	15	13	11
8	10	5	4	6	11	7	8	8	8	9	16	20	14	8	14	15	16	15	14	11
9	10	5	4	18	11	7	8	9	9	9	16	20	14	15	10	15	16	15	14	11
10	10	5	4	18	11	13	8	9	10	10	16	20	14	15	10	15	16	15	14	11
11	10	5	4	18	11	13	8	14	10	15	11	20	14	15	16	11	16	20	14	11
12	10	5	4	12	11	4	8	14	10	15	20	12	14	15	16	11	18	20	14	12
13	10	5	4	6	11	13	6	14	10	15	16	20	13	13	14	15	16	15	13	11
14	10	5	4	18	11	13	8	14	10	15	16	20	14	14	14	15	16	15	14	11
15	10	5	4	18	11	13	8	14	10	15	16	20	14	15	15	15	16	15	14	11
16	10	5	4	18	11	13	8	14	10	15	16	20	14	15	16	16	16	17	14	11
17	10	5	4	18	11	13	8	14	10	15	16	20	14	15	16	17	17	17	14	18
18	10	5	4	18	11	4	8	14	10	15	20	20	14	15	18	17	18	18	14	18
19	10	5	4	6	11	13	6	14	10	15	16	20	19	19	14	15	16	15	19	11
20	10	5	4	18	11	4	8	14	10	15	20	20	14	15	16	11	18	20	14	20

Таблица 10

Упорядоченная последовательность станций, проследуемых
на моделируемых маршрутах

Назначение грузового поезда	Порядковый номер станции и номер соответствующей точки в маршруте									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1 - 2	2	5	11	16	15	10	1			
1 - 3	3	4	18	15	10	1				
1 - 4	4	18	15	10	1					
1 - 5	5	11	16	15	10	1				
2 - 3	3	4	18	20	11	5	2			
2 - 4	4	18	20	11	5	2				
2 - 5	5	2								
3 - 4	4	3								
3 - 5	5	11	20	18	4	3				
4 - 5	5	11	20	18	4					
4 - 7	7	6	4							
4 - 8	8	7	6	4						
5 - 8	8	14	15	16	11	5				
5 - 9	9	10	15	16	11	5				
5 - 12	12	20	11	5						

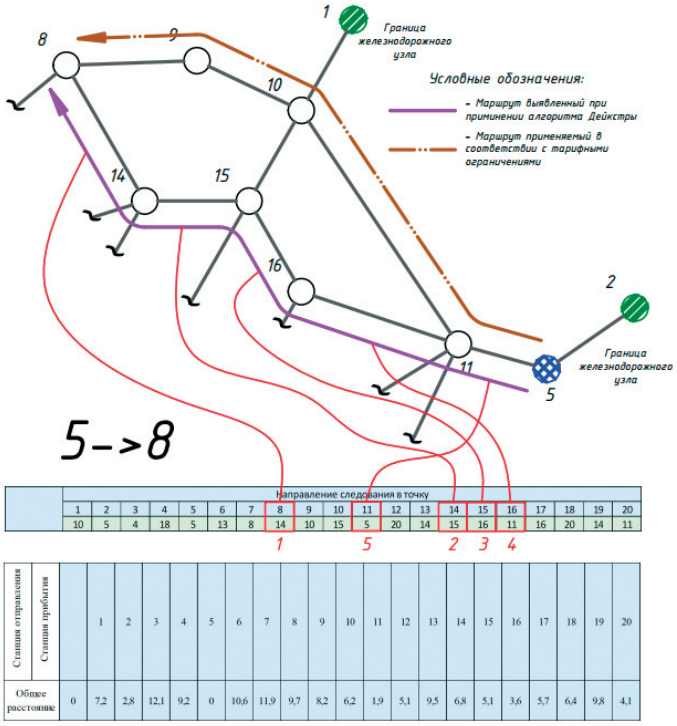


Рис. 2. Схема различия в выявленном и тарифном маршрутах следования грузового поезда

Таблица 11

Матрица инцидентности ребер для моделируемых маршрутов

№ Маршрута	Протяженность, км	Размеры движения на маршруте	Назначение	Номер ребра (перегона) в пределах рассматриваемого фрагмента железнодорожного узла																												Количество перегонов
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	
1	10	13	1 - 2	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	6
2	12,3	8	1 - 3	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	5
3	9,4	11	1 - 4	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	4
4	7,2	24	1 - 5	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	5
5	14,9	5	2 - 3	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	6
6	12	18	2 - 4	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	5
7	2,8	20	2 - 5	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
8	2,9	5	3 - 4	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
9	12,1	6	3 - 5	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	5
10	9,2	18	4 - 5	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	4
11	9,1	17	4 - 7	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
12	11,3	6	4 - 8	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
13	11	8	5 - 8	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	5
14	8,2	5	5 - 9	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	5
15	5,1	19	5 - 12	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3

Таблица 12

Матрица сочетаемости маршрутов при определении фонда номеров в сечении

Назначение rt,y	Размеры движения на маршруте	Потенциальные размеры движения в сечениях	Необходимый резерв номеров на назначение	Назначение rt,x														
				1 - 2	1 - 3	1 - 4	1 - 5	2 - 3	2 - 4	2 - 5	3 - 4	3 - 5	4 - 5	4 - 7	4 - 8	5 - 8	5 - 9	5 - 12
1 - 2	13	13	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1 - 3	8	8	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1 - 4	11	19	38	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1 - 5	24	37	74	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2 - 3	5	5	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2 - 4	18	23	46	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2 - 5	20	56	112	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3 - 4	5	24	48	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
3 - 5	6	11	22	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4 - 5	18	47	94	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
4 - 7	17	23	46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
4 - 8	6	6	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5 - 8	8	8	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5 - 9	5	5	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5 - 12	19	19	38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Таблица 13

Маршруты следования поездов в сечении

Номер перегона	Соединяемые перегоном точки		Назначения маршрута, проходящего через перегон				
			1	2	3	4	5
1	1	10	1 - 4	1 - 5			
2	2	5	2 - 5				
3	3	4	3 - 4				
4	4	6	4 - 7				
6	4	18	1 - 4	4 - 5			
7	5	11	1 - 5	4 - 5	5 - 8	5 - 9	5 - 12
8	6	7	4 - 7				
12	8	14	5 - 8				
13	9	10	5 - 9				
15	10	15	1 - 4	1 - 5	5 - 9		
17	11	16	1 - 5	5 - 8	5 - 9		
18	11	20	4 - 5	5 - 12			
19	12	20	5 - 12				
23	14	15	5 - 8				
24	15	16	1 - 5	5 - 8	5 - 9		
25	15	18	1 - 4				
28	18	20	4 - 5				

КОНЦЕПЦИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ЭКИПАЖНОЙ ЧАСТИ ЛОКОМОТИВА

Рассмотрен вопрос и выявлена необходимость создания концепции энергосберегающей экипажной части локомотива. Предложены формулировка концепции и основные требования. В качестве примера реализации концепции рекомендовано использовать в экипажной части двухосные тележки с диаметром колеса 1250 мм.



А.С. Космодамианский



В.И. Воробьев

Ключевые слова: локомотивная тяга, сцепление колеса с рельсом, противобоксовочные устройства, тяговый привод локомотива

EDN: NJBTQT

Ранее в [1] авторами была опубликована уточненная и дополненная концепция энергосберегающего тягового привода локомотива. Как следует из [1], практическая реализация данной концепции требует изменения подхода к конструированию экипажной части по двум причинам:

- в конструкции экипажа необходимо предусмотреть возможность установки средств безынерционного управления коэффициентом сцепления;
- для повышения эффективности работы устройств управления коэффициентом сцепления целесообразно снизить до минимума причины ухудшения сцепления колеса с рельсом, связанные с конструкцией экипажной части.

К настоящему времени авторами опубликован ряд работ (например [2–5] и др.), в которых рассматривается влияние конструкции экипажной части, тягового привода, усилителей сцепления и систем обнаружения боксования на тяговые свойства локомотива. Таким образом, возникает проблема, связанная с необходимостью расширить концепцию энергосберегающего тягового привода, учтя в ней факторы, относящиеся к

Космодамианский Андрей Сергеевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Тяговый подвижной состав» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: автоматизация агрегатов и систем тягового подвижного состава, электрические передачи локомотивов. Автор 449 научных работ, в том числе 29 монографий, одного учебника и 28 учебных пособий. Имеет 130 патентов РФ.

Воробьев Владимир Иванович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Подвижной состав железных дорог» Брянского государственного технического университета (БГТУ). Область научных интересов: электрические передачи локомотивов, тяговый и вспомогательный электроприводы. Автор более 90 научных работ, в том числе 14 монографий. Имеет 87 патентов РФ.

Измеров Олег Васильевич, соискатель кафедры «Подвижной состав железных дорог» Брянского государственного технического университета (БГТУ). Область научных интересов: динамика и методы конструирования тяговых приводов рельсового подвижного состава. Автор 89 научных работ, в том числе 23 монографий и десяти учебников. Имеет 96 патентов РФ.

Карпов Артем Евгеньевич, ассистент кафедры «Тяговый подвижной состав», заведующий лабораторией «Системы управления транспортными средствами» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: электрические передачи локомотивов, тяговый электропривод. Автор 22 научных работ, в том числе одного учебного пособия. Имеет 17 патентов РФ.

конструкции тележек локомотива, рессорного подвешивания, опорно-возвращающих устройств, устройств передачи тяги, иными словами – перейти к концепции энергосберегающей экипажной части локомотива. Предлагаемая статья представляет собой попытку решения данной проблемы.

Анализ проблемы

Возможность реализации коэффициентов сцепления, существенно превышающих современные расчетные, была обнаружена еще в прошлом веке. Так, в [6] для электрической тяги указан коэффициент сцепления в зависимости от состояния рельсов от 0,15 до 0,3, при этом утверждается, что при применении песка он повышается до 0,5. Согласно «Electrical Railway Handbook» [7] на сухих рельсах с песком электровозы реализуют коэффициент сцепления, равный 0,35...0,4, при этом в североамериканской практике проектирования электровозов принимается расчетный коэффициент сцепления 0,33. С другой стороны, проф. В.Б. Медель в [8] указывал, что средние значения коэффициента сцепления по Сталинской железной дороге при скорости 31...34 км/ч составляли всего 0,22...0,24, что соответствовало расчетным значениям коэффициентов тяги перспективных тепловозов 80-х годов.

Также В.Б. Меделем в [8] были рассмотрены вопросы зависимости коэффициента сцепления от угла набегания колеса на рельс в кривых, от наличия динамического момента в тяговом приводе, сочленения колесных пар и перераспределения нагрузок на ось в режиме тяги. Таким образом, в нашей стране было положено начало комплексному подходу к обеспечению сцепления колес с рельсом, учитывающему как изменение состояния поверхности контакта, так и конструкцию экипажной части.

Однако в 30-х-50-х годах XX в., с одной стороны, существовали большие резервы повышения тяговых свойств локомотива в электрической и тепловозной тяге с одной стороны за счет увеличения числа секций локомотива, с другой стороны – сила тяги в расчетном режиме, приходящаяся на одну ось, была ограничена мощностью тяговых электродвигателей (ТЭД), вписываемых в габариты тележки при данном диаметре колеса. По этой причине, а также в связи с развитием специализации прикладных исследований, в дальнейшем исследования различных конструктивных факторов, влияющих на коэффициент сцепления, проводились в небольших объемах по отношению к исследованиям сцепных свойств серийных локомотивов и противобоксовочных систем, а в ряде случаев явление увеличения или уменьшения сцепления по вновь обнаруженным причинам регистрировалось, но не получало достаточного научного объяснения, позволяющего его прогнозировать для различных условий эксплуатации и использовать на практике.

В течение 50–80-х годов XX в. в нашей стране планировалось повышение осевой нагрузки грузовых локомотивов в полтора раза (с 200 до 300 кН), однако решение этого вопроса затормозилось из-за недостаточных темпов реконструкции пути и наличия к середине 80-х годов значительной протяженности участков с рельсами Р50 на деревянных шпалах. При этом увеличение числа секций грузового локомотива более трех также получило ограниченное развитие (было выпущено 25 тепловозов 4ТЭ10С), вследствие чего повысилась актуальность работы по повышению сцепных свойств.

Возможности повышения сцепных свойств локомотива за счет совершенствования конструкции тележки проводились в основном по следующим направлениям.

Улучшение статического распределения нагрузки по осям локомотива при реализации силы тяги.

В качестве используемых мер применялись пневматические догружатели, одностороннее расположение ТЭД, низко опущенные шкворни, пневматические догружатели и наклонные тяги для передачи продольных усилий с тележки на кузов. Исследованиями [9] установлено, что для распространенной трехосной тележки грузовых тепловозов неравномерность статической нагрузки по сравнению с серийным вариантом может быть уменьшена на 11% при использовании сбалансированного рессорного подвешивания и жестких опор кузова на тележку.

Снижение динамических моментов в приводе и динамической разгрузки колесной пары при колебаниях неподрессоренных масс.

Данную меру пытались реализовать за счет внедрения опорно-рамного привода и упругих зубчатых колес в опорно-осевом тяговом приводе. Так, согласно [10], ожидалось, что внедрение на электровозах опорно-рамного тягового привода позволит повысить сцепные свойства локомотива на 12–15%.

Применение группового тягового привода.

Тепловозы с гидропередачей и групповым приводом реализовывали расчетный коэффициент сцепления 0,29...0,32 (например, ТГМ3, ТГМ4). Был предпринят ряд попыток создания группового привода для электровозов и тепловозов с электропередачей [11], из них три доведены до постройки опытных экземпляров (электровозы ВЛ40 и ВЛ83, маневровый тепловоз ТЭМ12). Направление в то время не получило развития из-за технологических трудностей создания группового привода большой мощности, а также вследствие предпо-

ложения, что создание асинхронного тягового привода позволит осуществить так называемое «электрическое спаривание» ТЭД.

В тот же период активно велся поиск методов увеличения коэффициента сцепления колеса с рельсом различными способами [12]. Данный поиск производился в отрыве от вопросов конструкции экипажной части локомотива, поскольку на железной дороге шел процесс реконструкции тяги и задачей промышленности было максимальное расширение производства локомотивов новых типов, тепловозов и электровозов, а дополнительные изменения конструкции экипажной части могли замедлить этот процесс. В итоге основным средством повышения коэффициента сцепления осталось применение песка, как наиболее простого и дешевого способа, практически не менявшегося со времен паровозной тяги, несмотря на его недостатки (загрязнение балласта, увеличение износа колес и рельс и др.).

В частности, в этот период в нашей стране было обнаружено влияние электрического тока на коэффициент сцепления колес с рельсами [12], а также делались попытки воздействовать на контакт колеса с рельсом с помощью магнитного поля [13–15]. При этом коэффициент сцепления, реализованный экспериментально, достигал величин 0,45...0,5. Однако, ввиду отсутствия достаточного теоретического исследования данных явлений, при использовании магнитного поля не удалось получить устойчивый результат. Так, если в 1951 году паровоз СО17-2877 с электромагнитными усилителями сцепления реализовал коэффициент сцепления 0,42...0,44 и провел поезд увеличенного веса [13], то исследования тепловоза ТЭМ2УС-0001 не выявили существенного повышения сцепных свойств [15], при этом в обоих случаях было установлено, что увеличение нагрузки на ось вследствие магнитного притяжения незначительно. Что касается электрического тока, то попытки использовать для достижения эффекта тяговый ток (чтобы не вносить изменения в экипажную часть) оказались неэффективны, поскольку достаточная величина тягового тока достигалась только на электровозах постоянного тока, а изменение тягового тока не совпадает с потребностью в усилении сцепных свойств при ухудшении условий сцепления.

В начале нынешнего века оживление грузоперевозок снова привело к необходимости существенного повышения тягово-сцепных свойств локомотивов, при этом основным направлением стало внедрение поосного регулирования тяги и применение бесколлекторных ТЭД, что было вызвано в первую очередь использованием бесколлекторных ТЭД в локомотивах ведущих мировых фирм (GE, GM, Siemens, Alstom, Bombardier и других) и развитием партнерства российских производителей с этими фирмами. Работа над улучшением сцепных свойств локомотива за счет свойств экипажной части фактически была приостановлена: созданная в АО «ВНИКТИ» тепловозная тележка с радиальной установкой колесных пар была применена только на тепловозе 2ТЭ25А, выпущенном ограниченной серией, и произошел отказ от применения тяговых приводов с упругим звеном (на тепловозах 2ТЭ25К с коллекторными ТЭД после перехода на моторно-осевые подшипники качения начали применять жесткое зубчатое колесо [11], а для электровозов с бесколлекторными ТЭД, созданными в сотрудничестве с фирмой Siemens, применен интегрированный тяговый привод без упругого звена). В итоге расчетный коэффициент силы тяги отечественных локомотивов с асихронными ТЭД и поосным регулированием составил ψ=0, 27...0,32. Иными словами, современные локомотивы с асинхронным приводом показывают те же сцепные свойства, что и более ста лет назад, и именно это является в настоящее время основным препятствием к повышению их производительности.

С другой стороны, в данный период в нашей стране активно велись исследования влияния электрического тока и магнитного поля на коэффициент сцепления. Так, Делюсто Л.Г. в ходе исследований прокатки металла объяснил увеличение коэффициента сцепления при воздействии магнитного поля явлением магнитопластичности [16], при этом в лабораторных опытах был достигнут коэффициент трения пары «сталь по стали», равный 0,571. В ходе лабораторных и стендовых экспериментов, проведенных в БГТУ [17;18], было доказано, что при воздействии электрического тока коэффициент трения между колесом и рельсом может достигать 0,512, при этом наблюдаемое явление объяснялось эффектом электропластичности; при воздействии магнитного поля было доказано, что коэффициент трения может быть повышен на 22%.

В результате натурных испытаний на тепловозе 2ТЭ10У [19] при воздействии на поверхность контакта колеса с рельсом электрического тока при сухих и чистых рельсах был достигнут коэффициент сцепления 0,55, при влажных – около 0,43; при влажных с наличием масла – около 0,3 и, наконец, при замасленных – несколько выше 0,2. Проведение натурных испытаний магнитных усилителей сцепления было связано с дополнительными трудностями, поскольку экипажная часть эксплуатируемых локомотивов ограничивает возможность оборудования их на время эксперимента обмотками индуктора, в результате чего для опытов пришлось использовать индуктор в виде линейного сердечника, расположенного между рельсами [20], что ограничивало возможности повышения напряженности поля. При этом увеличение силы тяги для рельсов,

смоченных водой с мазутом, оказалось выше, чем для сухих рельсов и составило 8...10% [21].

Таким образом, в начале нынешнего века попытки повышения тягово-сцепных свойств локомотива привели к следующим важным выводам:

• применение бесколлекторных ТЭД и поосного регулирования силы тяги не позволяют реализовать более высокие сцепные свойства локомотивов, чем у локомотивов с групповым приводом, что ограничивает дальнейшее повышение производительности локомотивов;

• использование физических эффектов (электрического тока и магнитного поля) позволяет обеспечить дальнейшее повышение сцепных свойств локомотивов примерно в полтора раза и реализовать безынерционное регулирование коэффициента сцепления, однако внедрению этих способов препятствует существующая конструкция экипажной части локомотивов и принципы построения противобоксовочных систем, задачей которых является снижение силы тяги при ухудшении сцепных свойств, а не регулирование самих сцепных свойств;

• проектирование узлов экипажной части локомотива лишь частично учитывает задачи обеспечения высоких тягово-сцепных свойств (в основном обязательным условием является достижение нормативных показателей использования сцепного веса), а в зарубежной практике выбор рациональной конструкции узлов может идти в ущерб сцепным свойствам (применение опорно-осевого привода без упругих звеньев в валопроводах).

В 2014 году на основании данных выводов авторами была предложена концепция энергосберегающего тягового привода [22], суть которой заключалась в следующем: механическая система тягового привода, система предупреждения боксования и юза и устройства усиления сцепления из независимых превращаются в единую интегрированную систему, элементы которой взаимосвязаны друг с другом и взаимообуславливают рациональный выбор решений друг друга.

Первоначально в [22] в качестве практического примера реализации данной концепции были предложены решения на базе мономоторного тягового привода двухосной тележки. Проведенные авторами в течение последующих 10 лет исследования возможности практической реализации данной концепции применительно к индивидуальным тяговым приводам привели к выводам, высказанным в [1], о необходимости создания, помимо концепции энергосберегающего тягового привода, также концепции экипажной части. Как показывает приведенный выше анализ, часть современных требований к экипажной части уже соответствует принципу энергосбережения.

В соответствии с методами технической инновационики [23], рассмотрим основные конструктивные факторы, которые могут быть использованы в качестве средства управления. Для этого авторами предложена модифицированная классификация способов улучшения сцепных свойств путем изменения конструкции экипажной части (рис. 1).

В отличие от классификации, ранее опубликованной в [24], где рассматривались все значимые факторы, в классификацию рис. 1 включены те из значимых факторов, на которые конструктор может влиять путем выбора того или иного решения в процессе ра-боты над проектом, регулируя тем самым получаемые тягово-сцепные свойства. Это изменение нагрузки на ось, динамического момента в приводе, изменение скольжения (за счет кинематических факторов), изменение коэффициента сцепления между колесом и рельсом за счет изменения состояния поверхностей контакта и перераспределение крутящего момента между осями экипажа. Другое отличие от классификации [24] состоит в том, что в классификацию рис. 1 включены перспективные способы управления коэффициентом сцепления и требования к экипажной части, которые должны быть реализованы. Таким образом, предложенная классификация ориентирована на использование ее конструкторами при проектировании экипажа локомотива.

Из данной классификации следует, что в перспективных конструкциях локомотивов имеются следующие возможности повышения сцепных свойств:

1. Применение сбалансированного рессорного подвешивания в тележках грузовых и маневровых тепловозов. Для магистральных грузовых тепловозов сбалансированное подвешивание используется только для тележек опытного тепловоза 2ТЭ35А, в то время как несбалансированное подвешивание имеет трехосная бесчелюстная тележка, применяемая на подавляющем большинстве выпускаемых и эксплуатируемых грузовых и маневровых тепловозов, трехосная тележка маневрового тепловоза ЧМЭ3 и двухосная тележка нового маневрового тепловоза ТЭМ23. Также несбалансированное буксовое подвешивание предполагается применить на дизельных секциях создаваемого тепловоза 2ТЭ30А (3ТЭ30Г).

2. Снижение неподрессоренной массы. В настоящее время в качестве показателя неподрессоренной массы используется так называемая неподрессоренная нагрузка от колеса на рельс ([24], таблица А.7), которая, по определению, не учитывает инерцию вращающихся масс. Так, согласно [24], таблица А.7 для тепловоза 2ТЭ116К неподрессоренная нагрузка составляет 2230 кг на колесо или 4460 кг на ось, что примерно соответствует в [9] показателю «необрессоренная

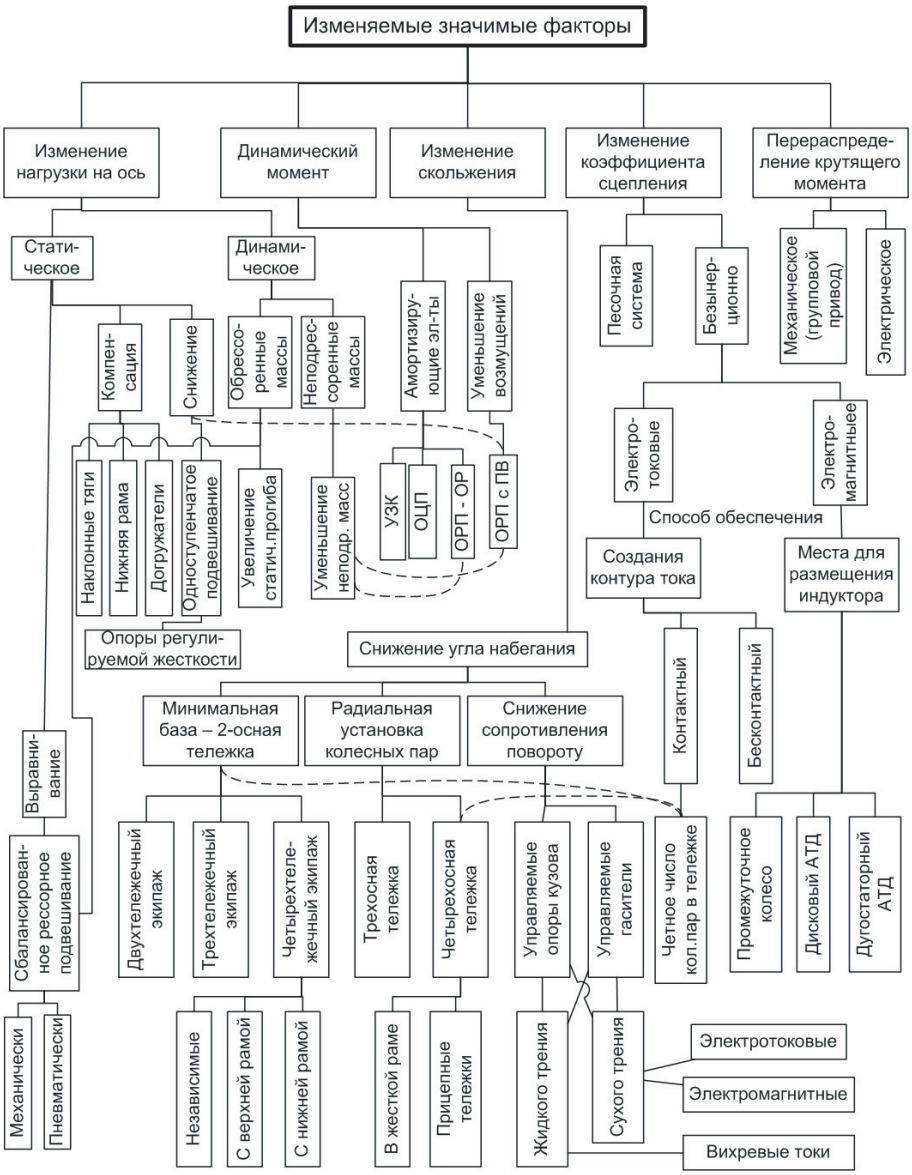


Рис. 1. Классификация способов улучшения сцепных свойств путем изменения конструкции экипажной части с учетом использования устройств безынерционного регулирования

масса» для тепловоза 2ТЭ116, равному 4250 кг на ось ([9], с. 6, табл. 1). Однако в ([9], С. 47) для опорно-осевого привода с жестким зубчатым колесом предлагается учитывать моменты инерции статора и ротора ТЭД, рассчитывая так называемую приведенную неподрессоренную массу по формуле

$$m_{\text{пр}} = m_{\text{н}} + \frac{\left[I_{\text{с}} + I_{\text{р}} \left(1+i\right)^2 \right]}{c^2}, \qquad (1)$$

где $m_{\text{н}}$ – неподрессоренная масса (без учета моментов инерции вращающихся частей); $I_{\text{с}}$ – момент инерции статора; $I_{\text{р}}$ – момент инерции ротора; i – передаточное число тяговой передачи; c – длина от середины оси колесной пары до точки подвешивания ТЭД к раме тележки.

Согласно [9], приведенная неподрессоренная масса тепловоза 2ТЭ116 больше на 1300 кг, то есть, она равна 5550 кг. Соответственно, приведенная неподрессоренная масса (то есть участвующая в колебаниях при прохождении неровностей пути) грузовых элек-тровозов как с коллекторными, так и с асинхронными ТЭД также существенно выше показателей, указанных в [24].

3. Снижение динамических моментов в тяговом приводе. Отказ от применения для грузовых тепловозов и электровозов тяговых приводов с упругим звеном в валопроводах (либо приводов с опорно-рамным подвешиванием ТЭД и редуктора) фактически привел к возврату ситуации 60-х годов, когда динамические моменты при движении в расчетном режиме были сопоставимы с тяговыми (ранее этот вопрос уже был рассмотрен авторами, например, в [25]).

4. Уменьшение поперечного скольжения колесных пар путем снижения угла набегания колеса на рельс в кривых. Ухудшение тяговых условий из-за большой базы тележки в первую очередь актуально в условиях Восточного полигона, где кривые радиусом менее 650 м составляют 40 %, а менее 350 м – 56 % от общесетевых значений [26], для серийных тепловозов 2ТЭ25К (КМ) и для перспективного тепловоза 3ТЭ30Г, на которых применяются трехосные тележки.

Что же касается возможности применения усилителей сцепления, то основной проблемой их реализации на выпускаемых и перспективных тепловозах является организация независимых контуров тока для электротоковых усилителей и размещение индукторов для электромагнитных усилителей.

Из проведенного анализа следует, что для эффективного применения энергосберегающего тягового привода необходимы изменения в его технической надсистеме, пересмотр подхода к проектированию экипажной части новых локомотивов, иными словами, принятие новой концепции проектирования, которую авторы предлагают назвать концепцией энергосберегающей экипажной части.

Предлагаемые решения

В соответствии с изложенным выше, авторы предлагают сформулировать концепцию энергосберегающей экипажной части локомотива следующим образом.

Энергосберегающая экипажная часть локомотива – экипажная часть локомотива, при конструировании которой рациональный выбор технических решений производится из условия обеспечения наибольшей эффективности применения энергосберегающего тягового привода, а именно:

- сведения к минимуму влияния факторов, ухудшающих сцепление колеса с рельсом во время движения локомотива в расчетном режиме тяги;
- создания условий для установки и функционирования устройств, обеспечивающих безынерционное регулирование коэффициента сцепления колеса с рельсом.

В свою очередь, сведение к минимуму влияния факторов, ухудшающих сцепление, может быть реализовано следующими мерами, дополнительными к уже используемым в конструкции современных локомотивов.

Статическая определимость буксовой ступени рессорного подвешивания.

Данное условие автоматически реализуется в случае, если экипажная часть состоит из двухосных тележек, имеющих двухступенчатое рессорное подвешивание или шарнирно опирающихся на промежуточную раму. Передача тягового усилия в данном случае может быть осуществлена с помощью низкорасположенного шкворня или наклонных тяг.

Что касается трех- четырехосных тележек, то, в связи с распространением в последнее время одноповодковых букс имеет смысл обеспечивать статическую определимость буксовой ступени за счет пневмопружинного рессорного подвешивания, подобного примененному в опытном порядке на тепловозе 2ТЭ116 [9].

Снижение поперечной составляющей скольжения колеса по рельсу.

Данное условие реализуется либо в случае экипажной части, состоящей из двухосных тележек, имеющих минимальную базу, либо путем использования трех- и четырехосных тележек с радиальной установкой колесных пар (применение одноосных тележек в данной статье авторами не рассматривается в связи с меньшей изученностью данного типа экипажной части).

Другой мерой снижения поперечной составляющей скольжения может служить использование опор кузова на тележку и поперечных связей кузова с тележкой с регулируемыми упруго-диссипативными свойствами. Данный вопрос был подробно рассмотрен авторами в [4].

Снижение неподрессоренной массы и динамических моментов в тяговом приводе.

Для локомотивов с диаметром колеса 1250 мм может быть достигнуто как за счет применения опорно-рамных тяговых приводов, так и опорно-осевого тягового привода агрегатной схемы, имеющего упругое звено [27].

Основным условием размещения электротоковых усилителей сцепления является удобство создания контуров тока, изолированных от остальных частей локомотива. Очевидно, что в ближайшую перспективу наиболее простым и надежным способом создания таких контуров является контактный, при этом, для исключения использования контактных роликов, контур тока должен создаваться между соседними колесными парами. Наилучшими вариантами экипажной части в этом случае является экипаж, состоящий либо из двухосных тележек, либо из четырехосных в жесткой раме и имеющих радиальную установку крайних колесных пар. При этом шестиосная секция может быть реали-

зована за счет использования трех двухосных тележек. Изоляция колесной пары от остальных узлов экипажа может быть достигнута как при опорно-рамном приводе, так и при опорно-осевом агрегатного типа, при использовании подвески ТЭД с резинометаллическими шарнирами.

Размещение электромагнитных усилителей сцепления требует дополнительного пространства, при этом для снижения веса конструкции целесообразно использовать в качестве сердечника индуктора самих элементы экипажной части локомотива. Очевидно, что секторное расположение индуктора на колесных центрах, как это было сделано на тепловозе ТЭМ2УС-0001, нерационально в связи с возникновением вихревых токов во вращающихся бандажах колесных центров, что будет особенно существенным для магистральных тепловозов и электровозов. Поскольку деталью колесной пары, имеющей минимальную окружную скорость, является ось, то, из соображения минимальных потерь, целесообразно обмотку индуктора располагать именно на оси. На рис. 2,*а*,*б*,*в* показаны наиболее реализуемые из возможных вариантов размещения обмотки в тяговом приводе.

Варианты (рис. 2,*а* и рис. 2,*б*) наиболее подходят для экипажной части с колесами диаметром 1250 мм.

На рис. 2,*а* изображен опорно-рамный тяговый привод с осевым редуктором, имеющим промежуточное зубчатое колесо, что позволяет увеличить расстояние между статором ТЭД и осью колесной пары и в полученном промежутке разместить катушку индуктора. Известно, что в опорно-осевом приводе с консольным расположением малого зубчатого колеса применение промежуточного зубчатого колеса вызвало значительные проблемы [11], поскольку опорный подшипник промежуточного зубчатого колеса требовалось разместить внутри ступицы зубчатого колеса. В варианте с осевым редуктором подшипниковые опоры промежуточного зубчатого колеса могут быть размещены на корпусе редуктора, а размеры промежуточного зубчатого колеса могут быть больше, чем малого колеса. Это позволяет обеспечить достаточную надежность и долговечность зубчатой передачи. При этом наличие компенсирующего механизма с торсионным валом обеспечивает амортизацию ударных нагрузок при проезде неровностей пути и снижает тем самым динамические моменты в приводе. Обмотка индуктора может быть подвешена к раме тележки, при этом ось имеет возможности вертикального перемещения при колебаниях буксовой ступени рессорного подвешивания, за счет выполнения обмотки индуктора овальной; таким образом, в данном варианте обмотка индуктора не увеличивает неподрессоренную массу экипажа, которая составит около 4,5 т на ось. Данный вариант не вызывает технологических трудностей в изготовлении и не требует дополнительных исследований.

Использование в качестве тягового электродвигателя машины с осевым магнитным потоком позволяет уменьшить осевой габарит корпуса тягового электродвигателя с 940 до 530 мм [28]. Это позволяет при сохранении опорно-осевого подвешивания ТЭД разместить обмотки индуктора с обоих сторон статора ТЭД (рис. 2,б).

Достоинством варианта рис. 2,*б* является отсутствие промежуточных колес в тяговом передаче и, следовательно, более высокий КПД передачи, при этом увеличивается долговечность тяговой передачи за счет увеличения размеров малого зубчатого колеса (из-за уменьшения частоты вращения ТЭД с дисковым ротором при более высоком крутящем моменте), а также повышается долговечность передаточного механизма, который компенсирует только монтажные несоосности и снижаются динамические моменты, поскольку подвеска расположена дальше от оси ТЭД. С другой стороны, такой привод имеет более высокую неподрессоренную массу, а технология изготовления ТЭД с осевым магнитным потоком пока не отработана производством. На данную конструкцию, предложенную авторами, получен ряд патентов, например [29].

Для локомотивов с диаметром колеса 1050 мм дополнительное место для размещения обмотки индуктора на оси можно найти только за счет выполнения статора ТЭД незамкнутым, что возможно при использовании дугостаторных тяговых электродвигателей (рис. 2,в). Возможность использования дугостаторных асинхронных двигателей (ДАД) в качестве тяговых ранее была обоснована в [30]. Авторами предложен ряд конструкций подобного привода и получены патенты, например [31]. Основной недостаток данного варианта состоит в недостаточном опыте использования ДАД в качестве тяговых двигателей локомотива и недостаточном исследовании влияния магнитного поля, создаваемого обмоткой индуктора, на токи в короткозамкнутой обмотке ротора.

На основании изложенного можно сделать вывод, что концепция энергосберегающей экипажной части может быть реализована в виде различных вариантов конструкций. При этом основной сложностью в реализации является недостаточная изученность эффективности применения электротоковых и электромагнитных усилителей сцепления для разных типов локомотивов, что не позволяет в процессе проектирования априори сделать выбор между тем или иным типом усилителя сцепления. Наконец, пока нельзя исключать, что наиболее эффективным вариантом может оказаться одновременное оборудование локомотива электротоковыми и электромагнитными усилителями сцепления, для

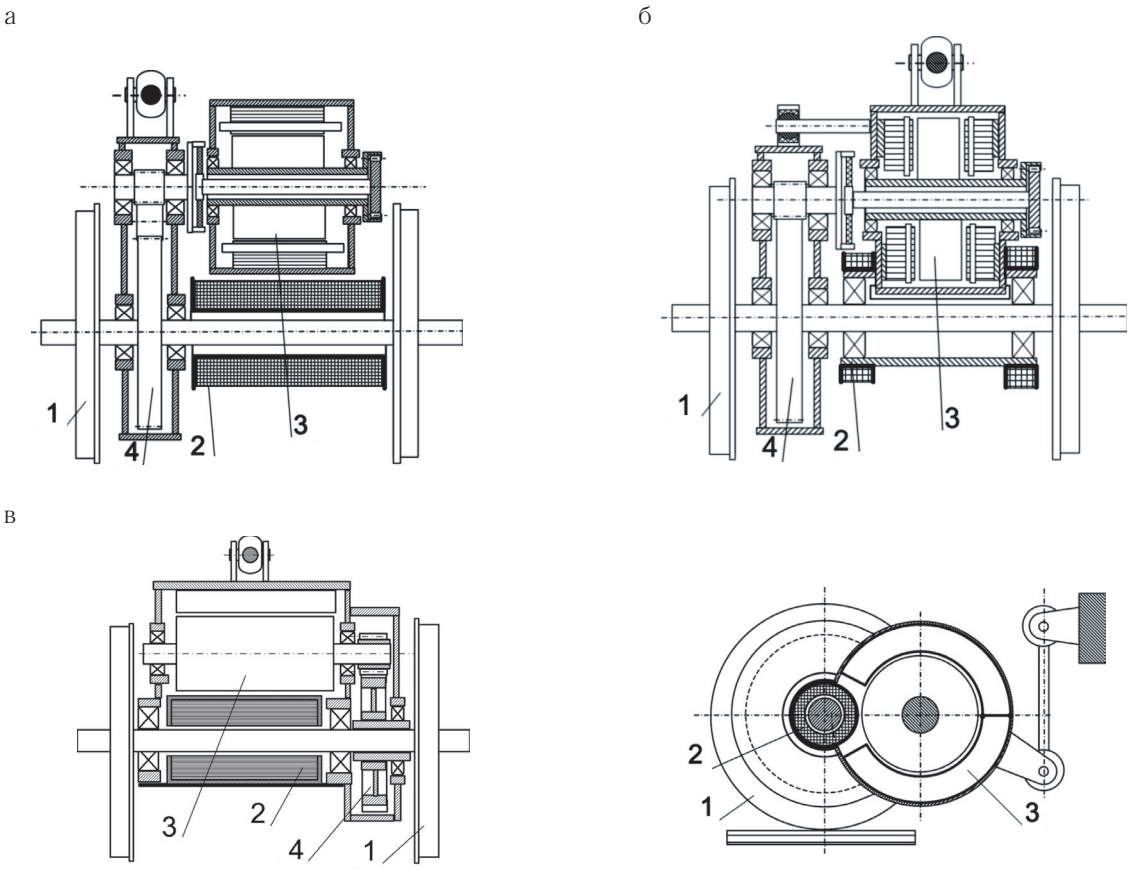


Рис. 2. Варианты размещения обмоток индуктора при индивидуальном приводе: а – опорно-рамный привод с осевым редуктором и промежуточным колесом; б – привод с тяговым электродвигателем с осевым магнитным потоком; в – привод с дугостаторным двигателем; 1 – колесная пара; 2 – обмотка индуктора; 3 – тяговый электродвигатель; 4 – редуктор (тяговая передача).

их совместного воздействия на поверхность контакта колеса и рельса, либо действия каждого из них в условиях, наиболее для них благоприятных. Можно сделать вывод, что энергосберегающая экипажная часть на ранних стадиях внедрения должна удовлетворять условиям размещения на ней как электротоковых, так и электромагнитных усилителей сцепления, либо и тех и других.

В связи с этим в качестве рациональной конструкции энергосберегающей экипажной части в начальный период внедрения авторы предлагают использовать двухосные тележки с диаметром колеса 1250 мм, на которых могут быть реализованы перечисленные выше условия. Кроме того, в отечественной практике имеется большой опыт создания таких тележек для магистральных электровозов. На рис. 3 в качестве примера приведен возможный вариант подобной экипажной части для тепловоза 3ТЭ30Г.

Поскольку дизельная секция тепловоза 3ТЭ30Г без танкерного модуля должна перемещаться самостоятельно в основном по деповским путям, на ней можно оставить только небольшой запас дизельного топлива в баках, размещаемых внутри кузова. Двухосные тележки с базой 2900 мм, как у электровоза ЭП1, позволяют использовать опорно-рамный тяговый привод с осевым редуктором, что дает возможность реализовать как электротоковый, так и электромагнитный усилитель сцепления. При этом все восемь тележек тепловоза оказываются унифицированы. Небольшая колесная база позволяет уменьшить поперечное скольжение колесных пар при прохождении крутых кривых, буксовое рессорное подвешивание статически определимо, а упругие звенья передаточных механизмов снижают динамические моменты упругостей пути. Таким образом, предложенное решение удовлетворяет всем перечисленным выше требованиям к энергосберегающей экипажной части локомотива.

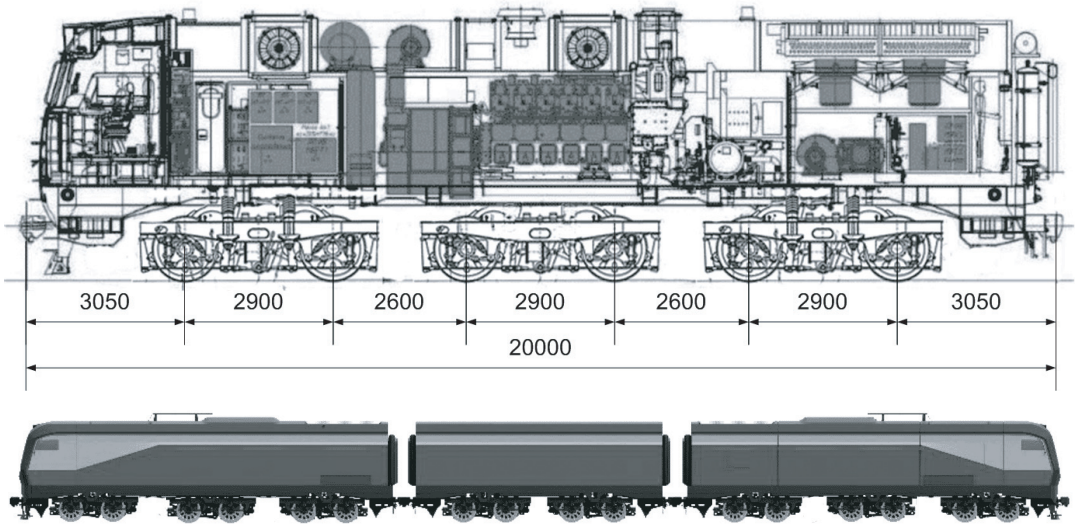


Рис. 3. Пример энергосберегающей экипажной части тепловоза 3ТЭ30Г (при перенесении запасов топлива на бустерный танкерный модуль)

Выводы

1. Установлено, что развитие концепции энергосберегающего тягового привода привело к необходимости развития надсистемы тягового привода, то есть к необходимости создания концепции энергосберегающей экипажной части локомотива.

2. Предложена формулировка концепции энергосберегающей экипажной части локомотива, как такой экипажной части часть локомотива, при конструировании которой рациональный выбор технических решений производится из условия обеспечения наибольшей эффективности применения энергосберегающего тягового привода, а именно:

• сведения к минимуму влияния факторов, ухудшающих сцепление колеса с рельсом во время движения локомотива в расчетном режиме тяги;

• создания условий для установки и функционирования устройств, обеспечивающих безынерционное регулирование коэффициента сцепления колеса с рельсом.

3. В качестве основных требований к энергосберегающей экипажной части локомотива предложены:

• статическая определимость буксовой ступени рессорного подвешивания;

• снижение поперечной составляющей скольжения колеса по рельсу;

• снижение неподрессоренной массы и динамических моментов в тяговом приводе;

• удобство размещения электротоковых и электромагнитных усилителей сцепления.

4. Для снижения потерь от вихревых токов при использовании электромагнитных усилителей сцепления предложено размещать обмотку индуктора на оси колесной пары с использованием следующих возможных компоновочных решений:

• применения опорно-рамного тягового привода с осевым редуктором, имеющим промежуточное зубчатое колесо;

• применения агрегатного опорно-осевого тягового привода с тяговым двигателем, имеющим осевой магнитный поток;

• применения дугостаторного асинхронного двигателя с незамкнутым ротором.

5. В качестве примера реализации концепции энергосберегающей экипажной части предложено использовать в экипажной части двухосные тележки с диаметром колеса 1250 мм.

6. По теме статьи авторами получены два патента на полезные модели.

Литература

1. Развитие концепции энергосберегающего тягового привода локомотива / А. А. Пугачев, В. И. Воробьев, О. В. Измеров, А. Е. Карпов. - Текст: непосредственный // Транспортное машиностроение. - 2024. - № 9. - С. 47-57.
2. Сравнение тяговых приводов с опорно-осевым и опорно-рамным подвешиванием двигателя / А. А. Пугачев, В. И. Воробьев, О. В. Измеров, Е. В. Николаев. - Текст : непосредственный // Транспортное машиностроение. - 2024. - № 4. - С. 13-25.
3. Анализ возможностей повышения тяговых свойств новых грузовых и маневровых локомотивов / А. А. Пугачев, В. И. Воробьев, О. В. Измеров, Е. В. Николаев. - Текст : непосредственный // Транспортное машиностроение. - 2024. - № 9. - С. 38-46.
4. Анализ и разработка конструктивных решений экипажной части для повышения тяговых свойств локомотивов / А. А. Пугачев, В. И. Воробьев, О. В. Измеров, Е. В. Николаев. - Текст : непосредственный // Транспортное машиностроение. - 2023. - № 6 (18). - С. 52-62.
5. Анализ способов обнаружения боксования локомотива / В. И. Воробьев, С. Н. Злобин, О. В. Измеров, С. О. Копылов, Е. П. Крыгина. - Текст : непосредственный // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. - 2022. - № 6 (356). - С.14 -22.
6. Кизер, Герберт. Электрические дорог/ Герберт Кизер, инж.; пер. с нем. Д. М. Вержбинского, инж.-техн. - Санкт-Петербург : А.С. Суворин, 1909. - 144, III с. - Текст : непосредственный.
7. Electric Railway Handbook. A reference book of practice data, formulas and tables for the use of operators, engineers and students / A.S. Richey // New York, McGraw-Hill book company, Inc. 1915. - 831 с.
8. Медель, В. Б. Электровозная тяга с тяжеловесными составами / В. Б. Медель. - Текст : непосредственный // Труды МЭМИИТ. Вып. 26. - Москва : Трансжелдориздат, 1936. - 32 с.
9. Евстратов А. С. Экипажные части тепловозов / А. С. Евстратов. - Москва : Машиностроение, 1987. - 136 с. - Текст : непосредственный.
10. Калихович, В. Н. Тяговые приводы локомотивов : (Устройство, обслуживание, ремонт) / В. Н. Калихович. - Москва : Транспорт, 1983. - 111 с. - Текст : непосредственный.
11. Михайлов, Г. И. Повышение надежности и несущей способности тяговых зубчатых передач. Опыт поиска новых технических решений : монография / Г. И. Михайлов. - Казань : Алгоритм+, 2023. - 560 с. - Текст : непосредственный.
12. Рудяков, З. З. Резервы увеличения весовых норм поездов / З. З. Рудяков. - Текст : непосредственный // Железнодорожный транспорт. - 1962. - № 2. - С. 28-31.
13. Янсон, О. М. К вопросу электромагнитного способа улучшения условий сцепления колес электровоза с рельсами / О. М. Янсон. - Текст : непосредственный // Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова. Т. XXXII. Вып. 1. - Ленинград, 1954. - С. 66-76.
14. Ананьев, К. А. Шахтный электровоз с электромагнитным тяговым органом / К. А. Ананьев, А. В. Рысьев. - Текст : непосредственный // Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В. Плеханова. Т. LIII. Вып.1. - Ленинград, 1966. - С. 62-65.
15. Ситников, Е. А. Исследования по повышению тяговых свойств маневровых тепловозов путем применения электромагнитного увеличения сцепления и более оптимальных схем соединения тяговых электродвигателей / Е. А. Ситников, И. Н. Родионов, В. П. Гриневич. - Текст : непосредственный // Заключительный отчет по теме «Научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по повышению эксплуатационных качеств, надежности и долговечности тепловоза» № И-108-82. - Коломна : ВНИКТИ, 1982. - 83 с.
16. Делюсто, Л. Г. Основы прокатки металлов в постоянных магнитных полях / Л. Г. Делюсто. - Москва : Машиностроение, 2005. - 272 с. - ISBN 5-217-03307-X. - Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: https://e.lanbook.com/book/734 (дата обращения: 10.03.2025). - Режим доступа: для авториз. пользователей.
17. Моделирование сцепления колеса с рельсом : монография / В. П. Тихомиров, В. И. Воробьев, Д. В. Воробьев, Г. В. Багров, М. И. Борзенков, И. А. Бутрин. - Орел : Изд-во ОрелГТУ, 2007. - 126 с. - Текст : непосредственный.

18. Ивахин, А. И. Стенд для исследования тяговых свойств в системе колесо-рельс железнодорожных транспортных средств / А. И. Ивахин, В. И. Травиничев, Д. И. Петраков. - Текст : непосредственный // Тяжелое машиностроение. - 2011. - № 4. - С. 2-5.

19. Петраков, Д. И. Оценка тяговых качеств тепловозов с электропередачей с учетом воздействия электрического тока на зоны контакта колес с рельсами : специальность 05.22.07 «Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Петраков Дмитрий Иванович; Место защиты: Брян. гос. техн. ун-т (БИТМ). - Брянск, 2013. - 18 с. - Текст : непосредственный.

20. Корчагин, В. О. Улучшение тяговых качеств тепловозов воздействием постоянного магнитного поля на контакт трибосистемы колесо-рельс : специальность 05.22.07 «Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Корчагин Вадим Олегович; Место защиты: Рос. ун-т транспорта. - Москва, 2017. - 24 с. - Текст : непосредственный.

21. Улучшение тяговых качеств локомотивов с помощью магнитных усилений сцепления : монография / Д. Я. Антипин, В. И. Воробьев, Д. В. Воробьев [и др.] ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Брянский государственный технический университет. - Брянск : Изд-во БГТУ, 2018. - 231 с. - Текст : непосредственный.

22. Концепция развития энергосберегающих электромеханических систем / А. С. Космодамианский [и др.] ; под ред. А. С. Космодамианского ; М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное гос. бюджетное образовательное учреждение высш. проф. образования «Гос. ун-т учебно-научно-произв. комплекс». - Орел : Госуниверситет - УНПК, 2014. - 243 с.

23. Техническая инновационика как научное направление / В. И. Воробьев, М. И. Борзенков, С. Н. Злобин, О. В. Измеров, А. Е. Карпов. - Текст : непосредственный // Материалы международной научно-технической конференции «Динамика, надежность и долговечность механических и биомеханических систем». - Орел: Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. - 2024. - № 4 (366). - С. 32-40.

24. Методика воздействия подвижного состава на путь по условиям обеспечения надежности. - утверждена Распоряжением ОАО «РЖД» от 22 декабря 2017 г. № 2706Р. - 53 с. - Текст : непосредственный.

25. Сравнение тяговых приводов с опорно-осевым и опорно-рамным подвешиванием двигателя / А. А. Пугачев, В. И. Воробьев, О. В. Измеров, Е. В. Николаев. - Текст : непосредственный // Транспортное машиностроение. - 2024. - № 4. - С. 13-25.

26. Яновский, А. С. На заседании Объединенного ученого совета ОАО «РЖД» / А. С. Яновский. - Текст : непосредственный // Путь и путевое хозяйство. - 2021. - № 5. - С. 7-9.

27. Применение агрегатных тяговых приводов для локомотивов с повышенными тяговыми свойствами / А. С. Космодамианский, А. А. Пугачев, В. И. Воробьев, О. В. Измеров, Е. В. Николаев. - Текст : непосредственный // Транспорт Урала. - 2023. - № 2 (77). - С. 41-48.

28. Курбасов, А. С. Повышение работоспособности тяговых электродвигателей / А. С. Курбасов. - Москва : Транспорт, 1977. - 223 с. - Текст : непосредственный.

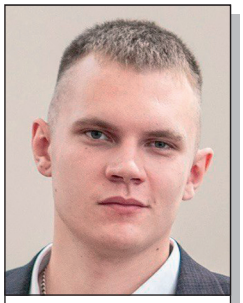
29. Патент № 202706 Российская Федерация, МПК B61C 15/08 (2006.01). Устройство для увеличения сцепления ведущих колес локомотива с рельсами : 2020132322 : заявлено 01.10.2020 : опубликовано 03.03.2021, бюл. № 7 / Космодамианский А.С., Воробьев В. И., Измеров О.В., Маслов М.А., Корчагин В.О., Стрекалов Н.Н., Капустин М.Ю., Самотканов А.В., Шевченко Д.Н.; Космодамианский Андрей Сергеевич. - 8 с. : ил. - Текст : непосредственный.

30. Варианты реализации и динамические свойства асинхронного тягового привода локомотивов с дугостаторными электродвигателями / А. И. Ивахин. - Текст : непосредственный // Тяжелое машиностроение. - 2012. - № 10. - С. 17-21.

31. Патент № 225101 Российская Федерация МПК B61C 15/08 (2006.01) B61C 9/48 (2006.01). Устройство для увеличения сцепления ведущих колес локомотива с рельсами : 2024102710 : заявлено 04.02.2024 : опубликовано 12.04. 2024, бюл. № 11 / Антипин Д. Я., Воробьев В. И., Измеров О. В., Маслов М. А., Копылов С. О., Николаев Е. В., Пугачев А. А ; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Брянский государственный технический университет» (RU). -14 с.: ил. - Текст : непосредственный.

ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ МЕЖРЕМОНТНОГО ПРОБЕГА ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ГАСИТЕЛЕЙ КОЛЕБАНИЙ ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ ПУТЕМ ИЗМЕНЕНИЯ КОНСТРУКЦИИ И МАТЕРИАЛА ВТУЛОК В ГОЛОВКАХ ГАСИТЕЛЕЙ


Д.Г. Евсеев


А.С. Богачев

В статье рассматривается конструкция головок гидравлических гасителей колебаний пассажирских вагонов с проведением подробного анализа материалов, применяемых при изготовлении втулок в головках гасителей. На основе анализа характеристик этих материалов, а также с учетом агрессивной среды, в которой работает гаситель, выявляются основные недостатки применяемых материалов и возможности их замены на более износостойкие.

Ключевые слова: гидравлический гаситель колебаний, пассажирский вагон, резиновые смеси, материалы втулок

EDN: NSBFNR

В пути следования ходовая часть вагона испытывает колоссальные нагрузки. Связано это с большинством факторов, таких как неровности пути, кривые малого радиуса, большой вес вагона, перепады температуры и т.д. Для предотвращения резкого увеличения амплитуды колебаний в систему рессорного подвешивания вагона включены гасители колебаний. Гидравлический гаситель колебаний работает по принципу перемещения масла (рабочей жидкости) между полостями через дросселирующие отверстия. От его исправной работы во многом зависят динамические характеристики и нагрузки, воспринимаемые элементами вагона, а также безопасность и комфорт пассажиров в пути следования состава. В [1] авторы рассмотрели две принципиально разные конструкции тележки пассажирского вагона с разными системами гашения колебаний и на основе анализа этих систем выявили основные недостатки гидравлического гасителя колебаний. С целью выработки путей устранения этих недостатков следует более подробно остановиться на конструкционных особенностях головок гасителей колебаний и физико-химических свойствах резиновых втулок, применяемых в головках.

Проведя анализ поступивших в ремонт вагонов с неисправностями гидравлических гасителей колебаний за 2024 год (рис. 1), нами было выявлено, что из 94 вагонов, поступивших в ремонт, 52% было забраковано из-за ослабления крепления гасителя в раме тележки, а также несоблюдения правил его установки и нормативных зазоров.

После проведения дефектации неисправных гасителей колебаний было выявлено, что наиболее часто встречающаяся неисправность, а именно ослабление крепления гасителя в кронштейнах тележки, связана с износом резиновых втулок гасителя. Конструкция головки гасителя с типом крепления в кронштейнах тележки представлена на рис. 2 [2].

В соответствии с действующей технологией, для смягчения колебаний, передаваемых головкам гидравлического гасителя колебаний 45.30.045М в вагоно-

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.

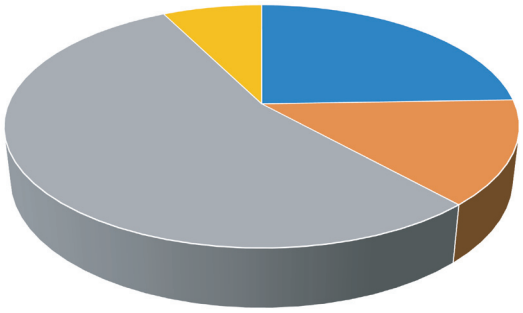
Богачев Алексей Сергеевич, аспирант кафедры «Технология транспортного машиностроения и ремонта подвижного состава» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: повышение срока службы вагонов и их деталей. Автор одной научной работы.

строении применяются резиновые втулки с маркировкой 12405-Н (13-30-675) (табл. 1).

Резиновая смесь 7-6218 относится к IV группе. Она отличается хорошей работоспособностью в средах масел и топлив, а также в районах с холодным климатом (табл. 2) [3].

Таким образом, изучив свойства и характеристики применяемых на данный момент в вагоностроении втулок головок гидравлических гасителей колебаний, можно сделать вывод о том, что смесь 7-6218 отвечает всем требуемым свойствам. Однако, проведенный нами анализ показывает, что данные втулки достаточно быстро выходят из строя. И к основным причинам этого явления мы можем отнести повышенные нагрузки вызванные неровностями пути, достаточно агрессивную среду эксплуатации, а также несоблюдение технических требований сборки гасителя. Исходя из этого предлагается рассмотреть иной материал втулок, который обладает наилучшими свойствами в сравнении с резиновой смесью 7-6218.

При проведении сборочных работ головки гасителя, в первую очередь устанавливаются резиновые втулки, после чего внутрь запрессовываются металлические. Резиновая втулка, установленная в головке, в момент запрессовки находится в сжатом состоянии. С учетом большой шероховатости металлической втулки, под воздействием силы трения при запрессовке, на резине образуются дефекты, так называемые раздиры. Данный дефект под воздействием нагрузок в процессе эксплуатации гасителя продолжает активно развиваться, что в свою очередь приводит к появлению зазоров между втулками головки и ослаблению крепления гасителя в кронштейнах тележки, в результате чего при прохождении вагоном неровностей пути возникают удары, которые приводят к дополнительной нагрузке на внутренние элементы гасителя. Кроме того, повышенный износ резиновых втулок увеличивает шанс проворота металлической втулки внутри, что приводит к ускоренному разрушению резины.



- Течь рабочей жидкости гасителя: 23; 24%
- Вмятины, трещины, изломы кожуха или корпуса гасителя: 13; 14%
- Ослабление крепления верхних и нижких головок в гасителе в раме тележки: 51; 52%
- Заклинивание гасителя: 7; 7%

Рис. 1. Диаграмма неисправностей гасителя колебаний

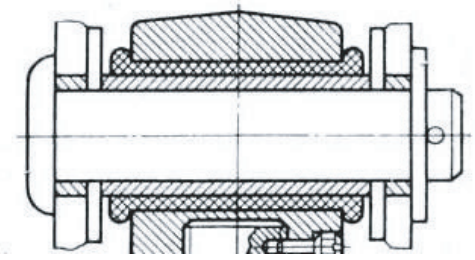


Рис. 2. Конструкция головки гидравлического гасителя колебаний со штыревым креплением в кронштейне тележки

Таблица 1

Характеристики втулок 12405-Н (13-30-675) [4]

Параметр	Значение
Внутренний диаметр	39 мм
Наружный диаметр	60 мм
Ширина	89 мм
Вес	200 гр
Материал	резина
Марка резиновой смеси	7-6218

Таблица 2

Характеристики резиновой смеси 7-6218 [3]

Марка резиновой смеси	7–6218
Группа резины	IVб
Температурный интервал работоспособности (°С)	–60 до 100
Модуль упругости при растяжении 100%	12
Твердость по Шору (шкала А)	55–75
Тип каучука	СКН–18
Эластичность по отскоку (%)	30
Предел прочности при разрыве (кг/см^2)	115
Удлинение при разрыве (%)	300
Прочность на раздир (Н/мм)	20
Коэффициент морозостойкости по эластичному восстановлению после сжатия при –50°С	0,2
Абразивная стойкость (Шабер Н22)	2

Таким образом, необходимо рассмотреть варианты замены материала втулок на более износостойкий, который будет превосходить резиновую смесь 7-6218 по основным показателям, таким как упругость, твердость, эластичность, прочность при раздире и разрыве, а также абразивная стойкость и температурный интервал работоспособности. А в качестве такого материала рассмотрим возможность применения полиуретана, а точнее клееных полиуретановых сайлентблоков – резинометаллических шарниров, которые упруго соединяют узлы конструкции.

Сайлентблоки классифицируются по нескольким признакам:

1. Наличие в конструкции металлических обойм или, проще говоря, втулок. Зачастую сайлентблоки изготавливаются с двумя обоймами – внутренней и наружной, однако нередко встречаются конструкции с одной обоймой или вовсе без нее.

2. В качестве конструктивного исполнения встречаются разборные и неразборные сайлентблоки. Неразборный сайлентблок представлен одной деталью без возможности его разборки на составные части; в свою очередь разборный подразумевает разделение на составляющие.

В табл. 3 представлены характеристики полиуретанового заполнителя сайлентблока.

После проведения сравнительного анализа характеристик двух материалов, а именно резиновой смеси 7-6218 и полиуретана, мы можем сделать вывод о том, что полиуретановая смесь обладает наилучшими характеристиками, более того, следует отметить, что полиуретан гораздо более жесткий материал, чем резина. Клееная конструкция позволит исключить шанс проворота втулок относительно друг друга. Говорить о разрыве поверхностного слоя полиуретана из-за склеенной конструкции не приходится, так как он обладает достаточно высокими показателями прочности и удлинения при разрыве. А при запрессовке цельного сайлентблока в головку гасителя мы практически полностью исключаем фактор повреждения поверхностного слоя полиуретана из-за низкой шероховатости внутренней поверхности головки и высокой эластичности втулки.

Таблица 3

Характеристики полиуретановой смеси [5]

Температурный интервал работоспособности (˚С)	−60 до 110
Модуль упругости при растяжении 100%	29
Твердость по Шору (шкала А)	55−75
Эластичность по отскоку (%)	40
Предел прочности при разрыве (кг/см^2)	312
Удлинение при разрыве (%)	540
Прочность на раздир (Н/мм)	58
Коэффициент морозостойкости по эластичному восстановлению после сжатия, при −50 ˚С	0,45
Абразивная стойкость (Шабер Н22)	10

Кроме того, мы добиваемся повышения жесткости конструкции, что в свою очередь положительно влияет на динамические характеристики вагона в целом. Важно, говоря о замене резиновой втулки на полиуретановый аналог не стоит забывать о том, что себестоимость полиуретана выше себестоимости резины, однако нашей главной задачей является повысить надежность узла и увеличить его межремонтный пробег, что позволит сократить нормы простоя вагона на ремонте, а следовательно, снизить убытки и повысить план пассажирооборота.

На сегодняшний день норма простоя пассажирского вагона в текущем отцепочном ремонте 4 часа, а при ТО-3 − 8 часов. Замена резиновых втулок на полиуретановые позволит увеличить межремонтный пробег гасителя, а следовательно и вагона в целом. Исходя из этого сократится норма простоя вагона в текущих и плановых видах ремонта.

Выводы

1. Целесообразно заменить резиновые втулки марки 7-6218 головок гидравлических гасителей колебаний пассажирского вагона на втулки из полиуретана, который по всем показателям превосходит резину, используемую сейчас в вагоностроении.

2. Увеличение межремонтного пробега, который обеспечивается такой заменой, позволяет уменьшить огромные затраты на простой вагона в ремонте, несмотря на более высокую себестоимость полиуретана по сравнению с резиной, в полной мере окупает затраты на более дорогостоящий материал.

Литература

1. Евсеев, Д. Г. Возможности повышения срока службы гасителя колебаний тележки пассажирского вагона / Д. Г. Евсеев, А. С. Богачев. - Текст : непосредственный // Транспортное машиностроение. - 2025. - № 1. - С. 49-53. doi: 10.30987/2782-5957-2025-1-49-53.

2. Красковская, С. Н. Текущий ремонт и техническое обслуживание электровозов постоянного тока / С. Н. Красковская, Э. Э. Ридель, Р. Г. Черепашенец. - Москва : Транспорт, 1989. - 408. - Текст : непосредственный.

3. ТУ 22.19.20-111-75233153-2018. Смеси резиновые невулканизованные товарные». - URL: https://niiemi.ru/study/TU/tu-22-19-20-111-75233153-2018-/?ysclid=mauxnxw1df718729228. (дата обращения: 07.04.2025). - Текст : электронный.

4. Инструкция по техническому обслуживанию вагонов в эксплуатации (инструкция осмотрщику вагонов) №808-2022 ПКБ ЦВ : Утверждена Советом по железнодорожному транспорту государств - участников Содружества. Протокол от 8 декабря 2022 г. № 77. - 180 с. - URL: https://mintrans.gov.ru/storage/app/media/files/instr-808-2022.pdf?ysclid=mauyyugyja526687609 (дата обращения: 07.04.2025). - Текст : электронный.

5. ТУ 22.29.29-011-24064306-2017 ЭП СКУ. Изделия из литьевых полиуретановых эластомеров «ЭП СКУ». - Консорциум Кодекс. - URL: https://docs.cntd.ru/document/437233591?ysclid=mauyb9n1rb3819271 (дата обращения: 07.04.2025). - Текст : электронный.

ПРИНЦИПЫ РЕКОНСТРУКЦИИ ГОРЛОВИН ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ СТАНЦИИ



Л.Н. Иванкова



А.В. Подорожкина

Рассмотрены предложения по реконструкции горловин станций при пропуске смешанного поездопотока, включающего длинносоставные поезда и поезда обычной длины. Установлены основные затраты на реконструктивные мероприятия для повышения пропускной способности станции.

Ключевые слова: реконструкция горловин, обеспечение потребной пропускной способности станции

EDN: FVMQNY

Изменения объемов и маршрутов следования грузо- и вагонопотоков, связанные как с экономическими, так и с геополитическими причинами, существенно влияют на работу большинства раздельных пунктов. В силу различных факторов зачастую возникает потребность в частичной или кардинальной реконструкции железнодорожных объектов, чтобы их техническое оснащение позволяло выполнять необходимые объемы работ.

В процессе работы над проектами реконструкции станций проектировщикам приходится учитывать разнородные требования: увеличение емкости путевого развития (за счет увеличения количества путей или за счет их удлинения), обеспечение потребной пропускной способности, изоляцию поездных и маневровых маршрутов, возможность расположить предлагаемую схему станции на имеющейся площадке с учетом сложности рельефа местности. Последний фактор оказывает существенное влияние на профилировку парков и других элементов инфраструктуры. Очень большое значение приобретает маневренность схемы и возможность параллельного выполнения технологических операций. При этом, чтобы не увеличивать строительную стоимость реконструируемого объекта, желательно укладывать минимальное количество стрелочных переводов, станционных и соединитель-

Иванкова Людмила Николаевна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Управление транспортными процессами» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: вопросы совершенствования технологии и технического оснащения железнодорожных станций, проектирование сортировочных устройств. Автор 102 научных работ.

Подорожкина Алла Валентиновна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Управление транспортными процессами» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: вопросы развития инфраструктуры железных дорог, усиления их пропускной способности, моделирование работы железнодорожных объектов. Автор 35 научных работ.

Иванков Алексей Николаевич, кандидат технических наук, доцент, главный инженер ООО «ПСК ТехПроект». Область научных интересов: вопросы совершенствования технологии и технического оснащения железнодорожных станций, проектирование сортировочных устройств. Автор 55 научных работ.

ных путей. В силу вышесказанного рациональные конструкции горловин станций приобретают большое значение в практике проектирования.

Выбор альтернативных раздельных пунктов для переустройства. Подготовка полигона для пропуска соединенных и сдвоенных поездов, в том числе с контейнерами

Для подготовки полигона под пропуск поездов длиной 2100 м требуется произвести выбор раздельных пунктов, где необходимо предусматривать соответствующую полезную длину. Как правило, это должны быть промежуточные станции или грузовые, имеющие благоприятный профиль на подходах, а также исключающие наличие *S*-образных кривых (для возможности развития станционной площадки). Кроме того, следует учитывать наличие искусственных сооружений, требующих реконструкции (удлинения труб при укладке дополнительных путей параллельно главным путям в удлиняемой части), наличие плотной жилой застройки вдоль главных путей, которая, возможно, потребует строительства шумозащитных экранов для снижения вредного воздействия шума на местных жителей, необходимость коренной реконструкции устройств СЦБ на станции в связи с демонтажем старых и размещением новых стрелочных переводов в реконструируемой горловине станции. Эти работы проводят в несколько этапов (как правило, подключение каждого стрелочного перевода в электрическую централизацию по постоянной схеме требует нового этапа).

В соответствии с [1] количество станций на участке, пропускающем поезда большой длины (2100 м и более), может быть определено в зависимости от следующих параметров:

- протяженность участка в км;
- участковые скорости движения пассажирских и грузовых поездов на данном участке с учетом технических стоянок, предусмотренных нормативным графиком движения, разгонов и замедления поездов;
- размеров движения сдвоенных поездов (контейнерных, порожних).

Количество обгонов, которое будет соответствовать количеству раздельных пунктов, способных к приему под обгон пассажирским поездом сдвоенных поездов, с округлением в большую сторону можно определить по формуле [1]

$$k = \frac{T'_{гр} - T'_{пасс}}{I_{сдв}} = \frac{60 \times L_{уч}(1-\Delta) \times N_{сдв} \times (1+1{,}5\sigma)}{V_{уч}^{гр}(1440 - T_{пост})\alpha_{н}}, \quad (1)$$

где $L_{уч}$ – длина участка, км;

Δ – отношение продолжительности проследования пассажирскими и грузовыми поездами данного участка;

$N_{сдв}$ – количество ниток сдвоенных поездов;

σ – среднеквадратическое отклонение фактического количества поездов от нормативного графика движения [2];

$V_{уч}^{гр}$ – участковая скорость грузовых поездов на данном участке;

$T_{пост}$ – длительность технологических «окон» в графике движения;

$\alpha_{н}$ – коэффициент надежности графика.

Были выполнены расчеты для следующих исходных данных:

- длина участка – 320 км;
- участковая скорость грузовых поездов – 55 км/ч.;
- соотношение времени хода пассажирских / грузовых поездов 0,65;
- 15 ниток сдвоенных поездов;
- среднеквадратическое отклонение размеров движения 0,1;
- технологические «окна» для содержания инфраструктуры – 150 мин/сут;
- надежность графика – 0,95.

Количество станций с длинными путями, позволяющими выполнять обгон сдвоенных грузовых поездов пассажирскими, будет составлять

$$k = \frac{60 \times 320(1-0{,}65) \times 15 \times (1+1{,}5 \times 0{,}1)}{50 \times (1440-150) \times 0{,}95} =$$

$$= 1{,}89 = 2 \text{ станции.}$$

Расчеты по определению количества станций для выполнения операций по обгону нужно выполнять в обоих направлениях и стремиться к их совмещению, что будет способствовать улучшению использования инвестиций, выделяемых на подготовку полигона к пропуску соединенных и сдвоенных поездов.

Варианты конструкции горловин при приеме на станцию поездов разной длины

В соответствии с требованиями [3] горловины станций должны обеспечивать беспрепятственный прием поездов при безусловном соблюдении безопасности движения. Конструкции горловин станции всегда уделялось значительное внимание в научно-технической литературе. Подчеркивалось, что маневренность и параллельность выполнения различных операций являются значимыми преимуществами оптимальных горловин станций [4–6].

Особые сложности возникают при пропуске по полигону поездов различной длины. Поезда, сфор-

мированные по весовой норме, как правило, значительно короче, чем порожние или комбинированные составы. В последнее время на сети практикуется пропуск сдвоенных поездов (в основном, контейнерных). Если такие поезда необходимо обрабатывать на станции, то возникает проблема размещения такого поезда на стандартных станционных путях: делить состав на части и занимать 2 пути, или «висит» хвостовая часть состава, или состав протягивается вперед и занимается выходная горловина приемоотправочного парка. Существует несколько вариантов решения данной проблемы:

- размещать длинносоставные и сдвоенные поезда на главных путях;
- реконструировать схему станции таким образом, чтобы самыми длинными оказались средние пути;
- удлинить самые крайние пути на станции.

Каждый из этих вариантов имеет свои недостатки, и, самое главное – существенно снижает пропускную способность как станции, так и железнодорожного участка в целом. Рассмотрим вариант реконструкции станции при удлинении средних путей (рис.1, вариант 1). При приеме четных длинносоставных или сдвоенных поездов на путь двойной длины никаких проблем с приемом поездов на «короткие» пути не возникает (хотя будет затруднено отправление коротких нечетных поездов). В то же время при приеме нечетных поездов повышенной длины невозможно осуществлять дальнейший прием поездов на верхнюю секцию приемоотправочного парка, поскольку хвостовая часть «длинного» состава перекрывает всю горловину. Авторами предложено с нечетной стороны уложить дублирующий главный путь. В этом случае обеспечивается беспрепятственный прием в нечетный парк поездов установленной длины. Так как маршруты приема поездов являются более приоритетными, то предлагаемые схемы нацелены исключить задержки поездов по неприему.

Совершенно иная ситуация складывается, если вместо параллельного переноса элементов горловины (не меняя принципиальной схемы) использовать размещение части приемоотправочного парка на отдельной площадке (рис.1, вариант 2). По сути, проектируется новый парк с путями двойной полезной длины 2100 м. Этот вариант не требует закрытия существующего парка. Прием и отправление поездов могут осуществляться беспрепятственно. Пути 3а и 4а будут подключаться к горловине по мере готовности и эти мероприятия не займут много времени. Однако такая схема реконструкции предполагает наличие свободной территории для размещения новых элементов инфраструктуры.

Экономическое обоснование вариантов реконструкции для увеличения пропускной способности станции

Укладка обходного пути потребует дополнительных инвестиций и дополнительных расходов на содержание вновь укладываемых элементов инфраструктуры. Эти издержки необходимо будет покрыть за счет уменьшения расходов, связанных с простоем поездов и их энергетическими затратами.

Капитальные вложения в строительство дублирующего пути составят

$$\Sigma K = K_{зр} + K_{всп} + K_{сцб} + K_{стр}, \qquad (2)$$

где $K_{зр}$ – строительная стоимость земляных работ, тыс. руб;

$K_{всп}$ – стоимость верхнего строения пути, тыс. руб;

$K_{сцб}$ – затраты на оборудование дополнительного объекта инфраструктуры устройствами СЦБ, тыс. руб;

$K_{стр}$ – затраты на приобретение, транспортировку и монтаж дополнительных стрелочных переводов, тыс. руб.

Подключение стрелочных переводов производится поэтапно (чем больше стрелочных переводов, тем больше этапов).

На электрифицированных участках к этим инвестициям добавляются затраты на устройства энергоснабжения.

Если будет применен вариант со строительством нового парка (см. рис.1, вариант 2), то к вышеперечисленным затратам следует добавить затраты на расчистку территории и снос существующих зданий и сооружений.

Ежегодные расходы по содержанию дополнительных устройств будут включать в себя

$$\Sigma Э = Э_{всп} + Э_{сцб} + Э_{стр} + (Э_{эл}) + Э_{ок}, \qquad (3)$$

где $Э_{всп}$ – расходы на содержание вновь укладываемого пути, тыс. руб;

$Э_{сцб}$ – расходы на поддержание в работоспособном состоянии устройств СЦБ, тыс. руб;

$Э_{стр}$ –расходы, связанные с содержанием новых элементов инфраструктуры (стрелочных переводов, прямых вставок и т.д.), тыс. руб.

$Э_{эл}$ – ежегодные расходы на содержание дополнительных устройств энергоснабжения, тыс. руб;

$Э_{ок}$ – расходы, связанные с предоставлением «окон» для строительных работ, тыс. руб.

Расходы, связанные с «окнами», в свою очередь включают расходы на задержки поездов из-за реконструктивных мероприятий, снятия ниток с графика, а в ряде случаев – длительной остановки поездов на

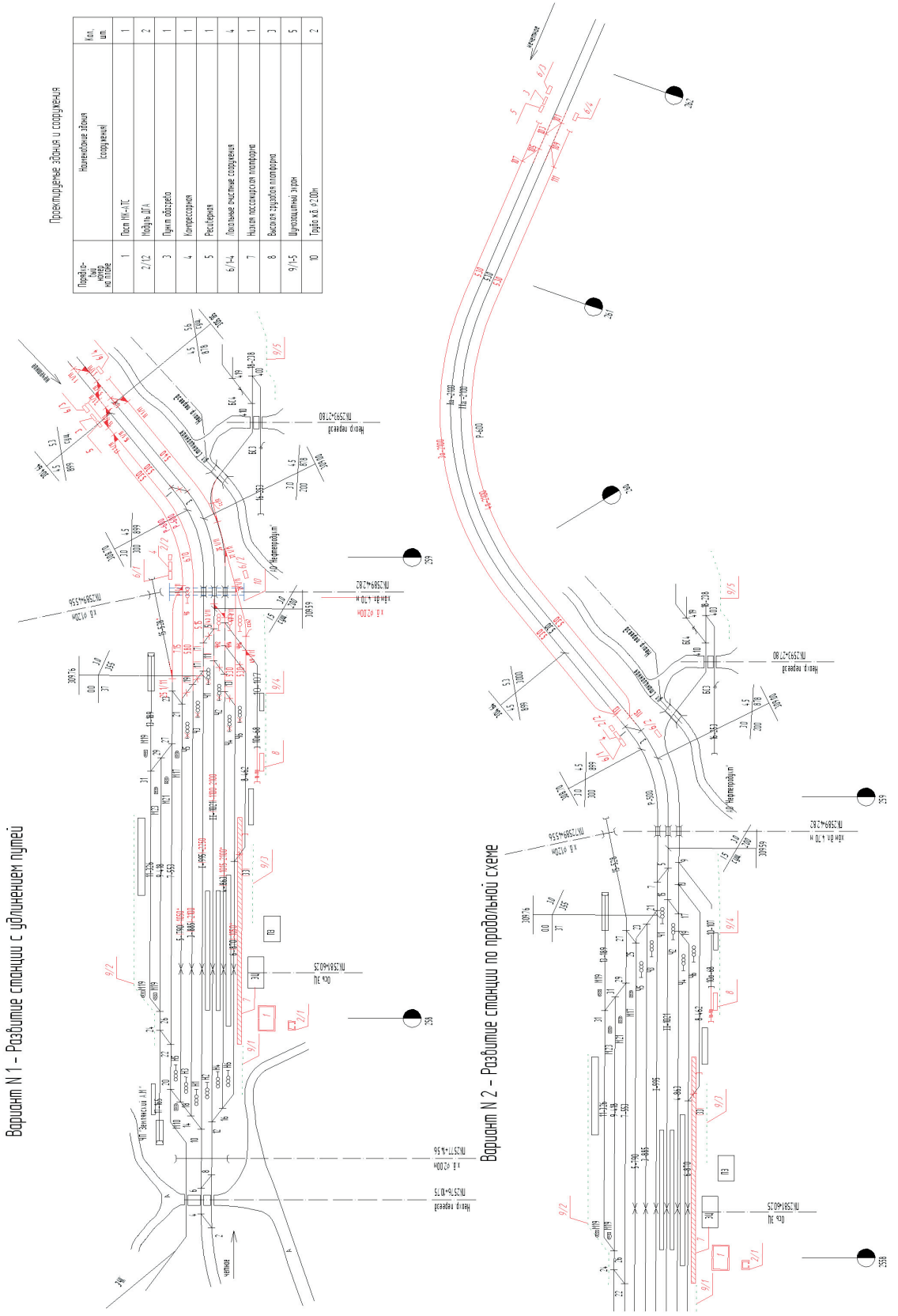


Рис. 1. Варианты реконструкции станции

предшествующих станциях.

Для определения величины первичных и вторичных задержек поездов при приеме поездов на станцию можно воспользоваться рекомендациями [7].

Предварительные расчеты показали, что количество первичных задержек и их продолжительность наносят больший ущерб пропускной способности участка, но недооценивать простой поездов на предшествующих станциях не следует. В качестве издержек определяются расходы, связанные с поездо-часами простоя и энергетические затраты на разгон и замедление поездов.

$$Э_{нов}=Э_{п\text{-}ч}+Э_{ост}. \quad (4)$$

где $Э_{п\text{-}ч}$ – расходы, связанные с поездо-часами простоя, тыс. руб;

$Э_{ост}$ – расходы, связанные с разгоном и замедлением поездов на участке.

Чистый дисконтированный доход при рассмотрении указанных вариантов составит

$$ЧДД=\frac{(\Delta Э-Э_{доп})\cdot(1-\gamma)}{E}-К, \quad (5)$$

где ΔЭ – изменение ежегодных расходов за счет сокращения времени простоя поездов, тыс. руб;

$Э_{доп}$ – расходы, связанные с содержанием дополнительных элементов инфраструктуры, тыс. руб;

γ – размер налога на прибыль;

К – капитальные затраты на реконструктивные мероприятия, тыс. руб;

E – норма дисконта.

Срок окупаемости инвестиций в реконструкцию определяется по формуле

$$T_{о}=\frac{К}{(\Delta Э-Э_{доп})\cdot(1-\gamma)}, \quad (6)$$

Поскольку предлагаемые реконструктивные мероприятия влияют на пропускную способность не только рассматриваемой станции, но и всего железнодорожного участка в целом, то необходима комплексная технико-экономическая оценка работы транспортной системы.

Выводы

Количество промежуточных станций на участке, осуществляющем пропуск поездопотока унифицированной длины и сдвоенных поездов, должно устанавливаться в зависимости от протяженности участка, участковых скоростей движения пассажирских и грузовых поездов, размеров движения сдвоенных поездов.

Разработаны варианты реконструкции горловин станций для приема-отправления смешанного поездопотока разной длины. Даны рекомендации по определению экономической эффективности предложенных вариантов.

Поскольку пропускная способность участка существенно зависит от пропускной способности промежуточных станций, где осуществляется обгон поездов, то экономическая оценка этих вариантов должна быть комплексной, с учетом влияния схемных решений на работу всего участка в целом.

Литература

1. Иванкова, Л. Н. Определение задержек грузовых поездов на промежуточных станциях участка / А. Н. Иванков, Л. Н. Иванкова, М. В. Фуфачева. - Текст : непосредственный // Вестник Иркутского государственного университета. - 2011. - № 2 (49). - С. 92-96.
2. Фуфачева, М. В. Развитие методов этапного овладения перевозками на двухпутных линиях при обращении длинносоставных грузовых поездов : специальность 05.22.08 «Управление процессами перевозок» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Фуфачева Марина Валерьевна; Место защиты: Ур. гос. ун-т путей сообщ. - Екатеринбург, 2010. - 18 с. - Текст : непосредственный.
3. СП 119.13330.2024 «СНиП 32-01-95 Железные дороги колеи 1520 мм». Свод правил : утвержден Приказом 432/пр. Минстроя России от 01.07.2024. - URL: https://www.minstroyrf.gov.ru/upload/iblock/67-3/4vvpds2sv1sfwbxr8p81i1f2h1yyp0v5/SP-119.pdf (дата обращения: 17.03.2024). - Текст : электронный.
4. Иванкова, Л.Н. Совершенствование схем и технологии работы решающих технических и грузовых станций Восточного полигона / Л. Н. Иванкова, А. Н. Иванков, Л. В. Куныгина. - Текст : непосредственный // Современные подходы к управлению на транспорте и в логистике: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции (10-11 февраля 2016 г., Москва). - Москва : Московский государственный университет путей сообщения Императора Николая II (Москва), 2016. - С. 52-56.

5. Четчуев, М. В. Этапность развития горловин железнодорожных станций / М. В. Четчуев. - Текст : непосредственный // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. - 2012. - № 1 (45). - С. 167-176.

6. Қаимов, Е.В. Проблемы формирования, развития и реконструкции элементов инфраструктуры комплекса железных дорог / Е. В. Қаимов, В. А. Оленцевич, Н. В. Власова. - Текст : непосредственный // Образование - Наука - Производство. Материалы VI Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием) (Чита, 18 ноября 2022 года). В 2 томах. Том 1. - Чита : Забайкальский институт железнодорожного транспорта - филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Иркутский университет путей сообщения», 2022. - С. 288-296.

7. Буракова, А. В. Исследование задержек подвижного состава на станциях и подходах к ним / А. В. Буракова, Л. Н. Иванкова, Н. С. Қозлов. - Текст : непосредственный // Актуальные проблемы и перспективы развития транспорта, промышленности и экономики России (Транспромэк 2022) : труды научно-практической конференции (25 ноября 2022 г., Воронеж). - Воронеж : филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения» в г. Воронеж, 2022. - С. 14-18.

БЕЗОТКАЗНОСТЬ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОВОЗОВ ЮГО-ЗАПАДНОГО НАПРАВЛЕНИЯ ВОСТОЧНОГО ПОЛИГОНА



Д.И. Бодриков



В.П. Смирнов

Установлено, что безотказность якорей ТЭД НБ-418К6 в 3,13 раза превышает безотказность якорей ТЭД НБ-514. Безотказность ТЭД НБ-418К6 в 2 раза превышает аналогичную характеристику двигателей НБ-514. В данной статье предлагается провести модернизацию ТЭД НБ-514, НБ-514Б, НБ-514Д и НБ-514Е электровозов ВЛ85 и 2,3,4ЭС5К с учетом положительного опыта эксплуатации ТЭД НБ-418К6.

Ключевые слова: Восточный полигон РЖД, электровозы, тяговые электродвигатели, якори ТЭД, безотказность, модернизация ТЭД

EDN: UHDUKN

В грузовом движении на юго-западном направлении Восточного полигона задействованы три типа электровозов переменного тока: ВЛ80^{р} с тяговыми электродвигателями (ТЭД) пульсирующего тока НБ-418К6, электровозы ВЛ85 с ТЭД пульсирующего тока НБ-514 с моторно-осевыми подшипниками скольжения и 2,3,4ЭС5К с ТЭД пульсирующего тока НБ-514Б, НБ-514Д с моторно-осевыми подшипниками скольжения и ТЭД НБ-514Е с моторно-осевыми подшипниками качения.

На направлении наибольшая нагрузка на ТЭД электровозов в режиме тяги приходится на перевалах Хабзас-Нанхчул, Джебь—Щетинкино - подъем-18 тысячных, руководящих подъемах Минусинск-Крупская-подъем-9 тысячных, протяженностью 24 км и Мана-Крол-подъем-9 тысячных, протяженностью 40 км.

При вождении поездов массой более 6000 тонн, а также на перевалах Хабзас-Нанхчул и Джебь—Щетинкино используются подталкивающие локомотивы.

Большое количество отказов ТЭД НБ-514Б, НБ-514Д и НБ-514Е электровозов происходит из-за введения ограничения скорости следования по перегонам не более 40 км/ч.

Все типы ТЭД НБ-418К6, НБ-514, НБ-514Б, НБ-514Д, НБ-514Е имеют непараллельную вентиляцию. Охлаждающий воздух поступает в ТЭД со

Бодриков Денис Игоревич, ассистент кафедры «Электропоезда и локомотивы» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)), заместитель директора по тяговому подвижному составу ПКБ ЦТ – филиала ОАО «РЖД». Область научных интересов: имитационное моделирование, оптимизация работы станции стыкования, организация системы эксплуатации и ремонта, повышение безотказности локомотивов. Автор 30 научных работ.

Смирнов Валентин Петрович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Тяговый подвижной состав» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: повышение безотказности локомотивов. Автор 169 научных работ. Имеет три патента на изобретения.

Фадейкин Тимофей Николаевич, кандидат технических наук, ведущий конструктор отдела электрических машин ПКБ ЦТ – филиала ОАО «РЖД». Область научных интересов: повышение энергоэффективности тяговых электроприводов с асинхронными тяговыми двигателями. Автор 11 научных работ. Имеет два патента на изобретения.

Русаков Николай Сергеевич, инженер 2-й категории отдела электрических машин ПКБ ЦТ – филиала ОАО «РЖД». Область научных интересов: повышение безотказности локомотивов. Автор трех научных работ.

стороны коллектора и выходит из двигателя с противоположной стороны, вверх под кузов электровоза через специальный кожух.

Авторами установлено, что воздух проходит в двигателе по двум путям – верхнем и нижнем, имеющими разное аэродинамическое сопротивление.

Верхний путь прохода охлаждающего воздуха имеет меньшее аэродинамическое сопротивление, чем нижний путь, вследствие этого в 2/3 сечения выходного отверстия ТЭД воздух выходит вверх, а в третьей части отверстия – в обратном направлении, что существенно снижает эффективность вентиляции как якорей, так и остовов тяговых двигателей.

Как выявлено авторами, это приводит к неравномерному нагреву узлов ТЭД по высоте остовов. Органолептический контроль остовов ТЭД, поступивших на капитальный ремонт, показал, что в верхней части остовов изоляция хорошего качества, а в нижней части она низкого качества и чем ниже, тем слабее, а в самом низу полностью разрушенная.

Открытие задних лобовых соединений (далее – ЗЛС) якоря в двигателях НБ-514, НБ-514Б, НБ-514Д, НБ-514Е вследствие многочисленных боксований колесных пар (одновременно до восьми боксующих колесных пар электровоза) не обеспечивает надежное крепление ЗЛС, приводя к возникновению электрических дуг между соединениями и частым отказам якорей ТЭД НБ-514 (рис.1).

С целью повышения безотказности ТЭД НБ-514, НБ-514Б, НБ-514Д, НБ-514Е для работы в условиях Восточной Сибири предлагается выполнить следующую модернизацию [1]:

- закрыть заднюю лобовую часть катушек якоря;
- усилить конус коллектора, ласточкин хвост коллекторных пластин и изменить конструкцию замка коллектора;
- конструкцию кронштейна щеткодержателя и пальцев кронштейнов выполнить аналогичной конструкции кронштейна и пальцев тягового двигателя НБ-418К6 (рис. 2).

На основании статистических данных об отказах ТЭД электровозов ВЛ80^{р} и ВЛ85 определена безотказность тяговых электродвигателей НБ-418К6 электровозов ВЛ80^{р} (рис. 3) и НБ-514 электровозов ВЛ85 (рис.4) в течение пятилетней эксплуатации на направлении. Авторами установлено, что пружинное крепление главных полюсов (ГП) и дополнительных полюсов (ДП) ТЭД НБ-418К6 показало себя надежнее клинового крепления ГП и ДП ТЭД НБ-514, НБ-514Б, НБ-514Д, НБ-514Е.

В [2], показано, что на электровозах Красноярской железной дороги наибольшее количество отказов наблюдается у тяговых двигателей 2,3,4ЭС5К (НБ-514Б, НБ-514Д, НБ-514Е), из-за повышенной массы поезда, приходящейся на один ТЭД электровоза. Показатели безотказности «Ермаков» в период наблюдений 2019-2021 годах оказались ниже заявленных в технических условиях [3]. Тяговый двигатель НБ-514 унифицирован по ряду конструктивных элементов с двигателем НБ-418К6. Его рабочие характеристики близки к характеристикам двигателя НБ-418К6, что обеспечивает комплектную взаимозаменяемость двигателей [4].

Очевидно, что для выполнения задач, которые стоят перед Восточным полигоном необходимо провести предлагаемую модернизацию ТЭД НБ-514, НБ-514Б, НБ-514Д, НБ-514Е, которая обеспечит безотказность согласно заявленным требованиям конструкторской документации, тем самым поспособствует повышению провозной способности и увеличению грузооборота.

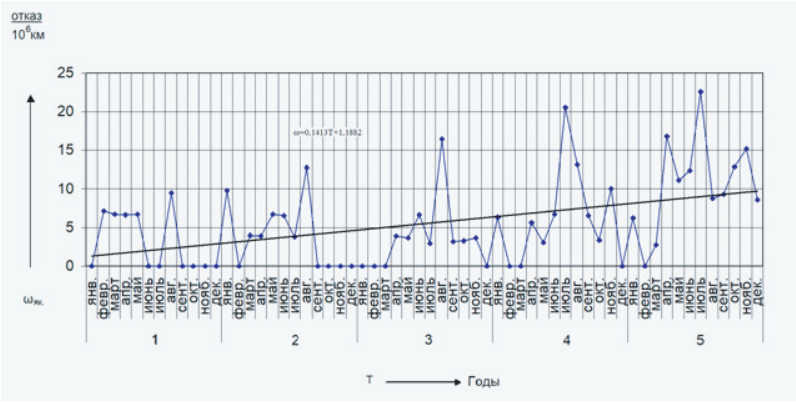


Рис. 1. Безотказность якорей тяговых двигателей НБ-514

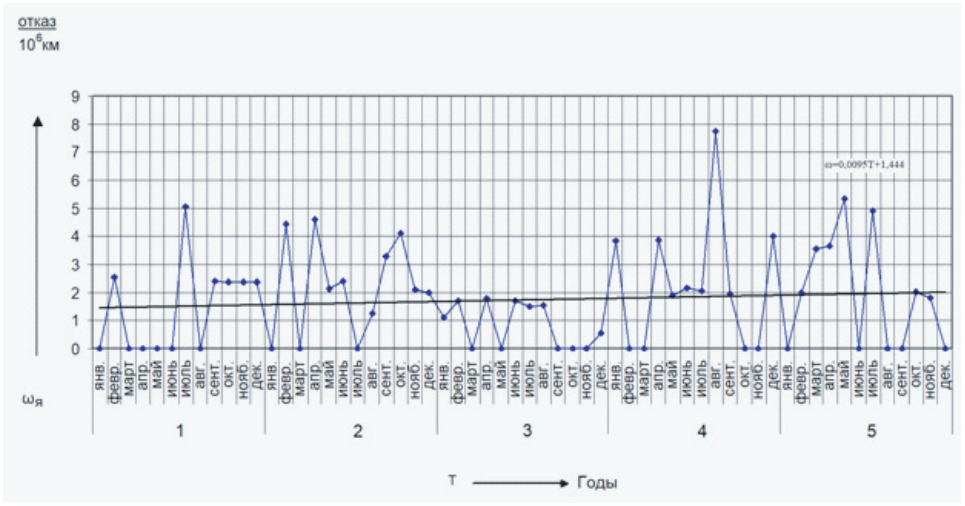


Рис. 2. Безотказность якорей тяговых двигателей НБ-418К6

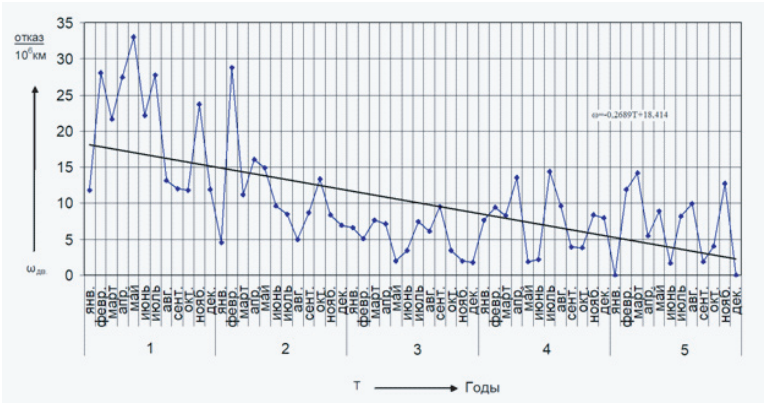


Рис. 3. Безотказность тяговых двигателей НБ-418К6

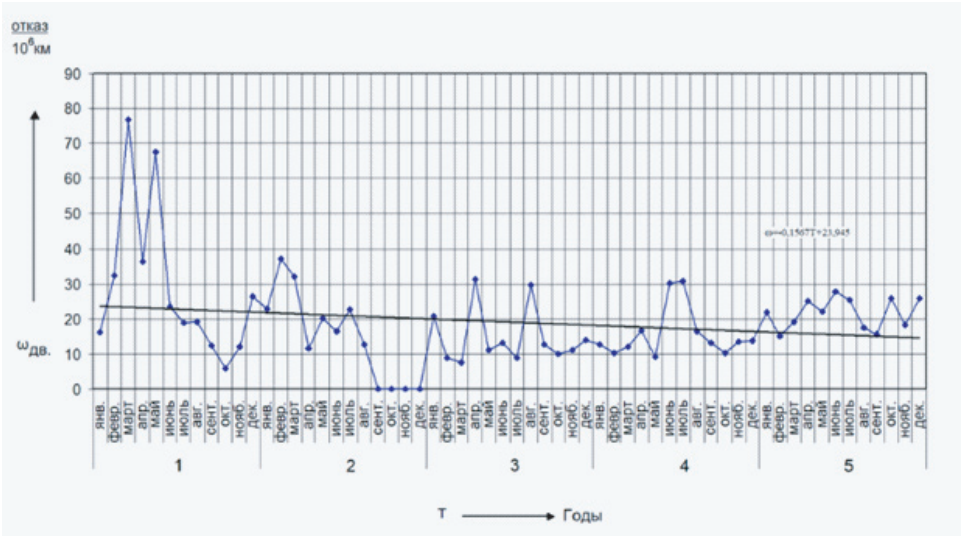


Рис. 4. Безотказность тяговых двигателей НБ-514

Литература

1. Магистральные электровозы : [в 3 кн.]. - Москва : Машиностроение, 1967-1969. Кн. 2 : Электрические машины и трансформаторное оборудование электровозов / В. И. Бочаров, П. А. Золотарев, М. А. Козорезов [и др.]. - 1968. - 444 с. - Текст : непосредственный.

2. Орленко, А. И. К вопросу о надежности электровозов серии «Ермак» при их эксплуатации на Восточном полигоне ОАО «РЖД» / А. И. Орленко, А. А. Ундрайтис, Е. М. Лыткина. - Текст: непосредственный // Наука и техника транспорта. -2024 - №1. - С. 25-30.

3. Мартынюк, И. Ю. Сравнение показателей электровозов серии 3ЭС5К «Ермак» с различными способами регулирования силы тяги / И. Ю. Мартынюк, С. А. Старовойтов, А. В. Пальцев. - Текст: непосредственный // Железнодорожный транспорт. - 2023. - № 2. - С. 43-45.

4. Дубровский, З. М. Грузовые электровозы переменного тока : справочник / З. М. Дубровский, В. И. Попов, Б. А. Тушканов. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : Транспорт, 1998. - 502 с. - Текст : непосредственный.

СТРЕЛОЧНЫЙ ПЕРЕВОД Р65 М1/25 ДЛЯ ВСЖМ-1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ СТРУКТУРЫ ПЕРЕВОДНЫХ, ЗАМЫКАЮЩИХ И КОНТРОЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ


П.С. Сиделев


Е.Ю. Минаков

Организация и развитие в России скоростных и высокоскоростных железных дорог со скоростями движения поездов до 200–400 км/ч – одна из приоритетных задач, стоящих сегодня перед компанией «Российские железные дороги».

Ключевые слова: стрелочный перевод, электропривод стрелочный, стрелочная гарнитура, остряк, рамный рельс, внешний замыкатель

EDN: KXQMTU

Для реализации проекта ВСЖМ-1 требуется в первую очередь создание отечественного подвижного состава, разработка и строительство объектов инфраструктуры и энергоснабжения, обеспечивающих полноценное прохождение поезда с пассажирами на высоком уровне комфортности, надежности и безопасности. Казалось бы, чего тут думать, за рубежом ведь все это уже есть, покупай и … . Но были уже попытки реализовать проект высокоскоростной линии Москва–Казань с участием зарубежных партнеров – не получилось. А проект Москва–Санкт-Петербург с применением подвижного состава «Сапсан» попал под санкции и теперь у нас нет даже запасных частей для него. Должно быть все отечественное!

В данной статье авторы хотят познакомить читателя с методикой решения одной задачи – построения структуры переводных, замыкающих и контрольных устройств стрелочного перевода с непрерывной поверхностью катания типа Р65 марки крестовины М1/25.

Разрабатываемые конструкции должны обеспечивать выполнение требований перевозочного процесса на высокоскоростных участках ВСЖМ-1 со скоростями движения до 400 км/ч по основному пути в прямом направлении – до 120 км/ч на ответвление по переводу и по съезду в соответствии с требованиями. Перевод и съезд представляют собой отдельные конструкции с единой геометрической схемой.

Сиделев Павел Сергеевич, главный инженер управления автоматики и телемеханики Центральной дирекции инфраструктуры – филиала ОАО «РЖД». Область научных интересов: исследования и разработка эффективных форм, методов и алгоритмов организации транспортных услуг, эксплуатации устройств железнодорожной автоматики и телемеханики, включая управление процессами перевозок. Автор десяти научных работ.

Минаков Евгений Юрьевич, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник кафедры «Системы управления транспортной инфраструктуры» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: исследования структуры и архитектуры построения конструктивных решений и систем управления и контроля устройства железнодорожной автоматики и телемеханики, а также процесс их совершенствования с учетом современных функциональных требований и условий эксплуатации в рамках эксплуатации на Российских железных дорогах, включая организацию скоростного и высокоскоростного движения поездов. Автор 49 научных работ.

Федоринин Николай Иванович, кандидат технических наук, доцент кафедры социально-гуманитарных, естественно-научных и общественных дисциплин Воронежского филиала Ростовского государственного университета путей сообщения (ВФ РГУПС). Область научных интересов: исследования и научный анализ механизма износостойкости пар трения в условиях низких температурных режимов работы. Автор 63 научных работ.

Геометрическая схема стрелочного перевода и съезда типа Р65 марки крестовины М1/25 – клотоидного* типа [5].

При разработке стрелочного перевода и съезда применены стрелочные кривые с минимальным радиусом 2230 м и максимальным 4100 м. Теоретическая длина стрелочного перевода – 85804 мм. Практическая длина стрелочного перевода – 113575 мм, нормального съезда с междупутьем 5,00 м – 227040 мм. Длина боковой обработки головки остряка (строганая часть), мм:

- прямого – 17339;
- кривого – 17334.

Поверхности катания элементов стрелочного перевода имеют форму, соответствующую поверхностям катания примыкающих путей.

Расчетное непогашенное ускорение экипажа при движении на боковое направление не должно превышать 0,5 м/с^2; величина приращения непогашенного поперечного ускорения не должна превышать 0,75 м/с^3.

Структурная схема остряковой части стрелочного перевода типа Р65 марки крестовины М1/25 с точками приложения и расчетные значения величин переводных усилий, расчетных значений величины хода остряка в данной точке, размещением оборудования перевода и контроля величины смещения остряков в режиме перевода стрелки приведена на рис. 1 [5].

На стрелке использована гибридная система передачи переводных усилий. Мест приложения переводных усилий – 5, количество электроприводов – 5. Крепление электроприводов – анкерного типа на железобетонном основании – железобетонных плитах.

Замыкающие устройства – внешние замыкатели кляммерного типа – располагаются в каждой точке передачи переводных усилий.

Характерные точки – начало остряка, конечная точка заделки остряка и точки приложения переводных усилий обозначены буквами *A, D, F, C, E, G, H* соответственно.

На схеме обозначены предполагаемые точки установки дополнительных автономных устройств контроля плотности прилегания остряка к рамному рельсу.

Крестовина стрелочного перевода и съезда типа Р65, марки крестовины М1/25, имеет непрерывную поверхность катания с гибким подвижным сердечником [5]. На рис. 2 приведена структурная схема крестовинной части стрелочного перевода типа Р65 марки крестовины М1/25 с размещением оборудования перевода и величиной смещения подвижного сердечника крестовины (ПСК) в режиме перевода стрелки.

Характерные точки – начало остряка, конечная точка заделки остряка и точки приложения переводных усилий обозначены буквами *R, Q, T, L, M* соответственно.

На крестовине, так же, как и на стрелке, применена гибридная система передачи переводных усилий. Мест приложения переводных усилий – 3, количество электроприводов – 3. Крепление электроприводов - анкерного типа на железобетонном основании.

Замыкающие устройства – внешние замыкатели кляммерного типа – располагаются в каждой точке передачи переводных усилий.

В процессе перевода остряков и ПСК стрелочного перевода из-за возможного попадания посторонних

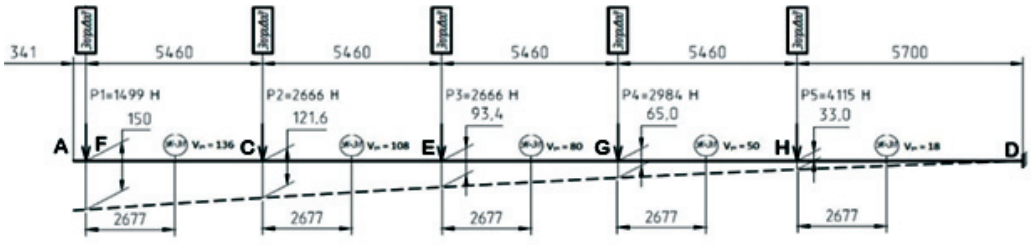


Рис. 1. Структурная схема остряковой части стрелочного перевода типа Р65 марки крестовины М1/25

*Клотоида или спираль Корню (в иностранной литературе известна также как спираль Эйлера) – плоская кривая, у которой радиус кривизны изменяется линейно как функция длины дуги.

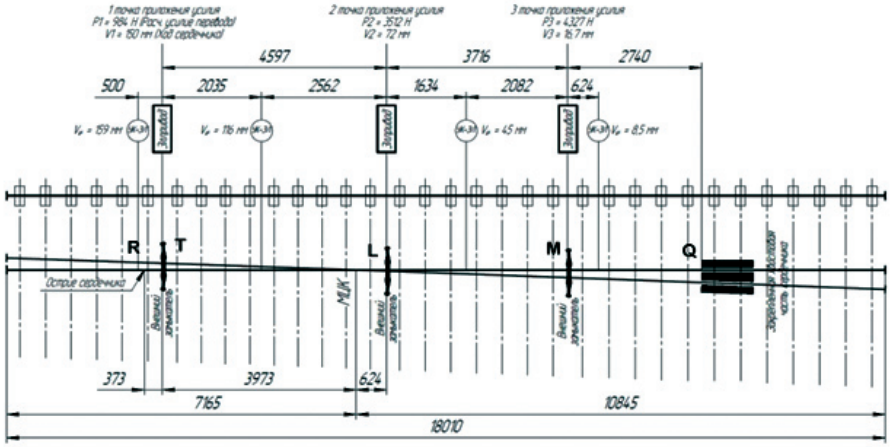


Рис. 2. Структурная схема крестовинной части стрелочного перевода типа Р65 марки М1/25

предметов между остряком и рамным рельсом возможен нежелательный изгиб острякового рельса приблизительно в горизонтальной плоскости. Ввиду этого, может возникнуть ситуация, когда шиберы электроприводов, установленные в соседних точках приложения усилий перевода, выполнят свой полный ход, замкнут внешние замыкатели и контрольная система будет свидетельствовать о штатном срабатывании стрелочного перевода, в то время как остряковый рельс будет иметь существенную выпуклость (изгиб), искажающую проектную геометрию рельсового пути за пределами допустимых значений [3]. При скорости движения подвижного состава 400 км/ч это может привести к опасному состоянию.

Определим допустимые и предельные значения прогиба остряковых рельсов и максимально допустимой скорости движения подвижного состава при этом.

На остряковый рельс в горизонтальной плоскости воздействуют пять толкателей усилием P_1, P_2, P_3, P_4 и P_5 соответственно. Силой сухого трения острякового рельса о подкладки пренебрегаем, так как в данном случае трение только уменьшает возможный прогиб острякового рельса. Прогибом рамного рельса ввиду его крепления к железобетонным плитам также пренебрегаем.

Считаем, что «камешек» (см. рис. 3) попадает между рамным рельсом и остряком на участке FC, т.е. на участке возникает дополнительная опора в некоторой точке В.

Расчетная схема нагружения острякового рельса для определения величины прогиба остряка показана на рис. 3.

Рассмотрим два случая определения упругой жесткости балки:

а) на участке с полноценным профилем острякового рельса ОР65 по ГОСТ 55820-2013 (см. рис. 5) [6];

б) на участке в острие строганой части остряка как самого ослабленного профиля (см. рис. 6).

Сечение острякового рельса ОР65, согласно ГОСТ 55820-2013 «Рельсы железнодорожные остряковые. Технические условия» [6] приведено на рис. 4.

Определим геометрические параметры поперечного сечения острякового рельса. Схематично представим сечение острякового рельса на участке отсутствия строганой части как состоящий из элементарных геометрических форм (см. рис. 5. Геометрические размеры в мм).

Методика определения параметров подробно приведена в Отчете о научно-исследовательской работе по теме: «Техническое обоснование /расчет/ введения автономных устройств контроля изменения геометрии стрелочного перевода при возможном попадании постороннего предмета между остряком и рамным рельсом в процессе перевода стрелки Р65 М1/25 для ВСЖМ-1» [5].

На участке отсутствия строганой части

Полная площадь сечения

$$S = S_1 + S_2 + S_3 - S_4 =$$
$$= 25{,}08 + 42{,}78 + 39{,}52 - 2{,}28 = 105{,}1 \text{ см}^2.$$

Координаты центра тяжести сечения

$$x_{\text{ц}} = \frac{S_1 x_1 + S_2 x_2 + S_3 x_3 - S_4 x_4}{S}; \qquad (1)$$

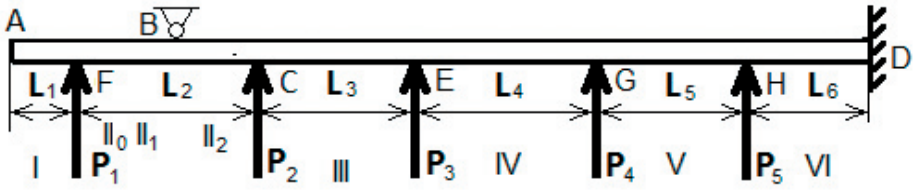


Рис. 3. Расчетная схема нагружения острякового рельса. Математическая модель

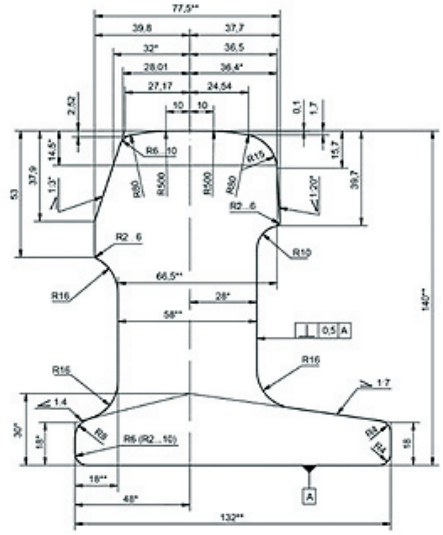


Рис. 4. Сечение острякового рельса ОР65 согласно ГОСТ 55820-2013

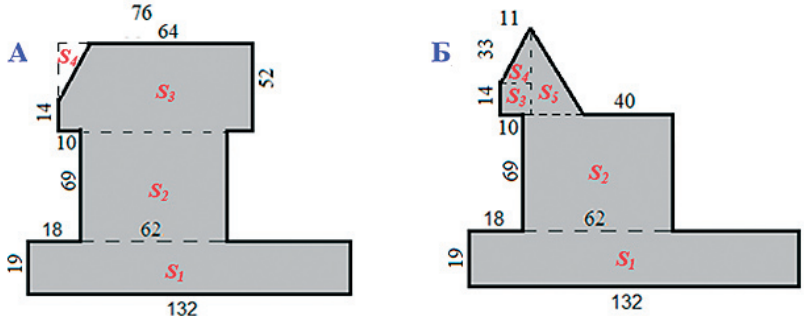


Рис. 5. Схематичное сечение острякового рельса: А – на участке отсутствия строганой части; Б – на участке строганой части

$$y_{ц} = \frac{S_1 y_1 + S_2 y_2 + S_3 y_3 - S_4 y_4}{S}. \qquad (2)$$

Вычислим

$$x_{ц} = \frac{25{,}08 \cdot 6{,}6 + 42{,}78 \cdot 4{,}9 + 39{,}52 \cdot 4{,}6 - 2{,}28 \cdot 1{,}2}{105{,}1} \approx 5{,}27 \text{ см.};$$

$$y_{ц} = \frac{25{,}08 \cdot 0{,}95 + 42{,}78 \cdot 5{,}35 + 39{,}52 \cdot 11{,}4 - 2{,}28 \cdot 12{,}73}{105{,}1} \approx 6{,}41 \text{ см.}$$

Главные моменты инерции

$$J_{\substack{\max \\ \min}} = \frac{J_x + J_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{J_x - J_y}{2}\right)^2 + J_{xy}^2}. \qquad (3)$$

Вычислим

$$J_{\substack{\max\\ \min}} = \frac{1968+721}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{1968-721}{2}\right)^2 + 239^2} =$$
$$= 1344{,}5 \pm 668;$$

$$J_{\min} = 1344{,}5 - 668 = 677 \text{ см}^4;$$

$$J_{\max} = 1344{,}5 + 668 = 2013 \text{ см}^4.$$

Угол положения главных осей

$$\alpha = \frac{1}{2}\text{arctg}\frac{2J_{xy}}{J_y - J_x}. \quad (4)$$

Вычислим

$$\alpha = \text{arctg}\frac{2(-239)}{721-1968} \approx 10{,}5^\circ.$$

На участке строганой части

Полная площадь сечения

$$S = S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5 =$$
$$= 25{,}08 + 42{,}78 + 1{,}56 + 1{,}81 + 4{,}94 = 76{,}17 \text{ см}^2.$$

Координаты центра тяжести сечения

$$x_{\text{ц}} = \frac{S_1x_1 + S_2x_2 + S_3x_3 + S_4x_4 + S_5x_5}{S} =$$
$$= \frac{\begin{array}{l}25{,}08\cdot 6{,}6 + 42{,}78\cdot 4{,}9 + \\ +1{,}56\cdot 1{,}35 + 1{,}81\cdot 1{,}53 + 4{,}94\cdot 2{,}6\end{array}}{76{,}17} \approx 5{,}2 \text{ см}; \quad (5)$$

$$y_{\text{ц}} = \frac{S_1y_1 + S_2y_2 + S_3y_3 + S_4y_4 + S_5y_5}{S} =$$
$$= \frac{\begin{array}{l}25{,}08\cdot 0{,}95 + 42{,}78\cdot 5{,}35 + \\ +1{,}56\cdot 9{,}5 + 1{,}81\cdot 11{,}3 + 4{,}94\cdot 10{,}4\end{array}}{76{,}17} \approx 4{,}46 \text{ см}. \quad (6)$$

Главные моменты инерции

$$J_{\substack{\max\\ \min}} = \frac{J_x + J_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{J_x - J_y}{2}\right)^2 + J_{xy}^{\ 2}}. \quad (7)$$

Вычислим

$$J_{\substack{\max\\ \min}} = \frac{826+637}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{826-637}{2}\right)^2 + 288^2} =$$
$$= 731{,}5 \pm 303{,}1;$$

$$J_{\max} = 731{,}5 + 303{,}1 \approx 1035 \text{ см}^4;$$

$$J_{\min} = 731{,}5 - 303{,}1 \approx 428 \text{ см}^4.$$

Угол положения главных осей

$$\alpha = \frac{1}{2}\text{arctg}\frac{2J_{xy}}{J_y - J_x}. \quad (8)$$

Вычислим

$$\alpha = \frac{1}{2}\text{arctg}\frac{2(-288)}{637-826} \approx 35{,}92^\circ.$$

Определим максимально возможный прогиб остряка на участке с полноценным профилем при возможном попадании постороннего предмета между остряком и рамным рельсом в процессе перевода стрелки.

Задана система нагружения остряка, показанная на рис. 6. На балку произвольной длины действуют две поперечные силы $P_л$ и $P_п$ на расстоянии L друг от друга. Воздействие этих сил организовано так, что поперечное сечение балки в местах приложения этих сил не может поворачиваться. На расстоянии l от точки приложения левой силы находится упор, препятствующий смещению балки.

Очевидно, что в точке упора поворот сечения балки отсутствует, поэтому можно считать, что в этом сечении реализована заделка. Разрезая балку в этой точке и отбрасывая правую часть, будем рассматривать только левую часть (рис. 7).

Методика определения максимально возможного прогиба остряка также подробно приведена в Отчете о научно-исследовательской работе по теме: «Техническое обоснование /расчет/ введения автономных устройств контроля изменения геометрии стрелочного перевода при возможном попадании

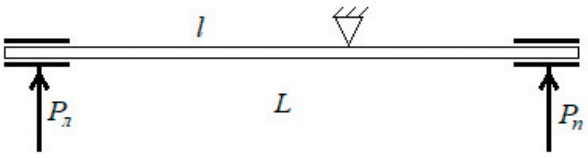


Рис. 6. Расчетная схема нагружения

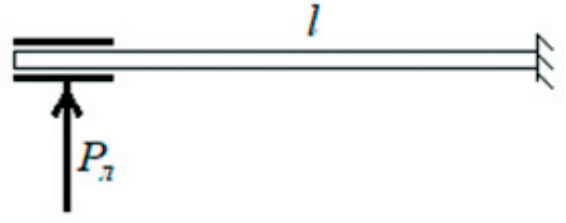


Рис. 7

постороннего предмета между остряком и рамным рельсом в процессе перевода стрелки Р65 М1/25 для ВСЖМ-1» [5].

Тогда прогиб определяется по формуле:

$$y_{л} = \frac{P_{л} l^3}{12EJ_k}. \qquad (9)$$

Определим максимально возможный прогиб остряка с усеченным профилем при возможном попадании постороннего предмета между остряком и рамным рельсом в процессе перевода стрелки на участке в острие строганой части остряка как самого ослабленного профиля (переменное сечение). Расчет проведем аналогично предыдущей задачи для полноценного профиля.

Аналогичный расчет по определению прогиба длинной ветви подвижного сердечника крестовин (ПСК) при возможном попадании постороннего предмета между ПСК и усовиком в процессе перевода стрелки в зависимости от приложенного усилия на шибере электропривода $F_{ш}$ при условии $P_{л}$=1000÷7500 Н, L=4597 мм, E=2,1 · 10^5 Н/мм^2, J_k=7.2 · 10^6 мм^4, $l_{л}$=-2035 мм. При этом необходимо принять конструктивную особенность подвижного сердечника крестовины, состоящую в том, что он состоит из двух остряковых рельсов – длинной ветви и короткой ветви, скрепленных вместе вплотную (на скользящей посадке), работающие в процессе перевода одновременно. Поэтому при попадании постороннего предмета прогибу будут подвержены оба остряковых рельса. Тогда прогиб ПСК определяется по формуле:

$$y_{л.пск} = \frac{P_{л} l^3}{24EJ_k}. \qquad (10)$$

На рис. 8 приведен график зависимости прогиба остряка $y_{л}$ при приложении переводных усилий на шибере электропривода $F_{ш}$ для двух определяющих состояний остряка:

• на участке с полноценным профилем острякового рельса ОР65 по ГОСТ 55820-2013 – линия 1;

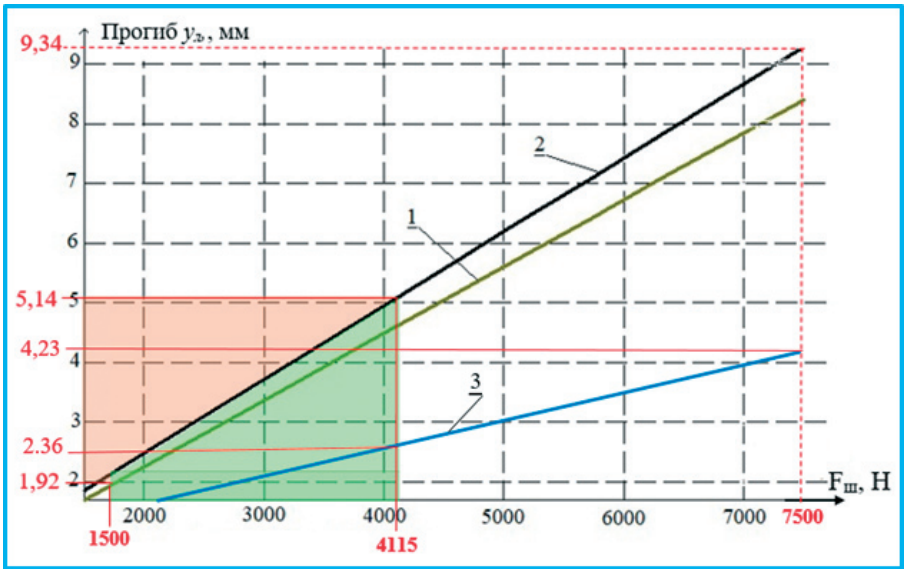


Рис. 8. График зависимости прогиба остряка $y_{л}$ при приложении переводных усилий на шибере электропривода $F_{ш}$ для двух определяющих состояний остряка:
• на участке с полноценным профилем острякового рельса – линия 1;
• на участке в острие строганой части остряка как самого ослабленного профиля (переменное сечение) – линия 2;
• на участке строганой части ПСК между установкой первого и второго электроприводов – линия 3;
– интервал рабочих переводных усилий на шибере электропривода $F_{ш}$;
– интервал прогибов остряка при приложении в случае возможного попадания постороннего предмета между остряком и рамным рельсом в процессе перевода стрелки при приложении рабочих переводных усилий на шибере электропривода $F_{ш}$.

• на участке в острие строганой части остряка как самого ослабленного профиля (переменное сечение) – линия 2;

• на участке строганой части ПСК между установкой первого и второго электроприводов.

Будем считать, что форма изогнутой оси острякового рельса близка к окружности радиуса

$$R = \frac{l^2 + 4y^2}{2y}. \qquad (11)$$

Боковое непогашенное ускорение колеса, вызванное наличием постороннего предмета между остряком и рамным рельсом, определяется по формуле:

$$a_n = \frac{V^2}{R}. \qquad (12)$$

На рис. 9 приведен график зависимости бокового непогашенного ускорения подвижного состава при наличии постороннего предмета между остряком и рамным рельсом - прогибе остряка:

• при прогибе остряка 2 мм – кривая 1;

• при прогибе остряка 3 мм – кривая 2;

• при прогибе остряка 4 мм – кривая 3;

• при прогибе остряка 5 мм – кривая 4;

• при прогибе остряка 6 мм – кривая 5.

На основании проведенных расчетов и анализа конструкций автономных устройств контроля положения остряков и ПСК отечественных и зарубежных производителей можно сделать определенные выводы и сформулировать следующие рекомендации по формированию структуры стрелочного перевода с непрерывной поверхностью типа Р65 марки крестовины М1/25 для ВСЖМ-1.

1. В процессе перевода остряков и ПСК стрелочного перевода с непрерывной поверхностью типа Р65 марки крестовины М1/25 наиболее ослабленным участком является участок F–C острякового рельса стрелки (см. рис. 1) и участок T–L острякового рельса ПСК (см. рис. 2) с максимальным запилом строганой части.

2. При воздействии интервала рабочих переводных усилий на шибере электропривода в пределах $F_ш$=1500÷4115 Н прогибы острякового рельса при возможном попадании постороннего предмета между остряком и рамным рельсом в процессе перевода стрелки представляют:

• с полноценным профилем острякового рельса ОР65 по ГОСТ 55820-2013 прогибы не превышают $y_л \le 4{,}35$ мм (см. рис. 8);

• на участке в острие строганой части остряка как самого ослабленного профиля прогибы не превышают $y_л \le 5{,}14$ мм (см. рис. 8).

3. При воздействии максимально возможных рабочих переводных усилий на шибере электропривода в пределах $F_ш$=7500 Н (по ГОСТ 32685-2014) прогибы острякового рельса с полноценным профилем ОР65 по ГОСТ 55820-2013 при возможном попадании постороннего предмета между остряком и рамным рельсом в процессе перевода стрелки на участке в острие строганой части остряка как самого ослаблен-

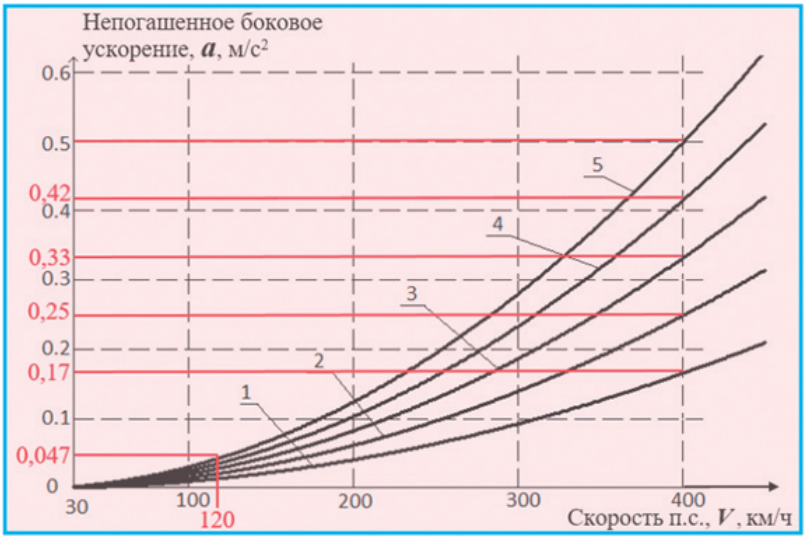


Рис. 9. График зависимости бокового непогашенного ускорения подвижного состава при наличии постороннего предмета между остряком и рамным рельсом - прогибе остряка

ного профиля превышают $y_л > 8$ мм (см. рис. 8), что не может обеспечить пропуск подвижного состава со скоростью 400 км/ч (см. рис. 9), а потому требует ограничения скорости прохода подвижного состава по стрелочному переводу.

4. Контроль прогиба остряка при переводе стрелки по маршруту в боковом направлении движения подвижного состава, где скорость движения подвижного состава не превышает 120 км/ч, является не актуальным но даже избыточным.

5. Установка автономных электромеханических устройств контроля положения ПСК на крестовине в структуре стрелочных переводов пологих марок с НПК в точках между приложения переводных усилий на электроприводе шибера $F_ш$ является $L-M$ (см.рис.2) не требуется. Это обосновывается тем, что расстояние между точками приложения усилий на электроприводе шибера $F_ш$ на участке ПСК $L-M$ составляет 3716 мм, расстояние от предполагаемой точки установки устройства контроля (УК) до ближайшего электропривода составляет 1634 мм.

На основании проведенных расчетов и выводов, изложенных выше, РОАТ РУТ (МИИТ) предлагает следующую структуру стрелочного перевода и съезда типа Р65 марки крестовины М1/25 для ВСЖМ-1, обеспечивающую оптимальные условия функционального назначения, отвечающую требованиям безопасности, современному уровню состояния науки, технологии и производства, конкурентоспособного отечественного изделия. На рис. 10 приведена структурная схема комплекса переводных, замыкающих и контрольных устройств остряковой части, а на рис. 11 – крестовинной части стрелочного перевода типа Р65 М1/25.

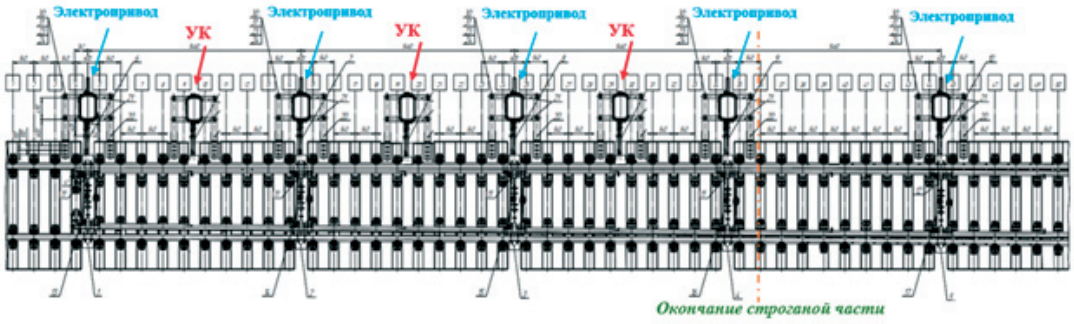


Рис. 10. Структура комплекса переводных, замыкающих и контрольных устройств остряковой части стрелочного перевода типа Р65 М1/25

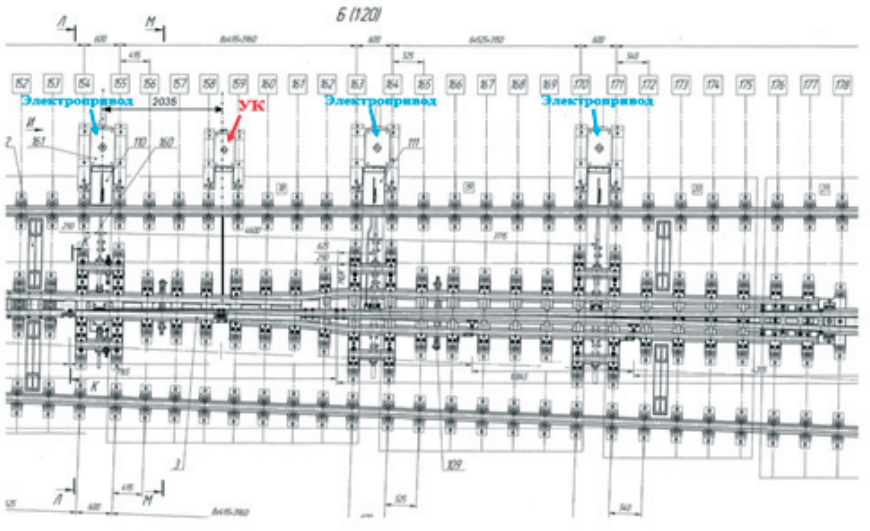


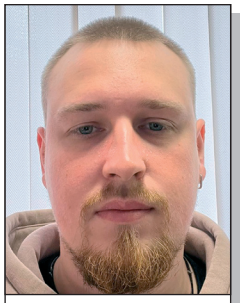
Рис. 11. Структура комплекса переводных, замыкающих и контрольных устройств крестовинной части стрелочного перевода типа Р65 М1/25

Литература

1. Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации : утверждены Приказом Министерства транспорта РФ от 23.06.2022 № 250. - URL: https://company.rzd.ru/ru/9353/page/105104-?id=1827&ysclid=manrs2prih43218606 (дата обращения: 10.03.2025). - Текст : электронный.
2. Комплекс переводных, замыкающих, контрольных и диагностических устройств стрелочных переводов для организации скоростного и высокоскоростного движения поездов (до 400 км/час). Технические требования. КПЗКДУ-ВСЖМ.ТТ. № 2341 от 30.12.2021 г. - Текст : непосредственный.
3. Горелик, А. В. Методы обеспечения безопасности перевода, замыкания и контроля положения стрелок : монография / А. В. Горелик, Д. Е. Минаков ; Министерство транспорта Российской Федерации, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет транспорта». - Москва : РУТ (МИИТ), 2021. - 142 с. - Текст : непосредственный.
4. Разработка структурной схемы, проведение кинематических расчетов механических связей комплекса переводных и замыкающих устройств стрелочного перевода (съезда) типа Р65 марки 1/25. - Текст : непосредственный // Отчет о научно-исследовательской работе : утвержден 29.04.2021 г. Научный руководитель Е. Ю. Минаков. - Москва: РОАТ РУТ (МИИТ), 2021. - 63 с. - Текст : непосредственный.
5. Техническое обоснование /расчет/ введения автономных устройств контроля изменения геометрии стрелочного перевода при возможном попадании постороннего предмета между остряком и рамным рельсом в процессе перевода стрелки Р65 М1/25 для ВСЖМ-1. - Текст : непосредственный // Отчет о научно-исследовательской работе по теме утвержден 19.05.2025 г. Научный руководитель Е. Ю. Минаков. - Москва : РОАТ РУТ (МИИТ), 2025. - 66 с.
6. ГОСТ Р 55820-2013 Рельсы железнодорожные остряковые. Технические условия = Switch and crossing rails. Specifications : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 22 ноября 2013 г. № 1754-ст.: введен впервые : дата введения 2014-07-01 / Разработан Открытым акционерным обществом «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта (ОАО «ВНИИЖТ»), Проектно-технологическим конструкторским бюро по пути и путевым машинам - филиалом ОАО «Российские железные дороги» (ПТКБ ЦП ОАО «РЖД»), Федеральным государственным предприятием «Научно-исследовательский институт мостов и дефектоскопии Федерального агентства железнодорожного транспорта» (ФГУП «НИИ мостов»), Открытым акционерным обществом «Объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат» (ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК»). - Москва : Стандартинформ, 2018. - 70 с. - Текст : непосредственный.
7. ГОСТ Р 51685-2013 Рельсы железнодорожные. Общие технические условия = Railway rails. General specifications : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 14 октября 2013 г. № 1155-ст.: взамен ГОСТ Р 51685-2000 : дата введения 2014-07-01 / разработан Открытым акционерным обществом «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта (ОАО «ВНИИЖТ»), Открытым акционерным обществом «Уральский институт металлов» (ОАО «УИМ»), Федеральным государственным унитарным предприятием «Научно-исследовательский институт мостов и дефектоскопии Федерального агентства железнодорожного транспорта »(ФГУП «НИИ мостов и дефектоскопии»), Институтом металлургии и материаловедения имени А. А. Байкова Российской академии наук (ИМет РАН), Обществом с ограниченной ответственностью «ЕвразХолдинг» (ООО «ЕвразХолдинг»), Открытым акционерным обществом «ЕВРАЗ Нижнетагильский металлургический комбинат» (ОАО «ЕВРАЗ НТМК»), Открытым акционерным обществом «Объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат» (ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК»). - Москва : Стандартинформ, 2014. - 101 с.
8. ГОСТ 32685-2014. Приводы стрелочные электромеханические. Требования безопасности и методы контроля = Electromechanical switch machines. Safety requirements and methods of checking : издание официальное : Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 10 октября 2014 г. № 1306-ст. межгосударственный стандарт ГОСТ 32685-2014 введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 июня 2015 г.: введен впервые : дата введения : 2015-06-01 / разработан Федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего профессионального образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I» (ФГБОУ ВПО ПГУПС). - Москва : Стандартинформ, 2015. - 7 с. - Текст : непосредственный.
9. 9. Феодосьев, В. И. Сопротивление материалов / В. И. Феодосьев. - Москва : Наука, 1967. - 552 с. - Текст : непосредственный.

МЕТОДОЛОГИЯ АНАЛИЗА ОТКАЗОВ УЗЛОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА В ДЕЙСТВУЮЩИХ СИСТЕМАХ ДЛЯ ОЦЕНКИ ИХ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И РЕМОНТА

В статье рассматриваются особенности анализа отказов узлов локомотива для оценки их технического состояния и ремонта. Описан подход, основанный на методе анализа режимов и последствий отказов с целью выявления и оценки потенциальных рисков, связанных с отказом компонентов подвижного состава. Прикладные особенности метода рассмотрены на примере отказа тормозной системы локомотива.



Е.Г. Максаев



Д.Н. Шевченко

Ключевые слова: подвижной состав, тормоза, анализ, отказ, риск

EDN: HQCTEG

Сектор железнодорожного транспорта является ключевым фактором экономического роста во всем мире. Количество пассажиров железной дороги, а также объемы грузовых перевозок значительно возросли за последние годы. Например, в России по результатам 2023 г. объем железнодорожных грузоперевозок достиг отметки 1,51 млрд т, что на 0,4% больше по сравнению с предыдущим годом [1]. В США перевозки грузов железнодорожным транспортом растут стабильными темпами, начиная с 2016 г., достигнув 2,53 трлн тонно-километров в 2018 г. В 2023 г. этот показатель продемонстрировал очередной рекорд, который был зафиксирован на уровне 2,64 трлн тонно-километров. В Европе после преодоления кризиса, вызванного пандемией COVID-19, сектор железнодорожного транспорта восстановился, о чем свидетельствуют следующие статические данные: объемы грузовых перевозок увеличились на 0,5% в 2022 г. по сравнению с 2021 г. В 2023 г. рост продолжился (4,9%), достигнув 378 млрд тонно-километров [2].

С учетом повышенного спроса к производительности железнодорожного транспорта актуальными становятся задачи выполнять больше операций за менее короткий срок с наименьшими затратами ресурсов. Это означает, что необходимое для перевозок оборудование должно иметь повышенную готовность, что является прямым следствием его высокой надежности. Для достижения этих целей необходимо, чтобы техническое обслуживание перешло из категории реактивного и заняло более проактивную позицию. Сосредоточившись на постоянном улучшении процессов транспортировки и, главным образом, на глубоком анализе оборудования, инструментом в этом сценарии является анализ отказов, основная цель которого заключается в быстром выявлении первопричины отказа, предоставлении качественных инструментов и объективизации блокады первопричины [3].

Максаев Евгений Геннадьевич, ассистент кафедры «Тяговый подвижной состав» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: тяговый электропривод, коэффициент сцепления колеса с рельсом, боксование, противобоксовочные защиты; механическая часть подвижного состава. Автор одной научной работы.

Шевченко Дмитрий Николаевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Тяговый подвижной состав» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: тяговый электропривод, коэффициент сцепления колеса с рельсом, боксование, противобоксовочные защиты; механическая часть подвижного состава. Автор 62 научных работ, в том числе двух монографий. Имеет 44 патента РФ.

Железнодорожные активы в целом можно разделить на два типа: первый – это инфраструктура, которая состоит из основных средств, таких как пути, пункты и блокировки, мосты, система сигнализации, электрические устройства и т.д. Второй – подвижной состав, который включает в себя активы, способные перемещаться по железной дороге, например, локомотивы, пассажирские вагоны, грузовые вагоны. Подвижной состав – это многокомпонентная система, состоящая из колес, тележек, кузова и рамы, силовой установки, блока управления тормозами, сцепного устройства, компрессора, пантографа и т.д.

В последние годы большое внимание уделялось изучению механизмов отказов/повреждений для объектов железнодорожной инфраструктуры. Однако в имеющихся публикациях можно отметить наличие дефицита моделей, которые могут использоваться для оценки критичности отказов компонентов подвижного состава. Необходимость продолжения исследований в данном направлении и предопределило выбор темы данной статьи.

Потенциальные риски непредвиденных отказов, возникающих в подвижном составе, рассматривают в своих трудах Файзибаев Ш.С., Авдеева А.Н., Мамаев Ш.И., Yingchun Shi, Chunyang Chen, Yu Luo, Lijun Zhou.

Различные неисправности тормозного подвеса тележки локомотива и анализ первопричины отказа тормозов изучают Грищенко А.В., Хамидов О.Р., Железняк В.Н., Jianhua Liu, Linfan Liu, Jing He, Changfan Zhang.

Над усовершенствованием системы управления техническим состоянием локомотивного парка с целью поддержания уровня его технического состояния, что соответствует безопасности и рациональности эксплуатации тяговых, единиц трудятся Савоськин А.Н., Лавлинская Н.С., Иванов П.Ю., Kevin S. Amidon, Jing Lin, Matthias Asplund, Aditya Parida.

Высоко оценивая имеющиеся на сегодняшний день труды и наработки, следует отметить, что ряд проблемных вопросов требует более детального анализа. Так, в уточнении и дальнейшем развитии нуждается методология обслуживания, ориентированного на надежность, для анализа отказов активов железнодорожной инфраструктуры. Кроме того, нерешенной остается проблема оценки критичности отказов компонентов железнодорожного подвижного состава и анализа их последующего воздействия на инфраструктурные активы.

Таким образом, цель статьи заключается в рассмотрении особенностей анализа отказов узлов железнодорожного подвижного состава в действующих системах для оценки их технического состояния и ремонта.

В последнее десятилетие было проведено множество исследований, направленных на анализ вероятности отказа железнодорожных активов, а также определения влияния поломок на работу транспорта. Для этого использовались различные инструменты и методы оценки рисков, включая анализ первопричин (RCA), анализ дерева неисправностей (FTA), анализ дерева событий (ETA), анализ Вейбулла, оценку надежности человека и т.д. [4].

В момент эксплуатации на подвижной состав влияют факторы, стремящиеся снизить уровень его технического состояния:

1. Внешние условия эксплуатации – температура, влажность, профиль пути и его состояние и т.д.

2. Внутренние условия эксплуатации – человеческий фактор, физическая природа рабочего процесса.

Данные факторы изменяют процесс равномерного расходования ресурса, который предусмотрен нормами пробега до обслуживания и ремонта, что приводит к возникновению риска отказа (непланового ремонта) при реализации перевозочного процесса. Одна деталь железнодорожного подвижного состава может выйти из строя по десяткам причин. Группа деталей или система, например, система подачи воздуха, может выйти из строя по сотням причин. Для локомотивов их число может исчисляться тысячами [5]. Большинство работников технических служб содрогаются при мысли о времени и усилиях, которые придется затратить на выявление всех этих способов отказа. Многие из них решают, что такой анализ – это слишком много работы и полностью отказываются от этой идеи. При этом упускается из виду тот факт, что на повседневной основе техническое обслуживание действительно управляется на уровне режимов отказов. С другой стороны, проактивное управление означает реагирование на события до их возникновения. Для этого нам необходимо заранее знать, какие события могут произойти. В данном контексте «события» – это режимы отказов. Таким образом, в рамках проводимого исследования представляется целесообразным использовать метод анализа режимов и последствий отказов (FMEA).

FMEA – это проактивный метод, который выявляет потенциальные сбои в сложных процессах и обеспечивает основу для непрерывного совершенствования. Он широко признан как эффективная программа для управления рисками и предотвращения ошибок в различных областях, включая информатику и инженерное дело, транспорт и энергетику. FMEA состоит из семи этапов: создание команды, анализ текущего рабочего процесса, анализ скрытых отказов и их последствий, оценка выявляемости неисправности, расчет числа

приоритетов риска (RPN) и оценка результатов, реализация корректирующих действий, отслеживание контрмер и измерение результатов. Chang Liu и Shiwu Yang определили FMEA как полуколичественный инструмент, поскольку он предполагает сбор как качественных, так и количественных данных [6].

В табл. 1 представлен стандартный шаблон FMEA.

С учетом вышеизложенного, на рис. 1 представлена разработанная авторами методология оценки риска отказов подвижного состава, которая включает девять этапов.

Итак, для того чтобы выбрать компонент подвижного состава для исследования, рассмотрим среднее время до отказа и среднее время между опасными отказами для отдельных систем и элементов локомотива 3ЭС8, влияющих на безопасность железнодорожного транспорта (табл. 2).

В рамках проводимого исследования рассмотрим более подробно тормозную систему подвижного состава.

Во время торможения тормозная балка с обеих сторон колесной пары перемещается тормозным цилиндром через тормозную оснастку таким образом, что держатели тормозных колодок притягиваются к поверхности катания колес. Однако тормозная балка управляет перемещением тормозных колодок только в горизонтальной плоскости и не обеспечивает вертикального удержания. Верхняя часть тормозных подвесок соединена с кронштейнами на раме тележки при помощи верхних тормозных подвесок [7].

Согласно табл. 2, наибольшее количество отказов приходится на возникновение нарушений в работе регулирующего клапана. Для расчета значения RPN нескольких типов отказов будут оценены серьезность: частота возникновения и уровень обнаружения (см. табл. 3).

Из табл. 3 видно, что наиболее потенциальными причинами, которые могут вызвать помехи в работе тормозной системы поезда, являются отказ регулирующей арматуры, износ тормозных механизмов и коррозия компонентов тормозной системы. С использованием диаграммы Фишбона можно более глубоко определить первопричины рисковых событий с самыми высокими значениями RPN.

Диаграмма Фишбона применяется в качестве более прогрессивного метода графического представления, который позволяет выявлять, изучать и проводить анализ источников проблем тормозной системы подвижного состава с целью выработки предложений по улучшению его технического обслуживания. Приведенная на рис. 3 диаграмма иллюстрирует отказ тормозной системы в секции регулирующего клапана, где действуют четыре существенных фактора: факторы двигателя, оператора или механика, используемые методы ремонта и факторы окружающей среды.

Таблица 1

Стандартная форма FMEA

Подсистема или процесс	Потенциальный отказ	Тяжесть	Потенциальная причина или механизм неисправности	Вероятность возникновения	Обнаружение	Рейтинг приоритетности риска (PRN)	Рекомендация
Часть системы или процесс	Как может произойти отказ подсистемы	Шкала от 1 до 10	Механизм отказа	Шкала от 1 до 10	Шкала от 1 до 10	RPN = Тяжесть (S) × Частоту (O) × Обнаруживаемость (D)	Предложение по смягчению последствий отказа

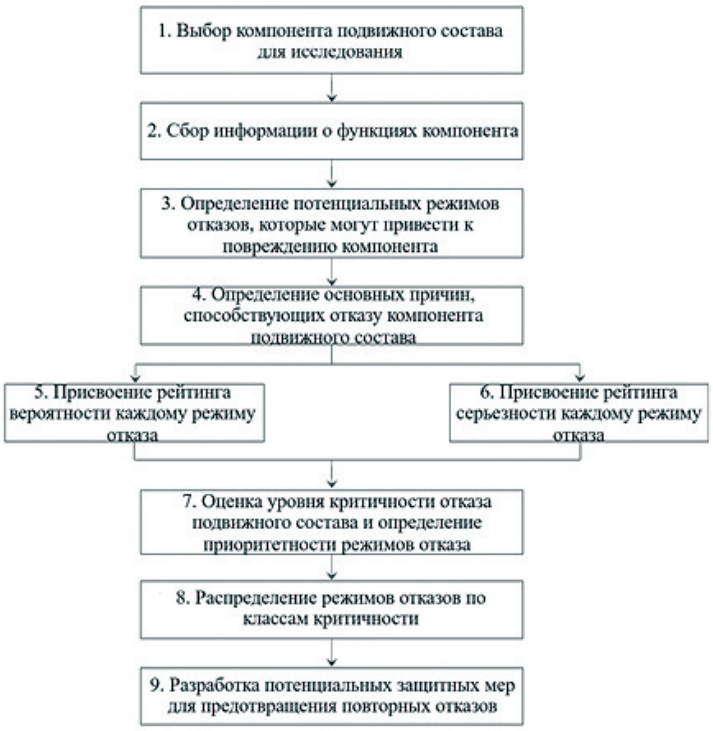


Рис. 1. Методология оценки риска отказов железнодорожного подвижного состава, разработанная на основе FMEA

Таблица 2

Среднее время наработки на отказ и время между опасными отказами для отдельных систем и элементов

№ п/п	Описание	Среднее время между опасными отказами (часы)	Среднее расстояние между опасными отказами (км)
1	Ходовая часть	27,506.3	178,200.0
1.1	• неисправности и износ поверхности катания колес	27,506.3	178,200.0
2	Тормозная система (пневматическая и механическая части)	6,430.0	41,657.1
2.1	• поломка воздухораспределителя	18,337.5	118,800.0
2.2	• повреждение пневматических рукавов	165,037.5	1,069,200.0
2.3	• неисправности магистрального трубопровода	29,124.3	188,682.4
2.4	• поломка предохранительной арматуры	41,259.4	267,300.0
2.5	• неисправности тормозных цилиндров	247 556.3	1,603,800.0
2.6	• повреждение рычажной передачи	38,139.5	255,241.0
2.7	• повреждения электропневматической системы	49,511.3	320,760.0
2.8	• утечки воздуха	82,518.8	534,600.0
3	Инженерные устройства управления безопасностью движения поезда	8,841.3	57,278.6
3.1	• неисправности устройств управления безопасностью движения, измерительных приборов или систем безопасности	8,841.3	57,278.6

а



б

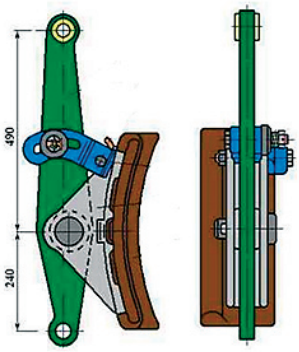


Рис. 2. Тормозная система локомотива: а – подвеска тормоза в сборе; б – крепление башмака с тормозной колодкой к подвеске

Таблица 3

Расчет RPN

Потенциальный режим отказа	Потенциальная причина отказа	Потенциальный эффект от сбоя	S	O	D	RPN	Рейтинг
Отказ тормозной системы	Поломка регулирующего клапана / распределительного клапана	Тормозной блок заклинило/тормозная система не работает/ Утечка	8	10	9	720	1
	Пневматический рукав	Утечка воздуха или ослабление крепления	7	6	8	336	4
	Тормозная магистраль	Утечка воздуха в тормозной магистрали	7	6	6	252	5
	Запорная арматура	Утечка разобщительного крана или стоп-крана	4	2	3	24	7
	Неисправности привода тормозной системы	Невозможность отпустить тормоза поезда	7	5	6	210	6
	Тормозные колодки	Износ или заклинивание тормозной рычажной передачи	4	1	2	8	8
	Электропневматическая система	Отказ тормозной системы	7	8	8	448	2
	Утечка воздуха	Коррозия компонентов тормозной системы, повреждение или износ резино-технических изделий	6	9	8	432	3

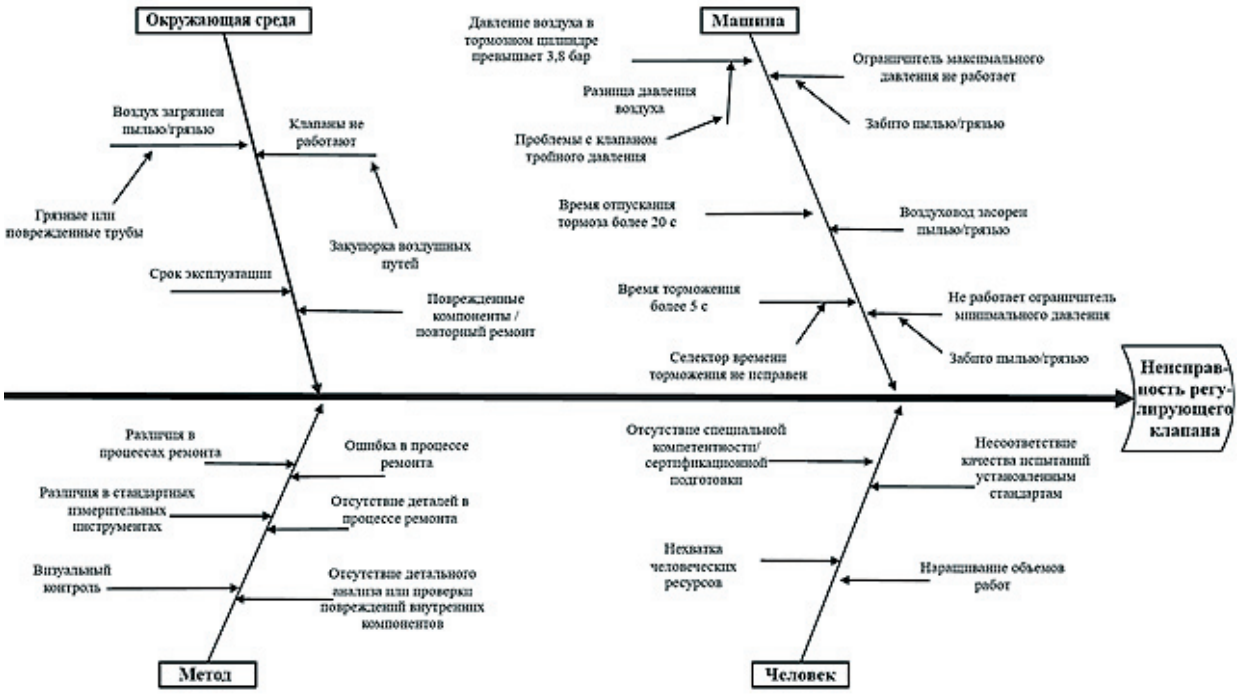


Рис. 3. Диаграмма Фишбона для отказа тормозной системы поезда в секции регулирующего клапана

Таким образом, подводя итоги проведенного исследования, отметим, что в статье описан подход, основанный на методе анализа режимов и последствий отказов, для выявления и оценки потенциальных рисков, связанных с выходом из строя компонентов подвижного состава. Прикладные особенности метода рассмотрены на примере отказа тормозной системы локомотива.

Литература

1. Пляскин, А. К. Ситуационный анализ безотказности локомотивов на Дальневосточной железной дороге / А. К. Пляскин, В. А. Бутусова, А. С. Кушнирук. - Текст : непосредственный // Техник транспорта: образование и практика. - 2023. - Т. 4, № 2. - С. 215-218.

2. Diana Sofía Mendoza, Javier Solano Energy management strategy to optimise regenerative braking in a hybrid dual-mode locomotive // IET Electrical Systems in Transportation. - 2023. - Volume 10, Issue 4. - P. 34-39.

3. Mingming Zhang Locomotive Gear Fault Diagnosis Based on Wavelet Bispectrum of Motor Current // Shock and Vibration. - 2021. - № 1. - P. 61-67.

4. Кручек, В. А. Диагностика технического состояния подшипников качения асинхронных тяговых двигателей локомотивов на основе интеллектуального анализа данных / В. А. Кручек. - Текст : непосредственный // Электротехника. - 2020. - № 1. - С. 2-5.

5. Пляскин, А. К. Оптимизация норм межремонтных пробегов электровозов серии 2(3,4) ЭС5К на основе отказов тяговых электродвигателей / А. К. Пляскин. - Текст : непосредственный // Известия Транссиба. - 2022. - № 3 (51). - С. 35-43.

6. Chang Liu, Shiwu Yang Research on radiated interference from diesel locomotive traction motor to cab signaling // IET Electrical Systems in Transportation. - 2022. - Volume 12, Issue 3. - P. 109-114.

7. Федотов, М. В. О предрейсовом контроле локомотивов с использованием интеллектуального анализа данных / М. В. Федотов. - Текст : непосредственный // Железнодорожный транспорт. - 2023. - № 6. - С. 25-29.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ ДЛЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СКОРОСТНЫХ ЭЛЕКТРОВОЗОВ

Предложена структурная схема системы гарантированного питания скоростного электровоза, в которой осуществлена передача электроэнергии от контактной сети к вагонам с помощью электромеханического блока, который состоит из трех агрегатов, соединенных общим валом: бесконтактного двигателя постоянного тока, синхронного генератора с постоянными магнитами и вентильного генератора.



Р.А. Раенко



Т.А. Рудницкая

Ключевые слова: постоянный магнит, статор, ротор, обмотка, вал, режим, синхронный двигатель, генератор

EDN: BQBAXM

Российская Федерация обладает большой территорией и значительной протяженностью железных дорог, поэтому ОАО «Российские железные дороги» играют ведущую роль среди всех перевозчиков. 87% грузооборота транспортной системы приходится на железные дороги. С развитием высокоскоростного железнодорожного транспорта со скоростями движения свыше 200 км/ч, в ближайшем будущем он станет основным и в пассажирских перевозках. Постоянные исследования в таких направлениях, как автоматизация, телемеханизация и информатизация, электрическая тяга поездов, электрификация и механизация работ способствуют развитию железнодорожного транспорта.

В настоящее время в электрическом железнодорожном транспорте применяется: электронные преобразователи и аппараты, бесколлекторное тяговое оборудование, импульсные преобразователи постоянного тока, синхронные генераторы с постоянными магнитами, бесконтактные двигатели постоянного тока. Данная статья посвящена исследованию двигателя постоянного тока (ДПТ), используемом в электромеханическом блоке системы гарантированного питания, в котором механическая система преобразования

Раенко Роман Александрович, кандидат технических наук, младший научный сотрудник научно-исследовательского центра ФГКВОУ ВО «Военная академия РВСН имени Петра Великого». Область научных интересов: системы автономного электроснабжения ракетных комплексов, исследования развития и совершенствования системы эксплуатации и технического обеспечения ракетных комплексов. Автор 21 научной работы. Имеет два патента на изобретения.

Рудницкая Татьяна Александровна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Системы управления транспортной инфраструктурой» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: логистика, управление перевозочным процессом железнодорожного транспорта. Автор 39 научных работ, в том числе двух учебников. Имеет один патент на изобретение.

Рудницкий Сергей Леонидович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электрификация и электроснабжение» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: электротехника, электрические машины, электрические аппараты. Автор 28 научных работ, в том числе одного учебного пособия. Имеет 10 патентов на изобретения и пять патентов на полезную модель.

энергии заменена электронной из-за чего его назвали бесконтактным (БДПТ).

Имеется два подхода к моделированию БДПТ, один из которых, по мнению профессора Хрущёва В.В., основан на представлении БДПТ как ДПТ с параллельным или смешанным возбуждением, а второй подход базируется на электронном представлении, в котором БДПТ содержит инвертор, формирователь импульсов, датчик положения ротора (ДПР) и синхронный двигатель, при этом процессы, протекающие в БДПТ, носят импульсный характер.

На основании сказанного считаем, что основные характеристики БДПТ зависят от мгновенных значений фазных токов, ЭДС, алгоритмов работы ключей инвертора (коммутатора).

Если взять двухфазный БДПТ, то уравнение равновесия его по второму закону Кирхгофа примет вид (обмотки фаз ортогональны, $\alpha \perp \beta$):

$$\left.\begin{aligned} U_\alpha &= i_\alpha R_\alpha + L_\alpha \frac{di_\alpha}{dt} + C_e \Phi_б \omega_\alpha \sin \omega t \\ U_\beta &= i_\beta R_\beta + L_\beta \frac{di_\beta}{dt} + C_e \Phi_б \omega_\beta \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) \end{aligned}\right\}, \quad (1)$$

где i_α и i_β – мгновенные значения токов фаз ω_α, ω_β;

C_e – коэффициент конструкции, зависящий от ЭДС;

$\Phi_б$ – магнитный поток на пару полюсов;

ω – угловая частота вращения.

Из системы уравнений (1) определяем мгновенные значения токов фаз для установившегося режима работы БДПТ. Для фазы α (ω_α)

$$\left.\begin{aligned} i_\alpha &= \frac{U}{R_\alpha} - \frac{U}{R_\alpha} e^{-\tau t} - I_{mR} \sin \omega t + I_{mL} \cos \omega t - I_{0a} e^{-\tau t} \\ &\text{при условии } \tau = 1/T = R_\alpha / L_\alpha \end{aligned}\right\}. \quad (2)$$

В первом уравнении системы (2) первое слагаемое $\frac{U}{R_\alpha} = I_{кз}$ – это ток короткого замыкания в начальный момент времени, второе слагаемое $\frac{U}{R_\alpha} e^{-\tau t}$ – это апериодическая составляющая тока, обусловленная изменением магнитного поля индуктивности, I_{mR} – амплитудное значение активного тока фазы, I_{mL} – амплитудное значение индуктивного тока фазы и I_{0a} – начальное значение апериодической составляющей тока, обусловленная ЭДС.

Момент в функции поворота ротора относительно магнитного поля якоря

$$M(\theta) = C_M \sum_{\kappa=1}^{\alpha\kappa} \Phi_\gamma i_\kappa \sin(\omega t + \alpha\kappa). \quad (3)$$

где C_M – коэффициент конструкции;

Φ_γ – магнитный поток в воздушном зазоре;

i_κ – ток в κ-й секции в пространстве;

α_κ – начальная фаза.

На межкоммутационном интервале момент чаще всего является постоянным, а при расчете динамики двигателя допустимо усреднение момента на всем интервале, задаваясь начальным $\theta_н$ и конечным $\theta_к$ углами включения секций

$$M_ф = \frac{1}{\tau} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} M(\tau) d\tau = \frac{1}{\theta_к - \theta_н} \int_{\theta_н}^{\theta_к} M(\theta) d\theta, \quad (4)$$

где τ – межкоммутационный интервал, при этом движение ротора определяется уравнением

$$\frac{Y}{p} \frac{d^2\theta}{dt^2} + M_{ср}(\theta) = M(\theta). \quad (5)$$

При работе от источника тока необходимо получить прямоугольную форму тока, поскольку ее проще всего реализовать, однако ее получение бывает затруднительным.

При синусоидальном распределении индукции в зазоре ЭДС выражается через угловое положение ротора относительно магнитной оси фазы

$$E_0 = C_e p \Omega \Phi_б \cos\left(\theta_н - \frac{\theta_к}{2} - \theta_0\right). \quad (6)$$

Мгновенное значение момента в данном случае определяется по формуле

$$M = C_e p \Phi_б I_m \cos\left(\theta_н - \frac{\theta_к}{2} - \theta_0\right), \quad (7)$$

где p – число пар полюсов;

Ω – частота вращения ротора;

I_m – амплитудное значение тока в фазе, зависящее от угла поворота θ;

θ_0 – угол, определяющий положение ротора по отношению к нейтрали, под которым понимается совпадение магнитных осей полюсов якоря и индуктора.

При θ_0=0 имеет место нейтральная коммутация, при θ_0<0 – опережающая и при θ_0>0 – отстающая коммутация.

Среднее значение момента БДПТ за оборот зависит от числа фаз и закона коммутации. При проведении анализа принимаем допущения:

- ЭДС вращения E_0, наводимая индуктором за время подключения фазы к источнику постоянного тока, неизменна по величине;
- пренебрегаем индуктивностью фазы и взаимоиндуктивностью между фазами, поскольку они не зависят от углового положения ротора;
- ключи инвертора идеальные, будем считать, что они срабатывают мгновенно;

• двигатель подключен к идеальному источнику напряжения.

Если учесть вышесказанное, то напряжение в фазе вида (1) можно записать следующим образом

$$U = E_0 + L\frac{di_\alpha}{dt} + i_\alpha R_\beta . \qquad (8)$$

Тогда ток фазы будет равен

$$i_\alpha = \frac{U - E_0}{R}\left(1 - e^{-t/T}\right). \qquad (9)$$

Пренебрегаем пульсациями момента и реакцией якоря, тогда вращающий момент БДПТ можно определить по формуле

$$M = C_м \overline{\Phi}_б \overline{I}_i \sin\theta \approx C_м \Phi_б i_\alpha \approx$$
$$\approx C_м \Phi_б \frac{U - E_0}{R}\left(1 - e^{-t/T}\right). \qquad (10)$$

Принимая, что $E_0 = C_в \Phi_б \omega$, имеем

$$M = \left(\frac{C_м \Phi_б U}{R} - \frac{C_м C_в \Phi_б^2}{R}\omega\right)\cdot\left(1 - e^{t/T}\right). \qquad (11)$$

Откуда

$$\omega = \frac{U}{C_в \Phi_б} - M\cdot\frac{R}{C_м C_в \Phi_б^2\left(1 - e^{-t/T}\right)}. \qquad (12)$$

Анализ уравнений (10) и (11) показывает, что отличие этих выражений для ДПТ состоит лишь в наличии составляющей $(1 - e^{-t/T})$, связанной с экспоненциальным характером изменения тока фазы, обусловленным значительной индуктивностью.

Теперь составим уравнения БДПТ для динамического режима, полагая, что он подключен к источнику напряжения $U_п$. Тогда уравнения равновесия примут вид:

$$\left.\begin{aligned}
&\pm X_\alpha(t)U_п = i_\alpha R_\alpha + L_я\frac{di_\alpha}{dt} + e_{я\alpha} = \\
&= R_я\left(i_\alpha + T_я\frac{di_\alpha}{dt}\right) + e_{я\alpha}; \\
&\pm X_\beta(t)U_п = i_\beta R_\beta + L_я\frac{di_\beta}{dt} + e_{я\beta} = \\
&= R_я\left(i_\beta + T_я\frac{di_\beta}{dt}\right) + e_{я\beta},
\end{aligned}\right\} \qquad (13)$$

где $R_я$, $L_я$ – суммарные активное и индуктивное сопротивления фазы якоря, цепей и ключей инвертора;

X_α, X_β – переключающие функции фаз инвертора, причем знак «+» соответствует проводящему интервалу инвертора, знак «–» – запирающему.

Диоды коммутатора в зависимости от сигналов системы управления имеют одно из трех значений: +1, 0 или –1.

ЭДС вращения $e_{я\alpha}$ и $e_{я\beta}$ в обмотках w_α и w_β равны:

$$\left.\begin{aligned}
e_{я\alpha} &= K_я \Phi_w F_{ф\alpha}(\theta); \\
e_{я\beta} &= K_я \Phi_w F_{ф\beta}(\theta - \pi/2),
\end{aligned}\right\} \qquad (14)$$

где $F_{ф\alpha}(\theta)$ и $F_{ф\beta}(\theta - \pi/2)$ – функции единичной ЭДС от угла поворота ротора относительно обмоток статора, причем чаще всего эти зависимости имеют гармонический характер, т.е.

$$\left.\begin{aligned}
e_{я\alpha} &= K_я \Phi_w \sin\omega t; \\
e_{я\beta} &= K_я \Phi_w \sin\omega t(\omega t - \pi/2),
\end{aligned}\right\} \qquad (15)$$

Момент двигателя при несинусоидальных функциях изменения тока в фазах во времени и изменяющемся по углу поворота потокосцеплении фазных обмоток можно выразить так:

$$M = K_я I_я \Phi_я = K_я I_я \Phi \sin\theta_м , \qquad (16)$$

где $\theta_м$ – угол между векторами токов.

Модуль вектора тока

$$I_я = i_{\alpha 2} + i_{\beta 2}, \qquad (17)$$

а его угловое положение относительно оси α или на комплексной плоскости

$$\alpha I_я = \mathrm{arctg} i_\beta i_\alpha. \qquad (18)$$

Анализ приведенных соотношений показывает, что мгновенные значения токов фаз i_α и i_β определяются уравнениями системы (1) и в общем случае являются функциями $U_п$, $x(t)$, $T_я$ и ЭДС вращения.

Положение сектора потока Ф изменяется с частотой вращения ротора, причем начальное положение, при котором по сигналу ДПР включается фаза, задается при сборке БДПТ. Взаимное положение $\theta_м$ векторов $\overline{I}_я$ и $\overline{\Phi}_я$ может быть отражено выражением

$$\theta_м = -\theta_н + p_н \omega t + arctg i_\beta i_\alpha . \qquad (19)$$

Работа коммутатора (инвертора) осуществляется по сигналам ДПР, который обычно представляется двумя интегрирующими частоту блоками, охваченными обратными связями, осуществляющими при повороте ротора на заданный угол $\pi/p_н$ обнуление интегратора.

Структурная схема БДПТ для рассмотренных режимов представлена на рисунке, анализ которой показывает, что система уравнений (13) может быть заменена общими уравнениями, связывающими средние значения напряжения питания $U_п$, ЭДС двигателя и модуляцию этой ЭДС на межкоммутационном интервале.

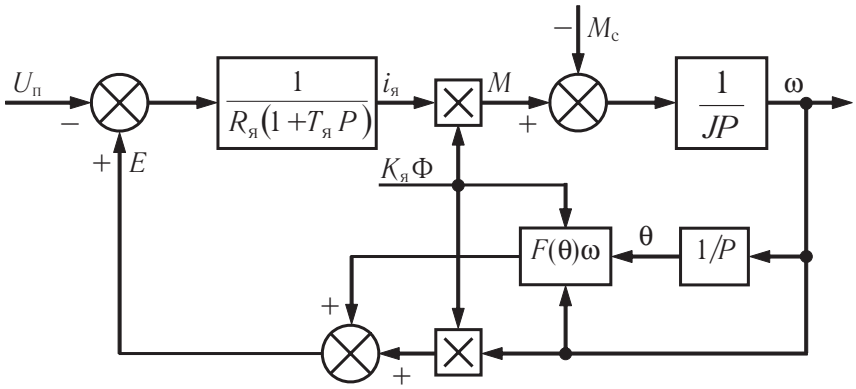


Рисунок. Структурная схема БДПТ для указанного интервала

Уравнение электрического равновесия при этом принимает вид

$$U_я = R_я\left(i_я + T_я P\right) + Ф_{кя}\, w + F\left(\theta\right)_{кя}\, Ф w\,, \qquad (20)$$

где $F(\theta)$ – функция изменения среднего значения ЭДС на интервале $\theta_{нα}+\theta_{кα}$.

Выводы

1. При малом числе фаз обмоток процессы в БДПТ усложняются и к точности протекания процессов предъявляются повышенные требования.

2. Простота процессов в БДПТ может быть показана и с точки зрения теории ДПТ, поэтому при высоком КПД бесконтактных двигателей его механическая характеристика относится к мягким, что оказывает влияние на область использования БДПТ.

3. В перспективных системах электроснабжения высокоскоростных электровозов предпочтение отдается ЭМП на основе БДПТ, поскольку они обладают простотой реализации, большей надежностью, долговечностью и энергоэффективностью, несмотря на более высокую стоимость.

Литература

1. Патент № 2755531 Российская Федерация, МПК H02J 3/10 (2006.01) B60L 50/53 (2019.01). Система гарантированного электропитания электровоза : № 2020130556 : заявлено 17.09.2020 : опубликовано 7.09.2021 Бюл. № 26 / Аркадьев Д. В., Куликов П. В., Кириллов Н. П., Чемусов А. В.; Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Военная академия Ракетных войск стратегического назначения имени Петра Великого» МО РФ. - 12 с.: ил. - Текст : непосредственный.

2. Бут, Д. И. Основы электромеханики : учебное пособие / Д. И. Бут. - Москва : МАИ, 1996. - 468 с. - ISBN 5-7035-0587-9. - Текст: непосредственный.

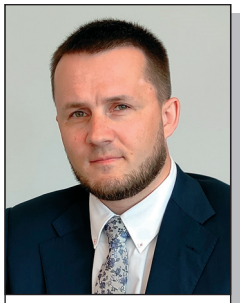
3. Вентильные генераторы автономных систем электроснабжения / Н. М. Рожнов, А. М. Русаков, А. М. Сугробов, П. А. Тыричев ; Под ред. П. А. Тыричева. - Москва : МЭИ, 1996. - 278 с. - ISBN 5-7046-0041-7. - Текст : непосредственный.

4. Извеков, В. И. Вентильные электрические двигатели : учебное пособие / В. И. Извеков, В. А. Кузнецов. - Москва : МЭИ, 1998. - 60 с. - ISBN 5-7046-0392-0. - Текст : непосредственный.

5. Бурков, А. Т. Электронная техника и преобразователи : учебник для вузов железнодорожного транспорта / А. Т. Бурков. - Москва : Транспорт, 1999. - 464 с. - ISBN 5-277-02110-8. - Текст : непосредственный.

СПОСОБЫ ИНФОРМАЦИОННОГО СОПРЯЖЕНИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО МОНИТОРИНГА ОБЪЕКТОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ С СИСТЕМАМИ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ПОЕЗДОВ

Предложены некоторые способы информационного сопряжения систем автоматизированного мониторинга объектов железнодорожной инфраструктуры с системами управления движением поездов. Информационное сопряжение осуществляется через увязку с системами железнодорожной автоматики и телемеханики и требует сертификации и доказательства безопасности систем мониторинга для использования данных о состоянии объектов диагностирования в контуре управления.



Д.В. Ефанов



Е.М. Михайлюта

Ключевые слова: система управления движением поездов, информационное сопряжение систем

EDN: HVOYLY

Для обеспечения получения оперативных данных о состояниях некоторых объектов критической инфраструктуры используются технические средства автоматизированного мониторинга [1–3]. Ими, как правило, оборудуются сложные и уникальные технические сооружения. Это в полной мере касается и железнодорожной отрасли, где на ряде объектов установлены современные системы мониторинга инженерных конструкций и сооружений (СМИК и/или СМИС) [4–6]. Данные системы позволяют получать первичную диагностическую информацию о состоянии объекта диагностирования, собирать и хранить ее, а также классифицировать по пороговым значениям (нормалям или уставкам) и выдавать пользователю информационные сообщения. Ученые и исследователи работают над вопросами создания интеллектуальной программной оболочки обработки диагностической информации для многокритериального оценивания состояния сооружения, постановки диагноза с высокой вероятностью, близкой к единице, а также для решения задач определения генеза и прогноза [7–9]. Это, в свою очередь, является и отправной точкой к управлению надежностью и безопасностью объекта диагностирования [10;11].

Современные системы автоматизированного мониторинга могут передавать данные различным пользователям. Но, как правило, специалисты ограничиваются организацией передачи данных на стационарные средства, расположенные вблизи объекта диагностирования и в центры оперативного реагирования (они

Ефанов Дмитрий Викторович, доктор технических наук, профессор, заместитель генерального директора по научно-исследовательской работе Научно-исследовательского и проектного института Транспортной и строительной безопасности, профессор Высшей школы транспорта Института машиностроения, материалов и транспорта Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, профессор кафедры «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)), профессор кафедры «Автоматика и телемеханика» Ташкентского государственного транспортного университета, действительный член Международной Академии транспорта, член Института инженеров электротехники и электроники (IEEE). Область научных интересов: дискретная математика, надежность и техническая диагностика дискретных систем, методы синтеза самопроверяемых, отказоустойчивых и безопасных систем управления, методы мониторинга транспортных систем. Автор свыше 600 научных работ, в том числе пяти учебников, трех монографий и 13 учебных пособий. Имеет шесть патентов на изобретения.

Михайлюта Евгений Михайлович, аспирант Высшей школы транспорта Института машиностроения, материалов и транспорта Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого. Область научных интересов: методы синтеза безопасных систем управления, технологии приборостроения. Автор восьми научных работ.

могут быть даже на городских и региональных уровнях) [6]. Развитие технологий диагностирования и мониторинга идет по пути эволюции и приближается к тесной интеграции с системами управления движением [12;13]. И это, действительно, эволюционный путь, поскольку собранные системами автоматизированного мониторинга данные в настоящее время оказываются вне цепочки регулирования движения поездов и никак не могут учитываться в задачах управления (кроме, разве что, при передаче информации вручную через поездного диспетчера). Следующий шаг в развитии технологий диагностирования и мониторинга – это информационное сопряжение систем автоматизированного мониторинга с системами управления движением поездов.

В своих предыдущих работах [14–16], авторы обращали внимание на необходимость такой увязки систем, на преимущества и требования к составляющим систем автоматизированного мониторинга и информационного сопряжения. В [12;13] предложено концептуальное решение по организации системы управления движением поездов более высокого уровня безопасности, чем нынешняя, за счет использования в цепях обратных связей данных, полученных по результатам мониторинга. В [10;11] авторы настоящей статьи разработали математическую модель надежности системы управления движением поездов, в которой имеется информационное сопряжение с системами автоматизированного мониторинга объектов железнодорожной инфраструктуры, а в [17–19] – кратко осветили возможные способы интеграции систем.

Целью настоящей статьи является описание некоторых перспективных способов организации информационного сопряжения систем автоматизированного мониторинга объектов железнодорожной инфраструктуры и управления движением поездов.

Укрупненная архитектура информационного сопряжения систем

На рис. 1 приведена укрупненная архитектура безопасной системы управления, включающая в себя информационное сопряжение систем автоматизированного мониторинга и управления движением поездов [10]. Такое техническое решение подразумевает информационное сопряжение систем мониторинга через системы железнодорожной автоматики и телемеханики. Это объясняется тем, что системы железнодорожной автоматики и телемеханики как раз являются теми объектами во всей железнодорожной инфраструктуре, которые осуществляют подготовку пути для проследования поезда и выдают безопасные

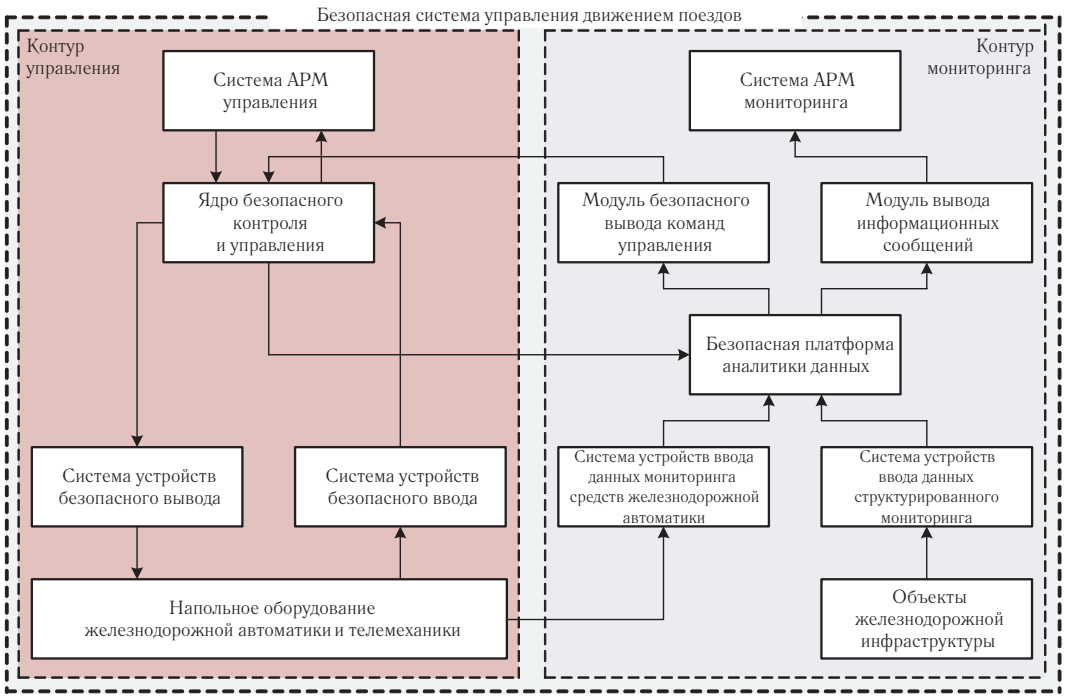


Рис. 1. Укрупненная архитектура безопасной системы управления движением поездов

сигналы на разрешение/запрещение выполнения действий машинистам. Выделяется контур управления и контур мониторинга. В контуре управления присутствуют устройства и системы железнодорожной автоматики и телемеханики, а в контуре мониторинга – та часть, которая позволяет формировать сигналы на изменения режимов управления движением поездов в случае фиксации критических отклонений параметров объектов диагностирования от требуемых норм. В каждом хозяйстве на железной дороге может использоваться своя система автоматизированного мониторинга [20–23], которая также входит в контур мониторинга и стыкуется с контуром управления. При этом должно быть четкое ранжирование данных, получаемых от сертифицируемых на какие-либо уровни полноты безопасности систем автоматизированного мониторинга и несертифицируемых (именно такие системы автоматизированного мониторинга распространены на железных дорогах в настоящее время).

Безопасная система управления движением поездов, реализуемая по архитектуре (рис. 1) – это некоторое перспективное техническое решение. Ясно, что поскольку современные и действующие системы автоматизированного мониторинга объектов железнодорожной инфраструктуры не сертифицируются на какие-либо уровни полноты безопасности, то прямое изменение алгоритмов управления в системах железнодорожной автоматики и телемеханики просто невозможно с точки зрения функциональной безопасности. Поэтому целесообразно рассматривать некоторые промежуточные варианты информационного сопряжения систем автоматизированного мониторинга и управления движением поездов.

Способы информационного сопряжения систем

Без потери общности положим, что объектом диагностирования является мостовое сооружение. На нем, в соответствии с проведенным обследованием и эксплуатационной документацией, выбраны контрольные точки, установлены нулевые значения диагностических параметров и пределы их изменения. В соответствии с этим и условиями эксплуатации подобраны датчики $Д_1$, $Д_2$, ..., $Д_{n-1}$, $Д_n$, где n – это общее число датчиков, а также преобразователи для тех датчиков, которые являются аналоговыми (в общем случае это n преобразователей $П_1$, $П_2$, ..., $П_{n-1}$, $П_n$). Если же имеются цифровые датчики, то преобразователь для каждого из них не потребуется. Иными словами, здесь рассматривается более общий случай, когда все датчики аналоговые. Данные с определенным периодом поступают через кабельные сети (или же по защищенному радиоканалу) в концентратор информации (КИ), где собираются, хранятся и классифицируются по установленным пороговым значениям (нормалям или уставкам). Это, можно сказать, типовая укрупненная архитектура системы автоматизированного мониторинга для любого объекта транспортной инфраструктуры [24].

Расширим структуру современной системы автоматизированного мониторинга, добавив в нее важнейший технический орган – безопасную платформу аналитики данных (БПАД). Она предназначена для постановки диагноза, определения генеза и формирования прогноза с генерацией сценариев управления и процессом движения поездов и самим объектом диагностирования. БПАД реализует алгоритмы диагностирования и вырабатывает сигнал для передачи его машинистам движущихся на участке поездов и поездному диспетчеру.

Первый вариант организации информационного сопряжения систем автоматизированного мониторинга и управления движением поездов представлен на рис. 2. В нем увязка осуществлена через безопасное устройство сопряжения (БУС), реализованное, например, по аналогии с описанными устройствами сопряжения в [25]. Данные непосредственно на объекте диагностирования передаются через кабельный тракт передачи в релейный шкаф увязки (РШ-У) и затем – на специальный светофор мониторинга (СМ). Он располагается на определенном расстоянии от объекта диагностирования, достаточном для полной остановки поезда, движущегося с максимально допустимой скоростью и максимально допустимой массой на данном участке железной дороги.

Светофора мониторинга в настоящее время не существует (поэтому авторы обозначили его нестандартным образом), однако его можно реализовать по аналогии со светофорами в системах контроля нагрева буксовых узлов и внести в инструкцию по сигнализации [26]. Светофор мониторинга нормально погашен. Он передает машинисту информацию о состоянии объекта диагностирования и в предложенном авторами варианте имеет два сигнальных показания: включение красного показания требует остановки поезда, включение желтого показания требует особого внимания при проследовании объекта диагностирования с уменьшенной скоростью. В такой технической реализации нет прямого влияния на алгоритмы функционирования системы управления движением поездов (обратите внимание на то, что на рисунке специально не показаны светофоры автоблокировки). Соответственно при фиксации БПАД опасного состояния объекта диагностирования вырабатывается сигнал на включение красного сигнального показания, требующего немедленной

остановки поезда. Если БПАД фиксирует состояние объекта диагностирования, классифицируемое как тревожное, то на светофоре включается желтое сигнальное показание, требующее снижения скорости проследования на участке, где расположен объект диагностирования. Поскольку БПАД автоматически воздействует на светофоры мониторинга в перспективе они могут снабжаться дополнительными сигналами, свидетельствующими об исправности системы мониторинга, самой БПАД и средств информационного сопряжения.

На рис. 3 представлен еще один вариант информационного сопряжения систем автоматизированного мониторинга и управления движением поездов – через заградительные светофоры (ЗГ1 и ЗГ2). Такие светофоры устанавливаются, как правило, на подъездах к железнодорожным переездам, особо сложным искусственным сооружениям и в обвальных местах [26]. Они нормально погашены и включаются при наличии неисправности на сооружении дежурным. Возможно два основных способа информационного сопряжения заградительных сигналов и системы мониторинга. Первый вариант состоит в том, что от БПАД через БУС на аппарат дежурного по станции и по переезду выводится сигнал, требующий включения заградительного сигнала. Его включает дежурный по переезду. Здесь управляющая роль отведена дежурному по переезду. Второй вариант состоит в том, что сигнал от БПАД через БУС в РШ-У автоматически воздействует на заградительные сигналы (именно такой вариант позволяет исключить человеческий фактор в управлении, однако также требует проработки безопасных технических решений). На рис. 3 проиллюстрирован второй вариант реализации, как наиболее перспективный в совершенствовании перевозочного процесса.

Третий вариант информационного сопряжения показан на рис. 4. Он уже исключает использование специального светофора мониторинга и подразумевает увязку с техническими средствами автоблоки-

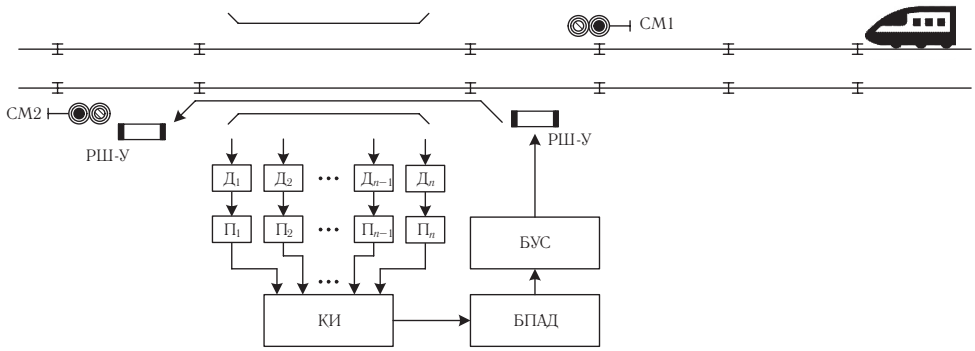


Рис. 2. Информационное сопряжение систем автоматизированного мониторинга и управления движением поездов через отдельный светофор мониторинга

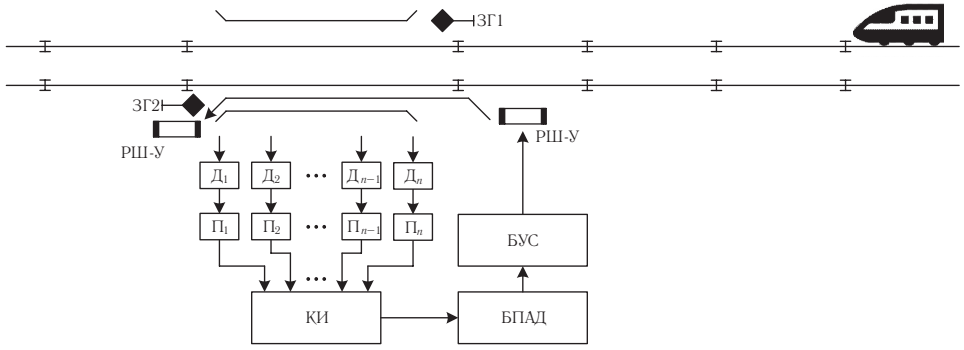


Рис. 3. Информационное сопряжение систем автоматизированного мониторинга и управления движением поездов через заградительные светофоры

ровки. Сигнал от БУС идет в транспортабельный модуль автоблокировки (ТМ АБ) (или же на пост электрической централизации близлежащей станции, где расположена аппаратура автоблокировки – здесь взято решение без аппаратуры релейных шкафов на перегонах, хотя и для числовой кодовой автоблокировки также можно реализовать увязку).

В ТМ АБ обустраивается статив для оборудования информационного сопряжения, где, помимо прочего, используется реле искусственного занятия рельсовой цепи, расположенной за объектом мониторинга (ИЗ РЦ-М). В случае фиксации критических нарушений БПАД вырабатывает сигнал на включение реле ИЗ РЦ-М. Это позволяет непосредственно влиять на алгоритмы управления движением поездов на линии железной дороги. И здесь уже реализуется учет состояния объекта диагностирования при проследовании поезда. Однако не реализуется интеллектуальный режим управления со снижением скорости движения, а введена лишь функция остановки поезда.

Следующим шагом в развитии подобной технологии информационного сопряжения является введение логических зависимостей для использования желтого сигнального показания. В текущей концепции системы управления движением поездов со снижением скоростей через красное сигнальное показание на расположенном впереди светофоре, ограждающем занятый блок-участок, напрямую это не реализовать (нельзя включить желтое сигнальное показание при зеленом показании на расположенном впереди светофоре).

На рис. 5 приведена укрупненная архитектура увязки систем автоматизированного мониторинга и управления движением поездов через электрическую централизацию (ЭЦ) стрелок и сигналов на близлежащих станциях и диспетчерскую централизацию

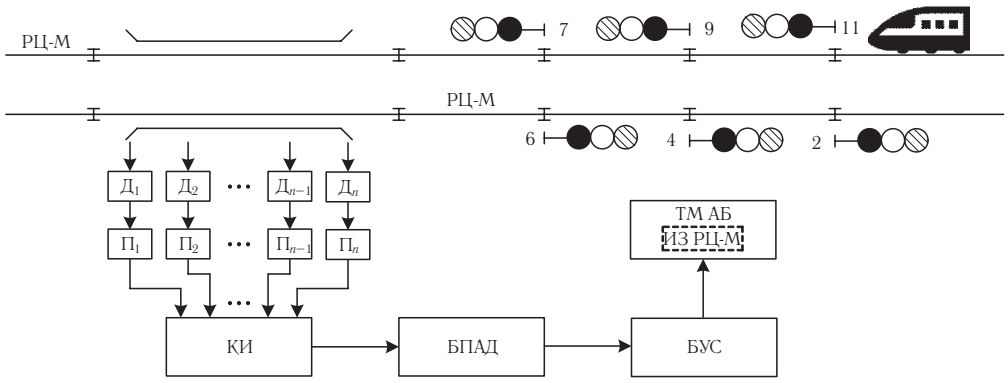


Рис. 4. Информационное сопряжение систем автоматизированного мониторинга и управления движением поездов через технические средства автоблокировки

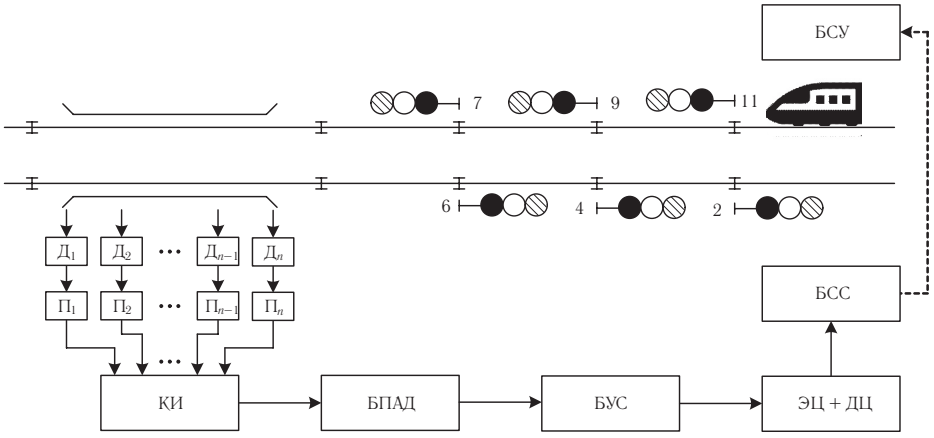


Рис. 5. Информационное сопряжение систем автоматизированного мониторинга и управления движением поездов через бортовые средства управления

(ДЦ), где должны быть предусмотрены технические решения по безопасной увязке. Здесь данные от БУС передаются на специальные стативы информационного сопряжения на посту ЭЦ, далее – в ДЦ и затем, через безопасную станцию связи (БСС) по защищенному радиоканалу, используемому в задачах регулирования движения поездов (организованному по аналогии с описанным [27]) на бортовую систему управления (БСУ) локомотивом. Сюда передаются данные для адаптивного управления движением поездов с учетом критичности зафиксированных БПАД отклонений в работе объекта диагностирования.

Из анализа рис. 5 следует, что данные для адаптивного управления с учетом состояния объекта диагностирования и мониторинга входят в противоречие с традиционной логикой работы светофоров на перегоне, так как при свободности рельсовой цепи, расположенной на объекте диагностирования, позволяют включать менее разрешающие показания на светофорах, ограждающих участки перед объектом диагностирования. Рельсовая цепь не отвечает за состояние объекта инфраструктуры, а передает данные о состоянии пути. Поэтому в изначальной реализации она никаким образом не может получать данные о состояниях искусственных сооружений, а не только самого пути для движения [12;13]. В целях достижения высоких показателей безопасности движения поезда через объект диагностирования требуется вне зависимости от состояния рельсовой цепи за объектом диагностирования и на нем изменить логику работы светофоров на прилегающих участках с учетом еще и технического состояния объекта диагностирования. Это можно сделать и через схемы рельсовых цепей за объектом диагностирования и на объекте диагностирования, добавляя контакты соответствующих реле, имитирующих искусственное занятие рельсовых цепей.

Конечно же, здесь следует подчеркнуть, что в современной концепции проектирования и реализации систем автоматизированного мониторинга никакая увязка с системой управления движением поездов через БПАД просто невозможна, ввиду того что достоверность диагноза ничем не подкреплена. Поэтому для реализации систем автоматизированного мониторинга должны быть проработаны принципы построения с требуемым уровнем полноты безопасности [28;29]. Такие решения, по всей видимости, схожи с безопасными решениями по устройствам и системам сигнализации, централизации и блокировки [30;31].

Заключение

Несомненно, дальнейшее совершенствование принципов построения устройств и систем управления движением поездов связано с тесной интеграцией средств автоматизированного мониторинга и управления. Этот путь является рациональным, так как способствует оперативному получению данных о критически важных параметрах железнодорожной инфраструктуры и, как следствие, использованию их при адаптивном управлении процессом движения поездов во всех компонентах его обеспечения.

Предложенные авторами способы информационного сопряжения систем автоматизированного мониторинга и управления движением поездов могут эффективно использоваться на практике при особой проработке технических решений, реализующих их. В будущем подобное решение может являться частью интеллектуальной системы управления движением поездов, основное ядро которой описано в [32]. Особенный интерес к представленной концепции может возникнуть при проработке интеллектуальных систем управления на грузонапряженных и высокоскоростных железнодорожных линиях в силу возможностей оперативного учета технических состояний объектов инфраструктуры при адаптивном управлении движением поездов.

Литература

1. Andersen J. E., Vesterinen A. Structural Health Monitoring Systems. – Denmark, COWI A/S, 2006, 125 p.

2. Посохов, Н. Н. Структурированная система мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений (СМИС) - что это такое? / Н. Н. Посохов, И. В. Сосунов. - Текст : непосредственный // Мониторинг: наука и безопасность. - 2011. - № 1. - С. 12-17.

3. Belyi A., Shestovitskii D., Myachin V., Sedykh D. Development of Automation Systems at Transport Objects of Megacity // Proceedings of 17th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2019), Batumi, Georgia, September 13-16, 2019, pp. 201-206, doi: 10.1109/EWDTS.2019.8884382.

4. Diaferio M., Fraddosio A., Piccioni M.D., Castellano A., Mangialardi L., Soria L. Some Issues in the Structural Health Monitoring of a Railway Viaduct by Ground Based Radar Interferometry // 2017 IEEE Workshop

on Environmental Energy and Structural Monitoring Systems (EESMS), 24-25 July 2017, Milan, Italy, pp. 1-6, doi: 10.1109/EESMS.2017.8052699.

5. РЖД: мост с первой инновационной системой непрерывного мониторинга и подключением к управлению заградительным сигналом. - Текст : непосредственный // Мостовые сооружения. XXI век. - 2021. - № 4 (51). - С. 18-19.

6. Мячин, В. Н. Мониторинг инженерных сооружений на транспортном переходе через Керченский пролив / В. Н. Мячин, Д. В. Ефанов, Г. В. Осадчий // Транспорт Российской Федерации. - 2023. - № 5-6. - С. 20-24.

7. Tammer M., Kaminski M. Fatigue Oriented Risk Based Inspection and Structural Health Monitoring of FPSOs // Proceedings of the 23rd International Offshore and Polar Engineering Anchorage, Alaska, USA, June 30 – July 5, 2013, pp. 438-449.

8. Sun D.L., Shang Z., Xia Y., Bhowmick S., Nagarajaiah S. Review of Bridge Structural Health Monitoring Aided by Big Data and Artificial Intelligence: From Condition Assessment to Damage Detection // Journal of Structural Engineering, 2020, 146 (5): 04020073, doi: 10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0002535.

9. Cury A., Ribeiro D., Ubertini F., Todd M. Structural Health Monitoring Based on Data Science Techniques // Springer International Publishing, 2022, Vol. 21, XVIII+474 p., doi: 10.1007/978-3-030-81716-9.

10. Ефанов, Д. В. Управление надёжностью и безопасностью перевозочного процесса с применением систем непрерывного мониторинга объектов железнодорожной инфраструктуры / Д. В. Ефанов, Е. М. Михайлюта. - Текст : непосредственный // Мир транспорта. - 2023. - Т. 21, № 2 (105). - С. 84-94. - DOI: 10.30932/1992-3252-2023-21-2-10.

11. Efanov D.V., Mikhailiuta E.M., Khoroshev V.V. Reliability Models for a Safe Train Traffic Control Systems Accounting the Railway Infrastructure States // Proceedings of 6th International Russian Automation Conference (RusAutoCon), Sochi, Russia, September 10-16, 2023, pp. 266-270, doi: 10.1109/RusAutoCon58002.2023.10272854.

12. Efanov D.V., Khoroshev V.V., Osadchy G.V. Principles of Safety Signalling and Traffic Control Systems Synthesis on Railways // Proceedings of 9th International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIE), Sochi, Russia, May 15-19, 2022, pp. 634-638, doi: 10.1109/ICIEAM57311.2023.10139292.

13. Ефанов, Д. В. Концептуальные основы синтеза безопасных систем управления движением поездов / Д. В. Ефанов, В. В. Хорошев, Г. В. Осадчий. - Текст : непосредственный // Мир транспорта - 2022. - Т. 20, № 3 (100). - С. 50-57. - DOI: 10.30932/1992-3252-2022-20-3-6.

14. Ефанов, Д. В. Интеграция систем непрерывного мониторинга и управления движением на железнодорожном транспорте/ Д. В. Ефанов. - Текст : непосредственный // Транспорт Российской Федерации. - 2017. - № 4. - С. 62-65.

15. Ефанов, Д. В. Увязка систем управления с техническими средствами диагностирования и мониторинга объектов инфраструктуры / Д. В. Ефанов, Г. В. Осадчий, И. А. Аганов. - Текст : непосредственный // Автоматика, связь, информатика. - 2021. - № 6. - С. 25-29. - DOI: 10.34649/AT.2021.6.6.004.

16. Efanov D., Osadchy G., Aganov I. Fundamentals of Implementation of Safety Movement of Trains under Integration of Control Systems with Hardware for Railway Infrastructure Facilities Monitoring // Proceedings of 11th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS'2021), Vol. 1, Cracow, Poland, September 22-25, 2021, pp. 391-396, doi: 10.1109/IDAACS53288.2021.9660985.

17. Ефанов, Д. В. Технологии увязки систем мониторинга искусственных сооружений железных дорог с системами управления движением поездов / Д. В. Ефанов, Е. М. Михайлюта. - Текст : непосредственный // Материалы Международной научно-практической конференции «Инновационное развитие транспортного и строительного комплексов», посвященной 70-летию БелИИЖТа - БелГУТа (16-17 ноября 2023 г.): в 2 частях Ч. 1 / Министерство транспорта и коммуникаций Республики Беларусь, Белорусская железная дорога, Белорусский государственный университет транспорта; под общей редакцией Ю. И. Кулаженко. - Гомель: БелГУТ, 2023. - С. 210-211.

18. Ефанов, Д. В. Информационное сопряжение систем мониторинга инженерных конструкций и сооружений с системами железнодорожной автоматики и телемеханики через заградительные светофоры / Д. В. Ефанов, Е. М. Михайлюта. - Текст : непосредственный // Сборник трудов Международной научно-практической конференции «Транспортные системы», 16-17 октября 2024 г.; под редакцией д-ра техн. наук, проф. Д. В. Ефанова. - СПб.: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2024. - С. 40-45. - ISBN 978-5-7422-8777-3.

19. Ефанов, Д. В. Особенности информационного сопряжения систем мониторинга инженерных конструкций и сооружений с системами управления движением поездов / Д. В. Ефанов, Е. М. Михайлюта. - Текст : непосредственный // Материалы XIII Международной научно-практической конференции «Проблемы безопасности на транспорте», посвященной Году качества (21-22 ноября 2024 г.): в 2 ч. Ч. 1 / Министерство транспорта и коммуникаций Республики Беларусь, Белорусская железная дорога, Белорусский государственный университет транспорта; под общей редакцией Ю.И. Кулаженко. — Гомель: БелГУТ, 2024. - С. 211-213. - ISBN 978-985-891-182-6.

20. Park Y., Kwon S.Y., Kim J.M. Reliability Analysis of Arcing Measurement System Between Pantograph and Contact Wire // The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers. - 2012. - Vol. 61, № 8. - pp. 1216-1220.

21. Efanov D., Osadchy G., Sedykh D., Pristensky D., Barch D. Monitoring System of Vibration Impacts on the Structure of Overhead Catenary of High-Speed Railway Lines // Proceedings of 14th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2016), Yerevan, Armenia, October 14-17, 2016, pp. 201-208, doi: 10.1-109/EWDTS.2016.7807691.

22. Wang H., Núñez A., Liu Z., Chen J., Dollevoet R. Intelligent Condition Monitoring of Railway Catenary Systems: A Bayesian Network Approach // The 25th International Symposium on Dynamics of Vehicles on Roads and Tracks (IAVSD 2017), 14-18 August 2017, Rockhampton, Australia, pp. 1-6.

23. Yang Y., Wang C., Liu X., Liu Y., Lu W., Zhu Z., Yan H., Zhao G., Lin X. High-Precision Laser Monitoring System with Enhanced Non-Uniform Scanning for Railway Safety // Railway Engineering Science.bn,2024, doi 10.1007/s40534-024-00351-7.

24. Ефанов, Д. В. Функциональный контроль и мониторинг устройств железнодорожной автоматики и телемеханики : монография / Д. В. Ефанов ; Федеральное агентство железнодорожного транспорта, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения императора Александра I» (ФГБОУ ВО ПГУПС). - Санкт-Петербург : ПГУПС, 2016. - 171 с. - Текст : непосредственный

25. Принципы безопасного сопряжения с объектами в микропроцессорных системах железнодорожной автоматики / А. Б. Никитин, А. Н. Ковкин, В. А. Соколов, Н. А. Журавлева. - Текст : непосредственный // Автоматика на транспорте. - 2019. - Т. 5, № 2. - С. 186-201. - DOI: 10.20295/2412-9186-2019-5-2-186-201.

26. Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации : утверждены Приказом Министерства транспорта РФ от 23.06.2022. №250. - URL: https://company.rzd.ru/ru/9353/page/105104-?id=1827&ysclid=manrs2prih43218606 (дата обращения : 10.03.2025). - Текст : электронный.

27. Theeg G., Vlasenko S. Railway Signalling & Interlocking: 3ed Edition. - Germany, Leverkusen PMC Media House GmbH, 2020, 552 p.

28. Smith D.J., Simpson K.G.L. Functional safety: A Straightforward Guide to IEC 61508 and Related Standards: 2nd edition. - Butterworth-Heinemann, 2004,263 p.

29. Шубинский, И. Б. Функциональная безопасность систем управления на железнодорожном транспорте : монография / И. Б. Шубинский, Е. Н. Розенберг. - Вологда : Инфра-Инженерия, 2023. - 360 с. - ISBN 978-5-9729-1553-8. - Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: https://e.lanbook.com/book/347492 (дата обращения: 10.03.2025). - Режим доступа: для авториз. пользователей.

30. РТМ 32 ЦШ 1115842.01-94. Руководящий технический материал Безопасность железнодорожной автоматики и телемеханики. Методы и принципы обеспечения безопасности микроэлектронных СЖАТ. Разработчики Вл. В. Сапожников, В. В. Сапожников, Д. В. Гавзов, В. И. Талалаев, О. А. Наседкин, М. В. Илюхин, Д. М. Котельников, Санкт-Петербург, 1994. - 120 с. - Текст : непосредственный.

31. Методы построения безопасных микроэлектронных систем железнодорожной автоматики / В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Х. А. Христов, Д. В. Гавзов; под редакцией Вл. В. Сапожникова. - Москва : Транспорт, 1995. - 273 с. - Текст : непосредственный.

32. Кокурин, И. М. Интеллектуальная система управления движением поездов на основе автоматизации диспетчерского регулирования и центрального автоведения / И. М. Кокурин. - Текст : непосредственный // Автоматика на транспорте. - 2018. - Т. 4, № 3. - С. 305-314.

ОЦЕНКА ВИБРАЦИОННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ НА ОБЪЕКТЫ ГОРОДСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ ПРОГРАММНЫХ РЕШЕНИЙ

Рассмотрены вопросы разработки алгоритмического и программного обеспечения для автоматизированной оценки вибрационных воздействий транспортных потоков на инфраструктурные объекты, выполняемой на основе имитационного моделирования и экспертных знаний. Охарактеризованы особенности представления и интеграции данных натурных измерений вибраций на примере вибронагрузок, создаваемых движением поездов метрополитена.



О.В. Дружинина



К.Д. Степанов

Ключевые слова: вибрационные воздействия, транспортные потоки, моделирование, автоматизированная система, мониторинг

EDN: NAHBQA

Развитие городов неизбежно связано с увеличением транспортных потоков, что приводит к росту вибрационных нагрузок на окружающие здания и сооружения [1;2]. В настоящее время разработан и применяется целый ряд нормативных документов, связанных с теми или иными аспектами вибрационных воздействий [3;4]. Вибрации, возникающие в результате движения наземного, железнодорожного и воздушного транспорта, распространяются по различным средам, включая грунт, инженерные коммуникации и строительные конструкции. Их воздействие со временем накапливается и может привести к серьезным последствиям, начиная от появления трещин в стенах зданий и заканчивая снижением эксплуатационной надежности объектов инфраструктуры.

Транспортные вибрации оказывают существенное влияние на состояние зданий и сооружений, что подтверждается многочисленными исследованиями [5–7]. Одним из наиболее распространенных источников вибрационных нагрузок является метрополитен. Вибрации, передающиеся через грунт и конструкции, создают дополнительные динамические нагрузки на здания, расположенные вблизи линий метрополитена.

На рис.1 приведен пример, иллюстрирующий строительство новой линии метрополитена в существующей плотной застройке.

Железнодорожный транспорт также оказывает значительное вибрационное воздействие. Поезда, движущиеся по рельсовым путям, генерируют волны,

Дружинина Ольга Валентиновна, доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук, профессор кафедры «Транспортное строительство» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: теория устойчивости и математическое моделирование динамических систем, теория управления техническими системами, интеллектуальный анализ данных, совершенствование автоматизированных систем мониторинга и диагностики транспортных систем. Автор более 350 научных работ.

Степанов Константин Дмитриевич, соискатель кафедры «Транспортное строительство» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: управление строительными проектами, математическое моделирование, совершенствование автоматизированных систем мониторинга и диагностики транспортных систем. Автор 12 научных работ.



Рис. 1. Пример строительства линии метрополитена в существующей плотной застройке

которые распространяются по грунту и могут достигать зданий, находящихся в радиусе нескольких десятков метров. Долговременные наблюдения показывают, что в районах, прилегающих к железнодорожным путям, частота появления повреждений в зданиях выше, чем в более удаленных районах.

Наибольшую опасность представляют транспортные вибрации в густонаселенных районах, особенно вблизи станций метрополитена, железнодорожных магистралей и крупных автомобильных дорог. Дома, расположенные в этих зонах, испытывают повышенные динамические нагрузки, что приводит к ускоренному старению материалов и появлению структурных повреждений. Особенно уязвимыми являются исторические здания, которые изначально не были рассчитаны на такие нагрузки. В связи с этим возникает необходимость разработки современных цифровых инструментов, способных анализировать и прогнозировать вибрационные воздействия.

Существующие методы оценки вибрационных воздействий часто сосредоточены на локальных характеристиках и недостаточно учитывают сложные пространственные взаимодействия объектов инфраструктуры. Это приводит к снижению точности расчетов и прогнозов, особенно на стадии проектирования новых объектов или реконструкции существующих. Современные подходы требуют использования интегративных инструментов, способных моделировать и анализировать распространение вибраций с учетом характеристик среды и конструкций, что позволит повысить точность оценки и снизить риски.

В связи с этим актуальным направлением исследований является разработка цифровых инструментов для моделирования вибрационных воздействий. Такие инструменты должны обеспечивать: возможность прогнозирования воздействия вибраций на объекты инфраструктуры еще на стадии проектирования; учет сложных взаимодействий между элементами среды; применение современных методов анализа, таких как графовые модели и искусственный интеллект; высокую производительность и универсальность программного обеспечения для адаптации к различным сценариям и объектам.

Современные программные решения, которые можно использовать в рамках автоматизированных систем анализа вибрационных воздействий, можно условно разделить на три категории: специализированные коммерческие продукты, математические инструменты общего назначения и открытые платформы для научных исследований. Соответственно элементы каждой их указанных категорий обладают как преимуществами, так и ограничениями, что создает предпосылки для разработки новых, обладающих более удобным инструментарием и более производительных решений.

Наиболее известные коммерческие программные комплексы, такие как ANSYS и COMSOL Multiphysics, могут применяться для анализа вибрационных воздействий. Эти решения обладают инструментами для моделирования физико-механических процессов, включая распространение вибраций через грунты и конструктивные элементы зданий. Однако их высокая стоимость и сложность использования огра-

ничивают доступность для образовательных учреждений и небольших инженерных компаний. Кроме того, большинство из них не поддерживают адаптивное моделирование сложных систем взаимодействия нескольких объектов, что снижает их применимость в условиях городской застройки.

В число математических инструментов общего назначения входит часто используемый для построения математических моделей язык программирования высокого уровня Python с библиотеками для научных вычислений, такими как SciPy и NumPy [8;9]. Эти инструменты доступны и популярны, но возможности в интеграции методов графового моделирования и нечеткой логики требуют значительных усилий для создания кастомных решений. Кроме того, скорость выполнения операций на больших графах уступает специализированным языкам, таким как Julia [10;11], что особенно критично для анализа сложных систем в реальном времени.

Среди открытых платформ можно выделить OpenFOAM и FreeFEM, которые предоставляют широкий функционал для численного моделирования. Они позволяют реализовывать нестандартные алгоритмы и масштабируемые модели, но их использование требует глубоких знаний в области программирования и численных методов. Кроме того, большинство из этих решений не поддерживает визуализацию сложных графовых структур, что затрудняет анализ результатов.

Разработка инструментального обеспечения на языке Julia имеет ряд преимуществ. Она интегрирует графовое моделирование и методы нечеткой логики, что позволяет учитывать сложные взаимодействия объектов и проводить качественную оценку их состояния. Высокая производительность обеспечивается использованием языка программирования Julia и LLVM-компилятора, благодаря чему скорость выполнения операций сопоставима с высокопроизводительными библиотеками на C++. Кроме того, разработанное с применением Julia программное обеспечение отличается универсальностью и доступностью, легко адаптируется к различным сценариям использования и не требует значительных затрат на внедрение.

В рамках настоящей работы рассматриваются вопросы, связанные с разработкой инструментально-методического обеспечения, которое направлено на получение автоматизированной оценки вибронагрузок от поездов метрополитена на инфраструктурные объекты без привлечения численных методов, обычно используемых для расчета распространения вибраций, но с учетом построения гибридных моделей, основанных на графовом описании среды распространения вибраций. Математическое обеспечение для реализации предлагаемого подхода к оценке вибронагрузок описано в [12;13], а базовый элемент программного обеспечения представлен в [14].

В рассматриваемом случае этапы имитационного моделирования включают в себя: формирование графовой модели взаимодействий, задание входных параметров и начальных условий, расчет параметров вибрации, визуализация результатов. На этапе формирования графовой модели взаимодействий выполняется задание узлов и ребер графа на основе данных о структуре городской инфраструктуры (здания, грунты, оборудование), а также определяются характеристики каждого объекта, включая материал, возраст и вибрационную чувствительность.

Далее следует этап задания начальных условий, который включает определение параметров источников вибрации, таких как частота, амплитуда и длительность воздействия, а также учет временных задержек в передаче вибрации между объектами. В процессе расчета параметров вибрации для каждого узла вычисляются амплитуда и частота колебаний с учетом передаточных характеристик ребер, при этом параметры обновляются итеративно в течение заданного временного интервала. Расчеты выполняются с использованием данных о материалах конструкций, их возрасте, геометрии, а также с учетом характеристик среды. Завершающим этапом является визуализация результатов, включающая построение графиков динамики вибрации и генерацию графовой структуры взаимодействий, что позволяет выявить наиболее уязвимые зоны.

Архитектура графового метода представляет собой один из ключевых подходов для моделирования пространственных взаимодействий объектов инфраструктуры. В данной модели городская инфраструктура описывается в виде графа, где узлы представляют отдельные объекты (здания, грунт, источники вибрации), а ребра отображают связь между ними, характеризующую передачу вибрационных воздействий.

Основными элементами графовой модели являются узлы и ребра взаимодействия. Источник вибрации генерирует вибрационные колебания. Отражатель изменяет фазу сигнала, инвертируя его на 180 градусов. Поглотитель рассеивает часть энергии вибрации, не изменяя ее частотные и фазовые характеристики. Резонатор аккумулирует и усиливает вибрационное воздействие на соседние узлы. Терминатор представляет собой конечный узел, фиксирующий источник вибрационного воздействия. На рис. 2 представлен пример архитектуры графовой модели.

Таким образом, построение графовой модели происходит в три этапа: идентификация объектов инфраструктуры, определение взаимодействий, построение графа. На этапе идентификации определяются клю-

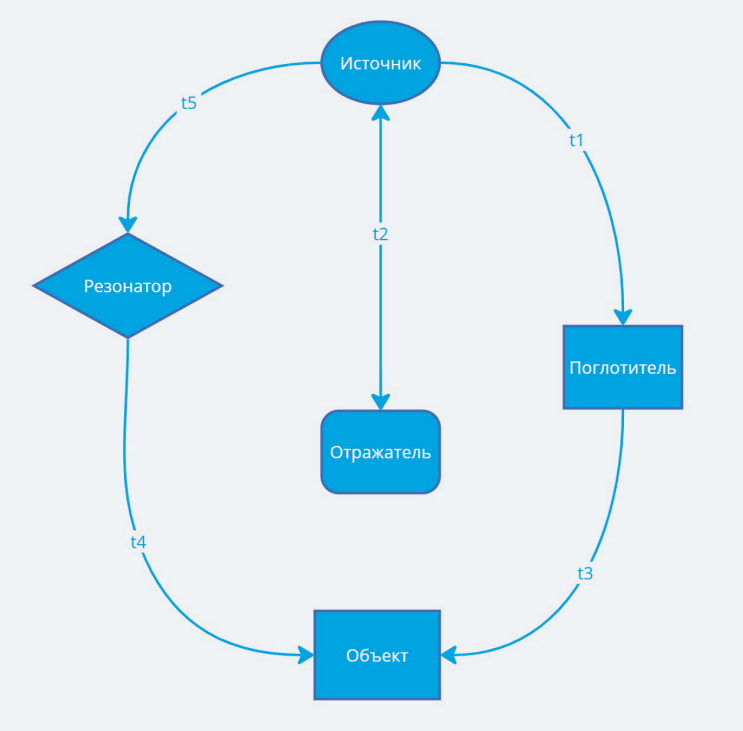


Рис. 2. Пример архитектуры графовой модели пространственных взаимодействий для оценки вибрационных воздействий

чевые элементы среды, подверженные вибрации, и задаются их характеристики.

Следующим этапом устанавливаются связи между узлами на основе их физического взаимодействия, вводятся параметры ребер, такие как коэффициенты передачи вибрации. На последнем этапе формируется граф, где узлы соединены ребрами с учетом топологии среды и взаимного расположения объектов. Используется матрица связности для упрощения расчетов.

Примеры параметров, используемых для построения графовой модели пространственных взаимодействий, приведены в табл. 1.

Преимущества применяемого метода, базирующегося на дискретном анализе и на имитационном моделировании, заключается в возможности масштабирования модели за счет добавления новых узлов и типов ребер, а также в возможности учета различных характеристик объектов, таких как виброакустический комфорт, прочностные параметры, демпфирующие свойства. Возможность интерактивного построения графов взаимодействий в зонах повышенной вибрации позволяет идентифицировать зоны с максимальной вибрационной нагрузкой. Этот метод имеет универсальный характер и подходит для анализа различных инфраструктурных сред, от жилых районов до промышленных зон.

Разработанные алгоритмы позволяют интерпретировать данные о вибрациях с применением правил нечеткой логики. Заключения формулируются с помощью качественной шкалы вибронагруженности сооружения (плохое, угрожаемое и хорошее состояние). В каждом узле графа предусмотрена реализация системы нечеткого вывода для оценки изменения таких параметров, как виброускорение и вибронагруженость сооружения соответственно.

Назначение разрабатываемой экспертной базы на основе нечеткой логики состоит в оценке состояния объектов инфраструктуры при воздействии вибрации. В рамках системы нечеткого вывода анализируются параметры с неопределенными или размытыми границами, такими как возраст конструкции, материал, амплитуда вибрации, и классифицируются состояния объектов по качественным категориям: «хорошее», «угрожаемое», «плохое». В рамках создания алгоритмического обеспечения используется нечеткий вывод Мамдани с учетом лингвистических переменных, правил вывода и механизмов интерпретации.

Созданный на основе нормативной документации и экспертных знаний набор базовых правил нечеткого вывода используется для оценки состояния объектов. Влияние амплитуды и возраста конструкции проявляется следующим образом: если амплитуда вибрации низкая, а возраст конструкции молодой, объект

Таблица 1

Параметры ключевых элементов графовой модели

Параметр	Описание	Диапазон значений
Амплитуда вибрации	Интенсивность колебаний	0–100 мм/с
Частота вибрации	Количество колебаний в секунду	1–200 Гц
Коэффициент затухания	Степень уменьшения амплитуды	0,1–1,0
Материал конструкции	Тип материала объекта	Дерево, металл, бетон
Возраст конструкции	Время с момента постройки объекта	0–100 лет
Временная задержка	Время передачи колебания между узлами	0,1–10 с
Состояние объекта	Оценка на основе нечеткой логики	Хорошее, угрожаемое, плохое

находится в хорошем состоянии. В случае высокой амплитуды и старого возраста конструкции его состояние оценивается как плохое. Материал конструкции также играет важную роль. Когда объект выполнен из бетона, а амплитуда вибрации средняя, его состояние считается угрожающим. Если конструкция деревянная и амплитуда вибрации высокая, объект находится в плохом состоянии. При сочетании нескольких характеристик учитываются материал, возраст и амплитуда вибрации. Например, если конструкция металлическая, имеет средний возраст и низкую амплитуду вибрации, ее состояние оценивается как хорошее. Если материал конструкции дерево, возраст старый, а амплитуда средняя, объект находится в угрожающем состоянии. Таким образом, использование правил нечеткой логики позволяет учитывать неопределенность и вариативность характеристик объектов при воздействии вибрации.

В рамках разработки системы для автоматизированной оценки вибронагрузок от транспортных средств учитывались примеры и полученные характеристики в ходе натурных испытаний (с учетом фактических уровней виброускорений и колебаний грунта), проводящихся в непосредственной близости от источника вибрации - действующих тоннелей метрополитена. При проведении измерений вибрации учитывается использование трехосевого акселерометра, регистрирующего среднеквадратичное ускорение в двадцати точках.

На момент проведения измерений на экспериментальном участке находились существующие здания, в которых также выполнялись замеры для определения коэффициентов передачи. Измерения проводились синхронно в нескольких точках по трем направлениям. Регистрировалось среднеквадратическое ускорение сигнала с интервалом интегрирования 1 с. Продолжительность измерений составляла до 15 минут, за это время фиксировалось не менее 10 проходов поездов метро.

На основе полученных спектрограмм виброускорений в момент движения поездов метрополитена под измерительной точкой сформированы характеристики, типичные для данного типа динамического воздействия. Вибрационные колебания, вызванные движением поездов метрополитена, длятся от 10 до 15 секунд, достигая наибольших амплитуд в октавных полосах со среднегеометрической частотой 31,5–125 Гц. Уровень колебаний грунта во время проезда поездов составляет 80–85 дБ, в то время как фоновый уровень в среднем на 25–30 дБ ниже.

На каждой выбранной точке наблюдения зафиксировано количество проездов метропоездов, варьирующееся от 8 до 15 раз за время измерений. Пример систематизации данных по уровням виброускорения представлен в табл. 2. В этой таблице, в частности, указаны наибольшие среднеквадратичные значения виброускорений, выявленные на поверхности грунта для каждой измеренной точки в течение всех наблюдений прохода поездов. При анализе использовалось секундное усреднение зарегистрированных данных.

Данные натурных измерений играют ключевую роль в формировании входных данных расчетного комплекса, обеспечивая его высокую точность и адаптивность к реальным условиям городской среды. Измеренные значения виброускорений позволяют калибровать параметры модели источников вибрации, корректируя амплитуду, частоту и характеристики затухания. Коэффициенты передачи вибраций, зафиксированные в разных средах, интегрируются в алгоритмы расчетов для обеспечения соответствия модели реальным условиям. Входные данные в ряде случаев следует подвергнуть предобработке, например, выявить аномалии в наборах данных, с применением методов интеллектуального анализа данных,

Таблица 2

Максимальные среднеквадратические уровни вибраций в точках измерения

Точка	Расстояние до источника в плане, м	Максимальные уровни виброускорений в точках измерений, Дб						
		2 Гц	4 Гц	8 Гц	16 Гц	31,5 Гц	63 Гц	125 Гц
1	37	–	58	61,1	79,1	81,9	67,6	–
2	25	–	60	66,5	78,4	82	75,5	–
3	37	–	58	66,7	78,6	81,5	68,5	–
4	5	–	60	72	91	90	82	–
5	7	–	60	66,8	91,2	90	84	–
6	37	–	60	66	79	83,9	75	–
7	21	–	60	66,4	90,8	90,3	83,3	–
8	37	–	60	66,5	78,4	82	75,5	–
9	5,5	–	56	68,7	87,9	90,7	84,5	–
10	8	–	61	69,3	85,7	89,8	82,5	–
11	25	–	58	66,5	78,4	82	75,5	–
12	25	–	58	66,5	78,4	82	75,5	–
13	21	–	60	70	91,2	90,1	80	–
14	34	–	60	67	80	84,9	76	–
15	33	–	60	66	79	83,9	75	–
16	87	–	60	67,1	81,5	80,7	66,7	–
17	91	–	60	68,6	80,1	81,7	67,7	–
18	70	–	58	65,1	80,9	79	62,9	–
19	70	–	58	64,9	80,5	78,5	62,5	–
20	113	–	60	66,7	79,5	75,5	61,8	–
Максимум:		–	61	72	91,2	90,7	84,5	–

например, с использованием нейросетевого моделирования [15;16].

На основе натурных данных выполняется расчет распространения вибрационных воздействий, что позволяет определить зоны наибольшего влияния с учетом геометрии застройки, расстояния до источника вибрации и состава грунта. В ходе моделирования учитываются динамические изменения среды, а также возможные вариации характеристик объектов, расположенных вблизи источников вибрации.

Валидация расчетных данных осуществляется путем сравнения прогнозируемых значений с фактическими результатами измерений, что дает возможность уточнить параметры модели и минимизировать расхождения. Такой подход позволяет адаптировать расчетный комплекс к различным типам городской инфраструктуры, учитывая конструктивные особенности зданий, плотность застройки и характер транспортных потоков.

Использование натурных данных также позволяет проводить оптимизацию виброизоляционных решений. Анализируя зоны с повышенным уровнем вибрационного воздействия, можно определить наиболее эффективные методы его снижения, включая упругие опоры, демпфирующие покрытия и антирезонансные конструкции. В расчетном комплексе моделируются сценарии с применением различных виброизоляционных технологий, что позволяет предварительно оценить их эффективность.

Прогнозирование вибрационного воздействия на новые объекты также базируется на натурных данных, позволяя адаптировать модель к конкретным условиям городской среды. Это дает возможность разрабатывать рекомендации по снижению вибрационной нагрузки уже на стадии проектирования, что особенно важно для планирования жилых, коммерческих и общественных зданий вблизи транспортных магистралей.

В основе алгоритмов разрабатываемого программного комплекса VibCalc для автоматизированной оценки вибронагрузок от транспортных средств лежат методы дискретного анализа, имитационного моделирования и нечеткой логики. Указанное инструментальное обеспечение направлено на формализацию схемы взаимодействия объектов при вибрационных возмущениях и на реализацию возможности оценивания вибрационных воздействий с учетом выбранной качественной шкалы.

Для разработки VibCalc выбран язык программирования Julia, который представляет собой высокоуровневый интерпретируемый язык программирования с динамической типизацией, который был создан специально для научных вычислений. Одним из ключевых принципов данного языка является обеспечение высокой производительности программного обеспечения. Как отмечается ведущими разработчиками, скорость выполнения операций с применением языка Julia сравнима с наиболее высокопроизводительными математическими пакетами и языками программирования.

Комплекс VibCalc, реализуемый с помощью Julia, предназначен для моделирования пространственного взаимодействия объектов инфраструктуры в условиях повышенного вибрационного воздействия. В рамках комплекса предусматривается построение гибридных математических моделей, основанных на графовом описании среды распространения вибраций, принципы которого изложены в настоящей статье. Программный комплекс позволяет масштабировать библиотеку объектов, добавляя новые типы компонентов с учетом специфики изучаемой среды.

Основные компоненты инструментально-методического обеспечения автоматизированной оценки вибрационных воздействий транспортных средств на инфраструктурные объекты представлены на рис. 3. Эти компоненты соответствуют основным блокам программного комплекса. В каждом блоке учитываются охарактеризованные в настоящей статье особенности построения и функционирования моделей пространственных взаимодействий элементов транспортной и строительной инфраструктур в зонах повышенной вибрации.

В рамках имитационного моделирования вибрационных воздействий алгоритмы рассчитывают параметры вибраций для каждого узла графа, включая частоту и амплитуду. Расчеты производятся для задан-



Рис. 3. Основные компоненты инструментально-методического обеспечения автоматизированной оценки вибрационных воздействий транспортных средств на инфраструктурные объекты

ного временного диапазона, что позволяет анализировать динамику вибрационных нагрузок. Выполняется интерпретация данных о вибрациях с применением правил нечеткой логики. С учетом возможностей визуализации осуществляется интерактивное построение графа взаимодействий, а также построение графиков виброускорений для каждого узла в зависимости от времени и частоты. Функционирование диагностического компонента приводит к получению автоматизированного заключения о степени вибрационного воздействия на объект и при необходимости к получению автоматизированного заключения об улучшении виброизоляции. К особенностям программного обеспечения относятся гибкость рассматриваемых моделей, компактность, производительность, масштабируемость, поддержка существующих стандартов.

Формализованная реализация взаимодействий между узлами графовых моделей допускает использование различных математических конструкций с дискретной и непрерывной структурой. Например, возможно использование систем обыкновенных дифференциальных уравнений. Программное обеспечение может быть использовано для выработки рекомендаций по улучшению виброизоляции и повышению запаса прочности конструкций в дополнение к автоматизированным системам, используемым в проектировании и строительстве.

В данной работе представлен ряд результатов разработки инструментально-методического обеспечения автоматизированной системы для моделирования и анализа вибрационного воздействия на объекты городской инфраструктуры. Проанализированы возможности представления и анализа данных натурных измерений виброускорений с учетом того, что интеграция результатов натурных измерений позволит повысить точность моделирования вибровлияния объектов.

Перспективой исследований является расширение функционала программного комплекса для автоматизированной оценки вибронагрузок, создаваемых транспортными средствами. В частности, актуальным направлением является интеграция с системами мониторинга в реальном времени, что позволит оперативно реагировать на изменения в городской среде и повышать безопасность транспортной инфраструктуры. Кроме того, учет дополнительных конструктивных параметров зданий, таких как наличие микроповреждений и особенности материалов, позволит повысить точность оценки их состояния и разработать более эффективные меры виброизоляции, необходимые для устойчивого развития городского транспорта.

Литература

1. Цукерников, И. Е. Измерения и анализ вибрации, вызванной движением поездов метрополитена на близлежащие здания, и разработка мероприятий по их снижению / И. Е. Цукерников, В. А. Смирнов. - Текст: непосредственный // Ученые записки физического факультета Московского университета. - 2017. - № 5. - С. 1751416. - EDN YPDDDC.

2. Райлян, Д. А. Прогноз уровней вибрационного воздействия и структурного шума при реконструкции станции Лобня МЦД-1 / Д. А. Райлян, В. И. Апатцев, Д. В. Климова. - Текст : непосредственный // Наука и техника транспорта. - 2022. - № 2. - С. 83-91. - EDN: QTEUAR.

3. ГОСТ 31191.1-2004 (ИСО 2631-1:1997). Вибрация и удар. Измерение общей вибрации и оценка ее воздействия на человека. Часть 1.Общие требования = Vibration and shock. Measurement and evaluation of human exposure to whole-body vibration. Part 1. General requirements : национальный стандарт Российской Федерации : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 12 декабря 2007 г. № 357-ст. : введен впервые : дата введения 2008-07-01 : разработан Открытым акционерным обществом «Научно-исследовательский центр контроля и диагностики технических систем» на основе собственного аутентичного перевода стандарта, указанного в пункте 4. - Москва : Стандартинформ, 2008. - 53 с. - Текст : непосредственный.

4. СП 465.1325800.2019. Свод правил. Здания и сооружения. Защита от вибрации метрополитена. Правила проектирования : утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 2 декабря 2019 г. № 756/пр.: введен 03.06.2019. - Москва : Стандартинформ, 2020. - 45 с. - Текст : непосредственный.

5. Дашевский, М. А. Концепция виброзащиты зданий и сооружений в поле строительных нормативов РФ / М. А. Дашевский, В. Л. Мондрус, В. В. Моторин. - Текст : непосредственный // Academia. Архитектура и строительство. - 2018. - № 4. - С. 109-115. - EDN: SRBZAD.

6. Прогнозирование вибрации рельсового транспорта в помещениях жилых и общественных зданий / И. Е. Цукерников, И. Л. Шубин, Т. О. Невенчанная, Л. А. Тихомиров. - Текст : непосредственный // Noise Theory and Practice. - 2023. - Т. 9. № 2 (33). - С. 82-93. - EDN: BJHSWZ.

7. Численный анализ вибрационного воздействия метрополитена на многоэтажное здание / Л. Г. Пастухова, В. Н. Алехин, А. А. Антипин [и др.]. - Текст : непосредственный // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. - 2016. - № 4 (31). - С. 72-78. - EDN: XHTQPJ.

8. Mckinney W. Python for data analysis, 2e: data wrangling with Pandas, Numpy, and Ipython. Boston: O Reilly, 2017.

9. Fuhrer C, Solem J.E., Verdier O. Scientific computing with Python 3. Packt Publishing, 2016.

10. Масина, О. Н. Использование высокоуровневых языков программирования для решения задач моделирования : учебное пособие / О. Н. Масина, А. А. Петров, О. В. Дружинина. - Елец : ЕГУ им. И. А. Бунина, 2023. - 98 с. - ISBN 978-5-00151-382-7. - Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: https://e.lanbook.com/book/393302 (дата обращения: 03.06.2025). - Режим доступа: для авториз. пользователей.

11. Bezanson J., Edelman A., Karpinski S., Shah V. B. Julia: A fresh approach to numerical computing // SIAM Review. 2017. V. 59. No. 1. P. 65-98.

12. Степанов, К. Д. Разработка алгоритмического обеспечения для оценки влияния вибрационных воздействий транспортных средств на объекты городской инфраструктуры / К. Д. Степанов, О. В. Дружинина. - Текст : непосредственный // Нелинейный мир. - 2023. - Т. 21, № 4. - С. 46-54. -EDN: TVTFHU.

13. Степанов, К. Д. Анализ моделей и разработка программного комплекса для оценки влияния вибрационных воздействий транспортных средств на объекты городской инфраструктуры / К. Д. Степанов, О. В. Дружинина, А. А. Петров. - Текст : непосредственный // Нелинейный мир. - 2024. - Т. 22. № 1. - С. 5-14. - EDN: PHKIHW.

14. Программа для ЭВМ «Программа для моделирования пространственных взаимодействий инфраструктурных объектов в зонах повышенной вибрации». Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025611332 от 17.01.2025 г./ Петров А. А., Степанов К. Д, Дружинина О. В. - Текст : непосредственный.

15. Хайкин, Саймон. Нейронные сети : полный курс : перевод с английского / Саймон Хайкин. - изд. 2-е, испр. - Москва ; Санкт-Петербург : Диалектика, 2019. - 1103 с. - Текст : непосредственный.

16. Сивицкий, Д. А. Анализ опыта и перспектив применения искусственных нейронных сетей на железнодорожном транспорте / Д. А. Сивицкий. - Текст : непосредственный // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. - 2021. - № 2 (57). - С. 33-41. - EDN EPTXTN.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ АЛГОРИТМЫ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ НА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГАХ КНР



С.Е. Иконников



Цзэчэнь Мао

В статье рассмотрены алгоритмы централизованного управления, применяемые на китайских железных дорогах, особенности их моделей с учетом действующих ограничений. Исследованы особенности структуры и результаты применения интеллектуальной системы управления движением поездов, построенной на основе централизованной автоматизированной диспетчерской системы.

Ключевые слова: управление движением поездов, система диспетчерского управления, уровни автоматизации

EDN: TFPABY

Железнодорожная система Китая, являющаяся крупной и сложной мировой сетью железнодорожного транспорта, в настоящее время переживает коренную трансформацию от «высокоскоростного роста» к «интеллектуальной модернизации». Согласно данным «Доклада о развитии железнодорожного транспорта Китая (2023)», национальная железная дорога в среднем обслуживает 10 500 пассажирских и 32 000 грузовых поездов в день, ежегодный пассажиропоток превышает 4 миллиарда человек, а грузооборот составляет 38 миллионов тонно-км, что в 8,2 раза больше, чем в США и в 5,7 раза больше, чем в Европейском союзе.

С учетом таких масштабов в традиционной модели управления железными дорогами возникает три основных противоречия:

1. Противоречие между ограниченностью ресурсов и взрывным ростом спроса на перевозки: интервал следования поездов на основных магистралях в часы «пик» приближается к физическому пределу (например, минимальный интервал на высокоскоростной железной дороге Пекин-Шанхай составляет 4 минуты).

2. Противоречие между экспоненциальным ростом сложности системы и надежностью ручного принятия решений: одному диспетчеру приходится обрабатывать более 2300 команд в день.

3. Противоречие между неоднородностью оборудования и согласованностью управления: вся железнодорожная сеть охватывает различные уровни оборудования для управления уровней автоматизации от CTCS-0 до CTCS-4 (CTCS - Chinese Train Control System).

Такие проблемы послужили толчком к революционным инновациям в интеллектуальной централизованной системе управления Китайской железной дороги.

Иконников Сергей Евгеньевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Управление и защита информации» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: автоматизированное и автоматическое управление в технических системах. Автор 93 научных работ.

Мао Цзэчэнь, аспирант кафедры «Управление и защита информации» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: интеллектуальные транспортные системы. Автор трех научных работ.



Рис. 1. Развитие систем диспетчерского управления железными дорогами в КНР

Как показано на рис. 1, китайская система диспетчерского управления железными дорогами прошла через три поколения технологического развития [1]:

• первое поколение (2000–2010 гг.): децентрализованное диспетчерское управление, реализующее информацию на уровне станции в электронном виде.

• второе поколение (2011–2020 гг.): предварительная интеграция системы CTC (Centralized Traffic Control) формирование двухуровневой структуры управления «центр-станция».

• третье поколение (2021 г. – по настоящее время): интеллектуальная централизованная система управления (i-CTC) глубоко интегрирует технологию искусственного интеллекта вещей AIoT (Artificial Intelligence of Things) и создает автономную систему принятия решений с синергией «центр–регион–станция».

Исследование по теме данной статьи посвящено главному прорыву в системах третьего поколения – алгоритмически определенной парадигме централизованного управления.

Методы управления движением поездов на железной дороге

Современная система управления движением охватывает 98% магистральных железных дорог Китая, ключевые показатели эффективности такой системы: минимальный интервал отслеживания, задержка команд планирования, способность прогнозировать конфликты, время реагирования на чрезвычайные ситуации; сравниваются по табл. 1 следующим образом.

Алгоритмы централизованного управления для железных дорог КНР

Алгоритмы пространственно-временного планирования основаны на положениях теории пространственно-временного разрешения конфликтов для следующего критерия эффективности принятия решений:

$$\min \sum_{i=1}^{N} \int_{t_0}^{t_f} \left[\alpha \left(v_i(t) - v_{ref} \right)^2 + \beta \frac{\partial u_i(t)}{\partial t} \right] dt , \qquad (1)$$

где $t \in [t_0, t_f]$ – t_0 – начальное время; t_f – заданное время;

Таблица 1

Ключевые показатели эффективности управления движением поездов

Показатель (Функция)	Традиционные методы (до 2010 года)	Интеллектуальная система управления (2023 год)
Минимальный интервал отслеживания	8 минут	3 минуты 45 секунд
Задержка команд планирования	120 секунд	0,8 секунды
Способность прогнозировать конфликты	Искусственное эмпирическое суждение	Предупреждение за 15 минут
Время реагирования на чрезвычайные ситуации	30 минут	2 минуты 15 секунд

$v_i(t)$ – переменные управления скоростью – обозначают скорость i-го поезда в момент времени t;

$u_i(t)$ – входные переменные управления, обозначают величину i - ускорения поезда (тяговая/тормозная команда);

v_{ref} – заданная скорость (скорость по расписанию);

$\frac{\partial u_i(t)}{\partial t}$ – производная от управляющего воздействия;

α, β – весовые коэффициенты;

α – коэффициент управления приоритетом пунктуальности (типовое значение 0,6);

β – коэффициент контроля потребления энергии (типовое значение 0,4);

N – число поездов на участке.

Указанный критерий функционирует с ограничительными условиями, включающими ограничения по расстоянию между поездами и ограничение по количеству поездов на линии.

Ограничения по расстоянию между поездами рассчитываются следующим образом:

$$\| \overrightarrow{p_i}(t) - \overrightarrow{p_j}(t) \| \geq D_{safe}(v_i, v_j), \quad (2)$$

где $\overrightarrow{p_i}(t)$ – координата «хвоста» впереди идущего поезда в реальном времени;

$\overrightarrow{p_j}(t)$ – координата «головы» сзади идущего поезда в реальном времени;

D_{safe} – динамическая дистанция безопасности, расчет которой производится на основе улучшенной модели безопасного расстояния, она должна быть больше или равна разности тормозных путей заднего и переднего транспортного средства с добавлением величины динамического запаса и определяется такой зависимостью:

$$D_{safe} = \frac{v_n^2 - v_{n-1}^2}{2b_{\max}} + \lambda \sigma_v t_{predict} + S_{base}, \quad (3)$$

где v_n – скорость заднего вагона в реальном времени (n-й поезд);

v_{n-1} – скорость предыдущего поезда в реальном времени (n-1-й поезд);

$t_{predict}$ – временное окно прогнозирования, т.е. диапазон времени, в течение которого система делает прогноз изменения скорости поезда на определенный период времени в будущем. Единица измерения – секунды (с);

$b_{\max}$ – максимальное замедление при торможении (1,5 м/с^2);

σ_v – стандартное отклонение скорости (полученной нейронной сетью LSTM- Long Short-Term Memory);

λ – фактор риска (с динамической поправкой, диапазон 0,8 – 1,2);

S_{base} – базовый запас безопасности.

Ограничение по количеству поездов на линии определяется как:

$$\sum_{k=1}^{M} \phi_k(t) \leq \phi_{\max}, \quad (4)$$

где $\phi_k(t)$ – фактическая пропускная способность железнодорожной линии;

$\phi_{\max}$ – максимальная пропускная способность железнодорожной линии;

M – максимальное количество поездов, которые могут одновременно находиться на железнодорожной линии в один и тот же момент или период времени.

Результаты внедрения современных методов управления движением поездов на железных дорогах в КНР

В настоящее время интеллектуальная система управления движением, построенная на основе централизованной диспетчерской системы, достигла эффективного использования ресурсов пропускной способности железнодорожной сети и обеспечения гарантии безопасности перевозок благодаря трехуровневому механизму замкнутого цикла: «принятие решений на основе данных, алгоритмическая динамическая оптимизация и точное исполнение команд напольными устройствами и оборудованием».

Китайская система управления железнодорожным движением основана на совместной архитектуре «центр – регион - станция» в качестве ядра, образуя трехуровневый механизм связи (рис. 2).

Центральный уровень принятия решений (облако) развернут в диспетчерском и командном центре China Railway Group, он объединяет данные 18 железнодорожных бюро по всей стране и создает цифрового двойника всей дорожной сети. Этот уровень обрабатывает 107 ежедневных диспетчерских инструкций с помощью кластеров квантовых вычислений и дискретизирует 150 000 км пути на 1,2×109 виртуальных единиц с помощью пространственно-временной модели сетки для динамического ценообразования ресурсов и прогнозирования конфликтов. Типичные примеры показывают, что этот уровень может завершить реконфигурацию схемы движения поездов, например, для всей высокоскоростной железнодорожной линии Пекин-Шанхай в течение 5 секунд.

Пограничные вычислительные узлы регионального исполнительного уровня (Edge) установлены в каждом железнодорожном бюро и оснащены чипами искусственного интеллекта Cambrian серии MLU для локализованного принятия решений в режиме реального времени. Синергия моделей между бюро достигается благодаря технологии национального обучения, например, железнодорожная группа Гуанчжоу и бюро Наньчан делятся опытом диспетчеризации проезда Юэ-Гань, что повышает пропускную способность зоны на величину свыше 20%. Задержка отклика пограничного уровня строго контролируется в пределах 500 мс для обеспечения своевременного устранения аварийных ситуаций.

На терминальном уровне обратной связи (бортовом/прирельсовом) интеллектуальный подвижной состав, оснащенный модулем связи 5G-R, в режиме реального времени загружает более 200 параметров, таких как позиционирование на уровне сантиметров (точность Beidou III ±10 см) и потребление энергии тяги. Сеть волоконно-оптических датчиков со стороны пути отслеживает деформацию пути с плотностью 1 узел на 200 м (точность 0,01 мм), частота выборки данных 10 Гц. Данные за 2024 год показывают, что коэффициент полноты загрузки данных на терминальном уровне достигает 99,992 %.

Для преобразования алгоритмической схемы рекомендаций в трехмерную пространственно-временную карту была разработана визуальная система поддержки принятия решений (VDSS). Диспетчеры могут перетаскивать временную шкалу, чтобы просмотреть состояние дорожной сети в ближайшие 15 минут и вручную корректировать весовые коэффициенты, чтобы вернуть их в модель для оптимизации в замкнутом цикле. Практика Бюро Чэнду показала, что система VDSS повышает эффективность принятия решений в сложных сценариях на 58% и сокращает цикл обучения новых диспетчеров на 42%.

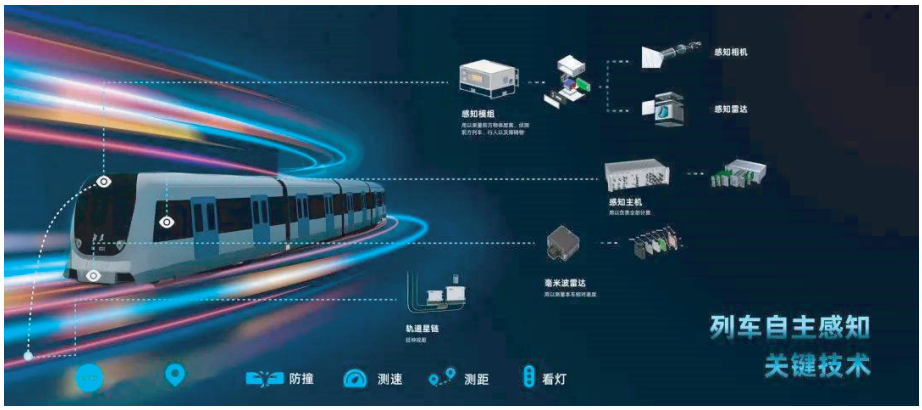


Рис. 2. Основные элементы управления движением поездов на железных дорогах в КНР

Заключение

Анализ показывает, что трехуровневая система управления железнодорожным движением обеспечивает реализацию большого объема перевозок на железнодорожном транспорте КНР.

Основой выбора решения при построении системы являлась выработка критерия качества управления, разработка имитационной модели линии, на которой апробировалось принятое решение.

Необходимыми дальнейшими решениями является совершенствование методов защиты информации в интеллектуальной системе управления.

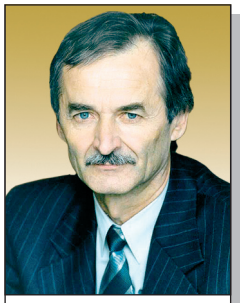
Работа выполнена за счет бюджетного финансирования в рамках государственного задания от 20.03.2025 № 103-00001-25-02.

Литература

1. Китайская национальная железнодорожная группа. Техническая спецификация системы управления движением поездов CTCS-3, 2022. - Текст : непосредственный.
2. Zhang et al. Hybrid MILP-MARL Framework for Railway Scheduling, IEEE T-ITS, 2023.
3. Liu, X. et al. Deep Reinforcement Learning for Emergency Handling in HSR, Transportation Research Part C, 2023.
4. White Paper on Intelligent Dispatch for Qinghai-Tibet Railway, 2021.
5. Wang et al. Оптимизация системы подвижных блоков с помощью NSGA-III, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2024.
6. Китайская академия железнодорожных наук. Белая книга по технологии чипов искусственного интеллекта для железных дорог, 2023. - Текст : непосредственный.

СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ В СИСТЕМАХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Рассматривается проблема структурных дисбалансов, возникающих на стадии проектирования железнодорожных станций и полигонов. Непосредственное устранение структурных ошибок потребовало бы серьезных материальных затрат. Авторы предлагают способ снижения негативных последствий дисбалансов технологическими способами. Эксперименты проводились на модели полигона, построенной с помощью имитационной системы ИМЕТРА.



П.А. Козлов



В.С. Колокольников

Ключевые слова: железнодорожная станция, полигон, технология, имитационное моделирование

EDN: JODYKE

При развитии железнодорожных станций и полигонов иногда возникают структурные дисбалансы. Причины могут быть разные – изменение в структуре потоков, ошибки при проектировании и др. Структурные изменения обычно – весьма дорогостоящие. Однако негативные последствия некоторых структурных дисбалансов могут быть снижены технологическими способами. В статье рассматривается случай, когда на нескольких станциях полигона недостаточно путей приема. Исследования производятся с использованием имитационной системы ИМЕТРА, созданной для моделирования больших полигонов [1–3].

Пусть на полигоне от Кузбасса до порта Усть-Луга на шести технических станциях закрывается по два пути приема. Технологические приемы могут быть разные. Скажем, уменьшение времени занятости пути обработкой состава в некотором смысле соответствует увеличению числа путей в парке. Ведь путь занимается не только технологическими операциями, но и задержками разной природы (рис. 1).

Это наглядно показывает имитационная система ИМЕТРА (рис. 2).

Здесь показаны только некоторые важные задержки. Но учитывается и недостаток путей приема на следующей технической станции.

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.

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

Тимухин Кирилл Максимович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Станции, узлы и грузовая работа» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС). Область научных интересов: имитационное моделирование и оптимизация железнодорожных станций, узлов и полигонов. Автор 32 научных работ.

Технологически легче всего уменьшить задержки из-за локомотивов и бригад пунктов технического обслуживания (ПТО). В экспериментах принят подход – увеличение бригад ПТО. Расчеты на модели выполнялись в следующей последовательности:

- первый расчет – существующее состояние,
- второй – на шести станциях закрываются по два пути в парках приема,
- третий – при закрытых путях на этих станциях увеличиваются бригады ПТО.

На рис. 2 показано исходное состояние ст. Лоста – расчет 1, на рис. 3 – расчет 2 – закрыты пути и расчет 3 – при закрытых путях добавлены бригады ПТО.

Расчет 1. Задержки из-за бригад составляют в среднем 21,2 мин/поезд. На предыдущей станции Паприха из-за путей приема ст. Лоста возникают задержки 12,9 мин/поезд.

Расчет 2. Задержки из-за бригад – 25,8 мин/поезд, задержки на ст. Паприха – 18,8 мин/поезд, то есть увеличились.

Расчет 3. Задержки из-за бригад уменьшились до 3,8 мин/поезд, задержки на ст. Паприха уменьшились даже по отношению к исходному состоянию, до 11,5 мин/поезд.

Наглядно эффект выглядит так (рис. 4).

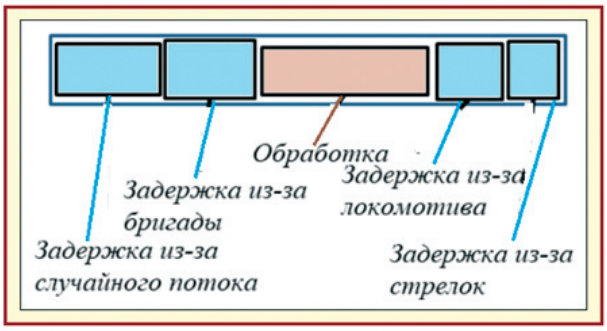


Рис. 1. Структурная занятость пути приема

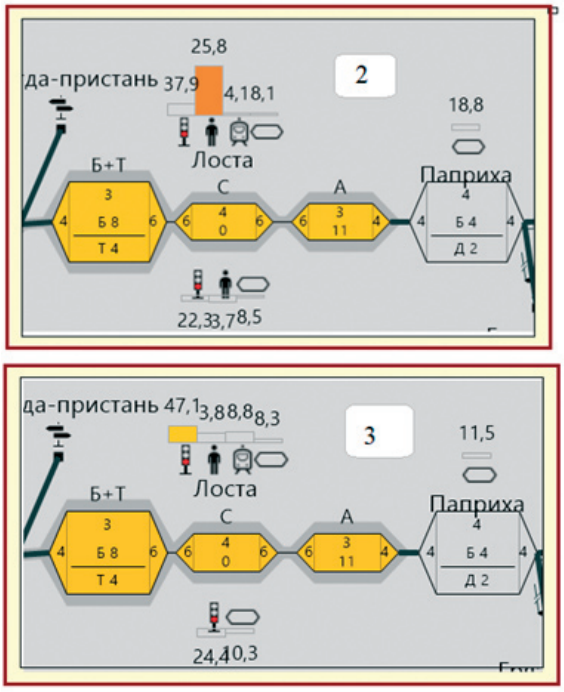


Рис. 3. Результаты расчетов 2 и 3 по ст. Лоста

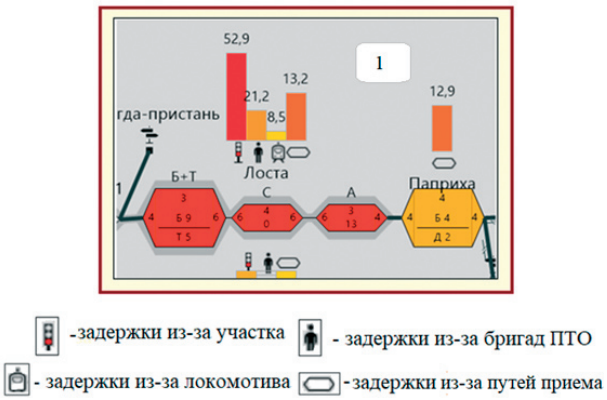


Рис. 2. Структурная занятость путей на ст. Лоста в модели системы ИМЕТРА

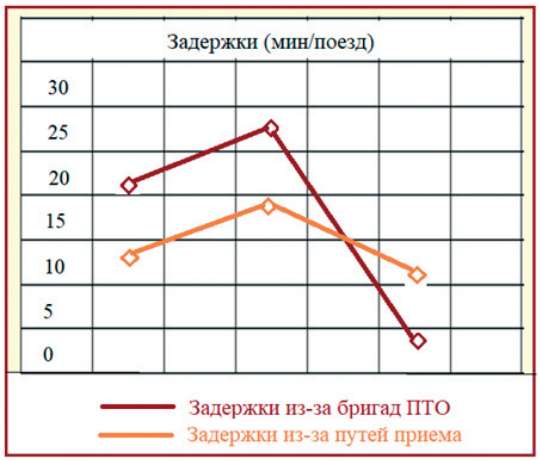


Рис.4. Графическое изображение изменения задержек на ст. Лоста

На исполненном графике движения (рис.5) можно увидеть большие простои поездов и на ст. Паприха и на ст. Лоста (расчет 2).

Аналогичная картина и на других станциях. Например, из-за путей на ст. Шарья возникают простои на четырех предыдущих промежуточных станциях (рис. 6).

В расчете 2 (закрыты пути) простои резко увеличились (рис. 7). А при добавлении бригад ПТО (рис. 7, расчет 3) задержки снизились, но исходного уровня не достигли.

Модель выдает суммарные задержки по всем типам поездов (рис. 8).

Наглядно на графике это выглядит так (рис.9).

Структурные дисбалансы отражаются и на скорости продвижения поездопотока. Это показывает изменение маршрутных скоростей по трем вариантам расчета (таблица). Участвующие в экспериментах станции относятся к Северной и Горьковской железным дорогам.

Вывод из всех экспериментах можно сделать следующий – технологическими мерами можно снизить негативный эффект от структурных дисбалансов.

Технологические мероприятия (в общем смысле, варианты организации перевозок), могут быть разными, в том числе:

- использование, так называемых, динамических резервов для ускорения оборота вагонов на малодеятельных участках [4],
- применение аппарата «бережливого производства» – картографирования, которое влияет на технологию многих циклов в перевозочном процессе [5],
- использования моделей оптимизации управления транспортным потоками [6],
- оптимизация управления вагонными парками [7].

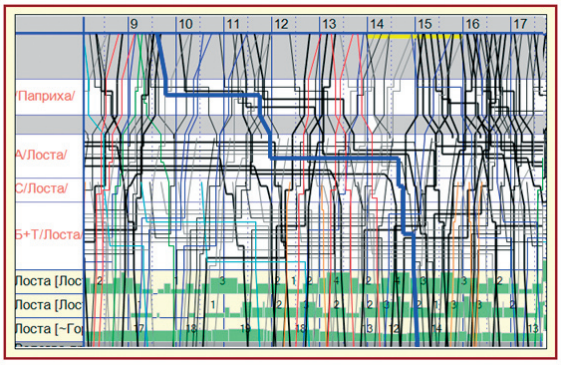


Рис. 5. Вырезка из графика движения полигона

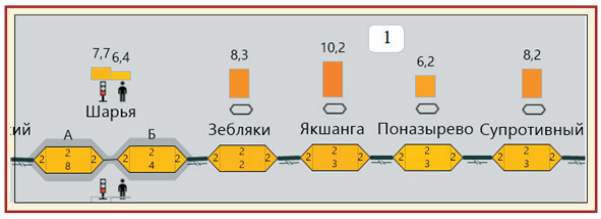


Рис. 6. Простои поездов на предыдущих станциях из-за ст. Шарья (расчет 1)

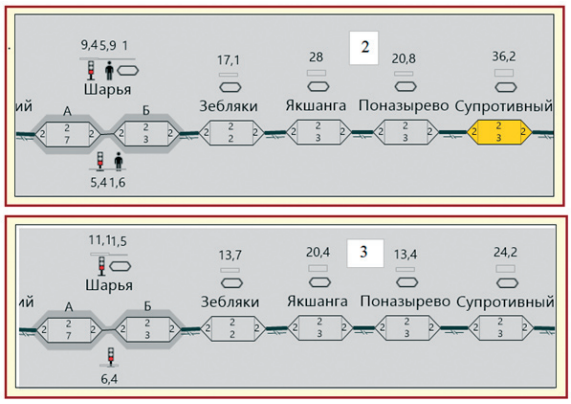


Рис. 7. Результаты расчетов 2 и 3 по ст. Шарья

подпроцесс	графически	в сутки	кол-во	на операцию
71 НЕЧ		1907:50	6823	0:16
66 НЕЧ		1490:09	5310,5	0:16
71 ЧЕТ		1169:58	7501,5	0:09
66 ЧЕТ		512:04	1514,5	0:20
58 ЧЕТ		465:49	1222,2	0:22
100 ЧЕТ		310:13	1587,2	0:11
58 НЕЧ		286:40	835	0:20
85 НЕЧ		76:58	276	0:16
100 НЕЧ		64:16	253	0:15

Рис. 8. Суммарные задержки поездов (цифры перед типом обозначают длину состава)

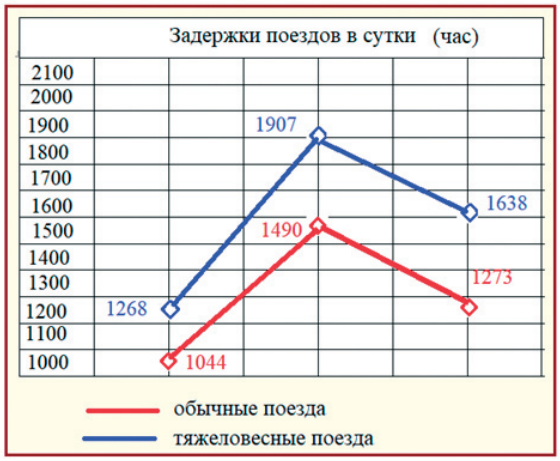


Рис. 9. Изменение задержек двух типов поездов в трех вариантах расчета

Таблица

Изменение маршрутных скоростей в трех вариантах эксперимента

СЕВЖД маршрутная (все)	27,05	37,89	31,32
СЕВЖД маршрутная (ТД)	35,35	40,83	38,27
	неч	чет	ср
СЕВЖД маршрутная (все)	25,45	37,47	29,99
СЕВЖД маршрутная (ТД)	31,35	35,15	33,60
СЕВЖД маршрутная (все)	25,71	37,91	30,49
СЕВЖД маршрутная (ТД)	32,85	34,19	33,59

ГЖД маршрутная (все)	29,37	29,18	29,28
ГЖД маршрутная (ТД)	29,27	33,53	31,97
	неч	чет	ср
ГЖД маршрутная (все)	24,67	31,25	27,38
ГЖД маршрутная (ТД)	31,49	30,73	30,95
ГЖД маршрутная (все)	25,65	33,63	28,96
ГЖД маршрутная (ТД)	28,11	32,44	30,96

Литература

1. Козлов, П. А. Моделирование международных транспортных коридоров / П. А. Козлов, В. С. Колокольников, Н. А. Тушин. - Текст : непосредственный // Транспорт Российской Федерации. - 2023. - № 1-2. - С. 32-37.

2. Бородин, А. Ф. Построение эффективных полигонов железнодорожного транспорта на основе имитационной экспертизы. - Текст : непосредственный // А. Ф. Бородин, П. А. Козлов, В. С. Колокольников, О. В. Осокин. - Текст : непосредственный // VII International Scientific Siberian Transport Forum, TransSiberia — 2019. - Volume 2. - №1116.

3. Козлов, П. А. Структурно-функциональная оптимизация больших полигонов железнодорожного транспорта / П. А. Козлов, В. С. Колокольников. - Текст : непосредственный // Транспорт Урала. - 2018. - № 3. - С. 3-7.

4. Тушин, Н.А. Динамические резервы ускорения оборота вагона на малодеятельных участках / Н. А. Тушин, К. М. Тимухин, Т. А. Смородинцева. - Текст : непосредственный // Транспорт Урала. - 2022. - № 2(73). - С. 59-64. - DOI 10.20291/1815-9400-2022-2-59-64. - EDN UEIZLR.

5. Mapping of processes of interaction of complex transport objects / V. V. Lesnykh, N. V. Yakushev, K. M. Timukhin, A. A. Koscheev // International Scientific and Practical Conference «Railway Transport and Technologies» (RTT-2021): Collection of conference materials. Volume 2624, Ekaterinburg, 24-25 ноября 2021 года. Vol. 2624, Issue 1. - USA: AIP PUBLISHING, 2023. - P. 040006. - DOI 10.1063/5.0132314. - EDN GWMPAZ.

6. Тимухина, Е. Н. Критерии эффективности при управлении транспортным предприятием / Е. Н. Тимухина, К. М. Тимухин. - Текст : непосредственный // Транспорт Урала. - 2024. - № 1(80). - С. 83-89. - DOI 10.20291/1815-9400-2024-1-83-89. - EDN VZNXUM.

7. Тушин, Н. А. Проблемы управления вагонными парками на современном этапе / Н. А. Тушин, Р. В. Писарева, К. М. Тимухин. - Текст : непосредственный // Наука и образование транспорту. - 2018. - № 1. - С. 127-130. - EDN VVWYWE.

НОВЫЕ ПОДХОДЫ К МОДЕЛИРОВАНИЮ И АНАЛИЗУ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ТРАВМАТИЗМА НА ТРАНСПОРТЕ

Представлены результаты анализа статистки производственного травматизма на автотранспорте по данным Государственной инспекции труда в Московской области. Построены усредненная модель сезонной компоненты временного ряда и модель возрастной составляющей с использованием программной среды Excel. Результаты могут быть использованы при проведении контрольно-надзорных мероприятий с целью профилактики и минимизации несчастных случаев на производстве.



А.Р. Муратова



М.В. Графкина

Ключевые слова: производственный травматизм, автомобильный транспорт, статистические данные, временные ряды

EDN: ISJZXQ

Основной задачей Государственной инспекции труда в Московской области является осуществление государственного надзора и контроля за соблюдением трудового законодательства и иных нормативных правовых актов, содержащих нормы трудового права в целях обеспечения защиты трудовых прав граждан, включая право на безопасные условия труда [1]. Для решения поставленной задачи инспекцией выполняется функция по расследованию в установленном порядке несчастных случаев на производстве и анализу их причины. Также разрабатываются предложения по профилактике и предупреждению выявленных случаев производственного травматизма. Автомобильный транспорт выполняет важнейшую социально-экономическую задачу по перевозке пассажиров и грузов. Работа на транспорте сопряжена со значительными профессиональными рисками. По показателям травматизма среди других видов экономической деятельности транспорт занимает 3–4 место [2–4]. Статистические данные о травматизме, их анализ и обработка являются основой для принятия взвешенных управленческих решений в области безопасности труда на пути к «нулевому» травматизму. До настоящего времени еще не найден механизм, обеспечивающий системный подход к сохранению жизни и здоровья экономически активного населения страны [5]. Разработка новых подходов к анализу травматизма и обработке статистических данных для моделирования тренда его показателей по различным факторам позволит выявить новые закономерности, позволяющие повысить эффективность контрольно-надзорных мероприятий и выработать необходимые меры по предупреждению травматизма и на автомобильном транспорте. Таким образом, исследуемая проблема является весьма актуальной.

В работе использовались такие методы исследования как теоретический анализ информационных источников и научных публикаций, систематизация полученных статистических данных, применение современных информационных технологий для моде-

Муратова Аделина Рустамовна, магистрант кафедры «Экологическая безопасность технических систем» Московского политехнического университета. Область научных интересов: производственная и экологическая безопасность.

Графкина Марина Владимировна, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Экологическая безопасность технических систем» Московского политехнического университета. Область научных интересов: производственная и экологическая безопасность. Автор около 200 научных работ.

лирования и формализации исследуемых процессов, описание для обобщения полученных результатов и др.

При анализе статистических данных производственного травматиза, связанных с эксплуатацией автомобильного транспорта Государственной инспекцией труда в Московской области за 2020–2024 гг. установлено, что из года в год на автомобильном транспорте остается высокий показатель несчастных случаев с тяжелыми последствиями, на втором месте находятся несчастные случаи со смертельным исходом (рис.1,а).

Выявлено также распределение показателей производственного травматизма в результате ДТП по времени суток (рис.1,б). Анализ показывает, что наибольшее количество происшествий происходит в период с 6:00–12:00 часов, значительное количество происшествий приходится на ночные и утренние часы в период 00:00–6:00 часов. Наименее травмоопасны для работников часы работы в периоды с 12:00–18:00 и 18:00–24:00 часов.

Анализ обстоятельств произошедших несчастных случаев показывает, что наибольшее количество пострадавших получили травмы при управлении транспортными средствами, на втором месте травматизм по пути на работу (с работы) на транспортном средстве, предоставленном работодателем (или сторонней организацией на основании договора с работодателем), на третьем месте – во время служебных поездок на личном транспортном средстве, на четвертом месте – при пешеходном передвижении во время работы, на пятом – во время служебных поездок (включая и в пути следования в служебную командировку) на общественном транспорте (рис. 2).

Более глубокий анализ причин производственного травматизма, имеющего высокие показатели, позволит выявить коренные причины и скорректировать контрольно-надзорные мероприятия и меры, принимаемые по улучшению условий труда и профилактике травматизма.

Представленные выше результаты анализа показателей травматизма осуществлены в традиционной форме, принятой в том числе и в отчетах Роструда. Хотя эти методы анализа являются достаточно информативными, все же пока не удается достичь нулевого травматизма. Новые методы обработки статисти-

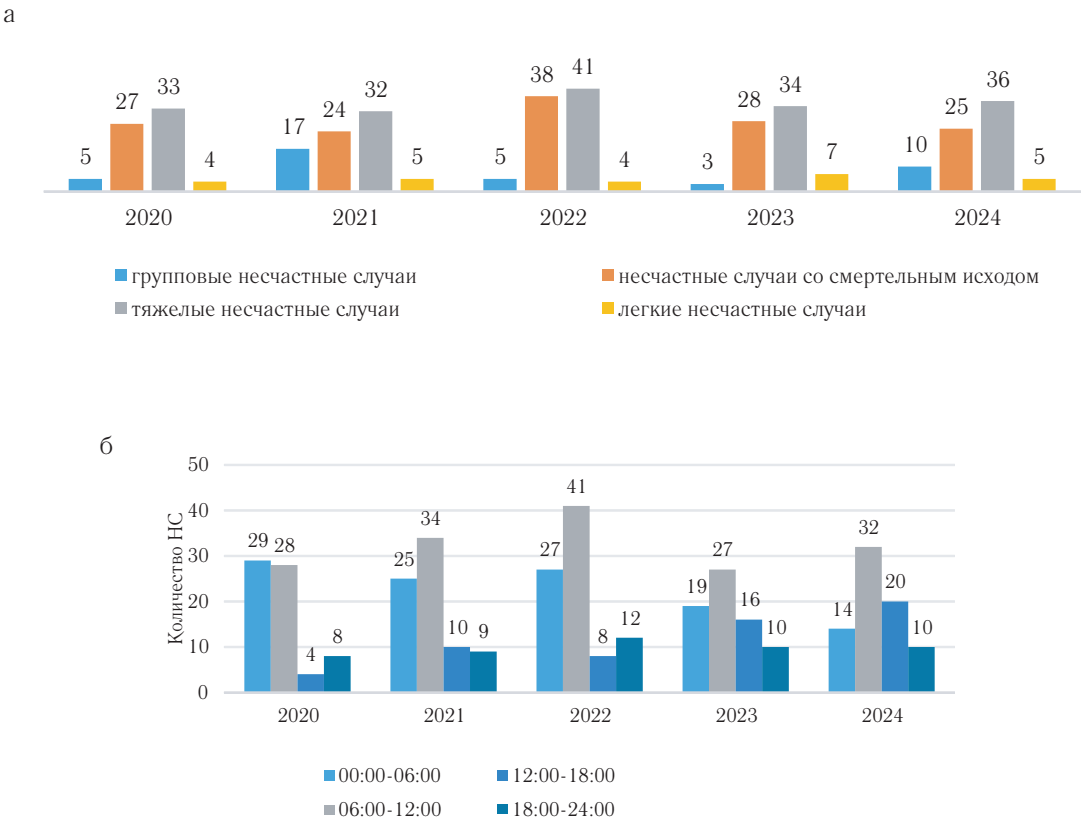


Рис. 1. Показатели производственного травматизма

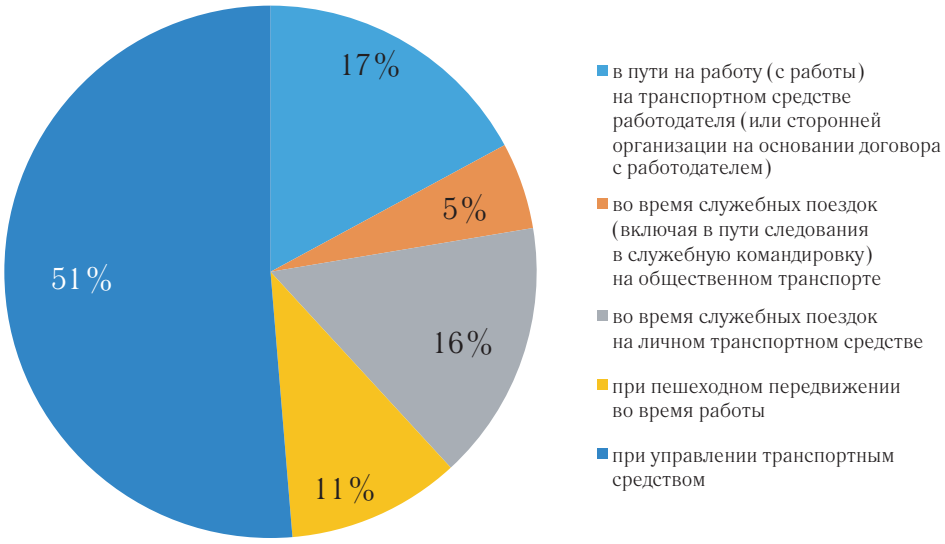


Рис. 2. Распределение показателей травматизма в зависимости от ситуации, в которой оказался пострадавший

ческих данных, анализа, моделирования, прогноза и оценки производственного травматизма позволят выявить новые закономерности, определить зоны (области) для более детального выявления причин и усовершенствовать технологию осуществления государственного надзора и производственного контроля за исполнением требований охраны труда.

Использование методов математической статистики и информационных программных продуктов (программа Excel) позволяет выявить эти закономерности в распределении показателей травматизма на основе анализа временных рядов [6–8]. При исследовании временных рядов $X_t = \{x(t_i)\}, i = 1,2,3,\ldots,n$ применяется аддитивная математическая модель, содержащая несколько составляющих:

$$x_i = d_i + \varepsilon_i = \underbrace{(tr_i + \nu_i + c_i)}_{d_i} + \varepsilon_i \quad (i = 1,2,3,\ldots,n).$$

В этой модели временной ряд рассматривается как сумма некоторой полностью детерминированной (неслучайной) последовательности $d_1, d_2, d_3, \ldots, d_n$, называемой систематической составляющей и случайной составляющей $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \ldots, \varepsilon_n$, имеющей некоторое распределение вероятностей. При этом систематическую последовательность $d_i = tr_i + \nu_i + c_i$ представляют в виде трех компонент (составляющих): тренда (tr_i), циклической компоненты (ν_i) и сезонной компоненты (c_i). Для анализа необходимо построить график временного ряда, позволяющий выявить наличие и характер систематической составляющей ряда и таких ее компонентов как тренд, циклическая и сезонная составляющие. Выявление систематической составляющей временного ряда проводится при его сглаживании. При сглаживании происходит замена фактических значений ряда x_i их расчетными значениями $\widehat{x_i}$. При этом происходит формализация исследуемого процесса, позволяющая определить его показатели и в отдаленные периоды. У расчетных значений наблюдается значительно меньшая флюктуация, чем у исходных фактических значений, также при сглаживании систематическая составляющая и тренд исследуемого процесса проявляются более наглядно. Сглаживание – это важное средство для аналитических методов выявления трендов.

В программной среде Excel для сглаживания временных рядов заложены и используются встроенные функции: «Скользящее среднее» и «Экспоненциальное сглаживание», входящие в Пакет анализа. Для сглаживания в Excel применяются простейшие математические модели: линейная, логарифмическая, полиномиальная, степенная, экспоненциальная.

Важнейшей классической задачей при исследовании временных рядов является выявление и статистическая оценка основной тенденции развития изучаемого процесса и отклонений от нее. На рис. 3 представлена полученная авторами усредненная модель сезонной компоненты временного ряда показателей травматизма на автомобильном транспорте, показывающая, что основные отклонения от усредненных показателей, приходятся на июнь и ноябрь. Для разработки эффективных предложений по профилактике и минимизации травматизма, и совершенствования методологии осуществления государственного над-

зора необходимо провести более детальный анализ причин травматизма в эти периоды.

Анализ показывает, что значительную долю ДТП составляют случаи, когда водители не учитывают особенности дорожного покрытия и погодных условий. Так, в ноябре 2024 г. основной причиной ДТП стала потеря контроля водителями над своими транспортными средствами. Например, 04.11.2024 г. в 02 ч. 15 мин. на Новорижском шоссе водитель не справился с управлением, тем самым столкнулся с бордюром и получил множественные травмы, относящиеся к категории тяжести – к несчастному случаю с тяжелым исходом. Резкие маневры, превышение скорости и недостаточная дистанция до впереди идущего транспорта могут привести к потере управления и серьезным авариям. Следует отметить, что в ноябре 2024 г. наблюдались гололедица и сильный ветер на территории Московской области (https://www.mentoday.ru/life/news/04-11-2024/v-moskve-i-podmoskove-gololed-i-silnyi-veter-do-15-m-s-ne-pereobutye-avtomobili-massovo-teryayut-upravlenie/).

В летний период, когда увеличивается интенсивность движения и температура воздуха, возрастает риск ДТП, связанных с ухудшением состояния здоровья водителей. Переутомление, тепловой удар и обострение хронических заболеваний могут привести к потере концентрации и внезапной потере сознания за рулем. Определено, что в июне основными причинами ДТП является внезапное ухудшение состояния здоровья пострадавшего. Например, 07.06.2024 г. в 15 ч 30 мин на территории Московской области в г. Люберцы, водитель, управляющий Chevrolet Cruze, почувствовал себя плохо, тем самым потерял контроль над управлением ТС, совершив столкновение с грузовиком, в последующем погиб до приезда скорой помощи.

Следует также отметить, что в июне в период 2021–2024 гг. фиксировались высокие максимальные температуры (соответственно +33°,+32°,+27°,+31°) (https://arhivpogodi.ru/arhiv/moscow/2024/06/srednesutochnaya-temperatura).

В этом случае для снижения аварийности необходимо усилить контроль за соблюдением правил дорожного движения, повысить качество подготовки водителей и проводить регулярные информационные кампании (предрейсовые инструктажи) о рисках, связанных с управлением транспортным средством в различных погодных условиях и состояниях здоровья. В настоящее время рассматриваются в Минтруде Правила по охране труда при работах в особых температурных условиях, воздействии климата и микроклимата, которые позволят сделать эту работу более эффективной [8].

Анализ возрастной составляющей с использованием временных рядов показывает (рис. 4), что за 2020–2024 гг. более 17% несчастных случаев произошло с работниками в возрасте 51–55 лет, 16% несчастных случаев приходится на возраст 36–40 лет, 15% – с работниками в возрасте старше 61 года. Указанные факторы обусловливают снижение способности представителей исследуемой возрастной группы к рациональной оценке динамически изменяющихся условий дорожной среды, а также к оперативному принятию решений, направленных на минимизацию риска возникновения ДТП в потенциально опасных ситуациях.

При анализе производственного травматизма, связанного с транспортными средствами, также выявлен разный взгляд на произошедшее событие правоохранительными органами (Госавтоинспекция МВД России) и органами исполнительной власти (Роструд). Госавтоинспекция МВД России рассматривает ДТП

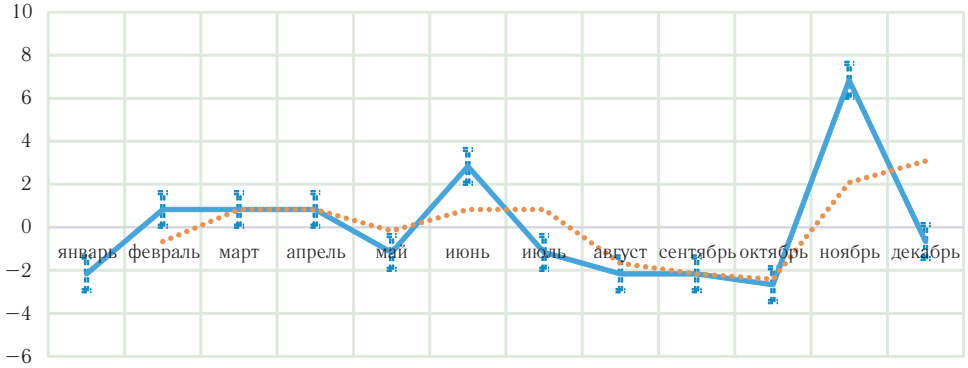


Рис. 3. Усредненная модель компоненты временного ряда показателей травматизма

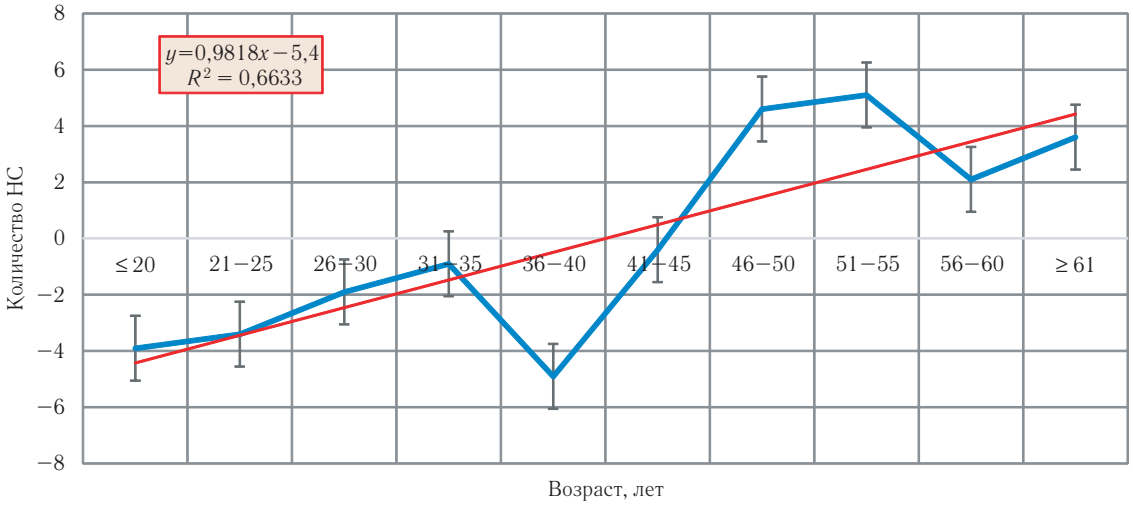


Рис. 4. Возрастная составляющая и линия тренда показателей травматизма

как событие, которое происходит при движении транспортных средств и при котором погибли или ранены люди, повреждены сами транспортные средства, сооружения, грузы либо причинен иной материальный ущерб. При этом анализируются и выявляются причины, связанные с действиями участников ДТП, нарушением Правил дорожного движения, техническим состоянием транспортного средства и др., что отражается в соответствующих протоколах. Роструд расследует и анализирует эти события, если они имеют отношение к производству, и выявляет причины несчастных случаев и лиц, связанных с нарушением требований государственных нормативных правовых и локальных нормативных актов, содержащих требования охраны труда, поэтому требуется более глубокий анализ для выявления коренных причин травматизма, связанного с транспортными средствами.

Исследование и анализ временных рядов, построенных с помощью современной программной среды Excel, позволяет выявить различные тренды показателей производственного травматизма, формализовать исследуемые процессы, выявить зоны (области) повышенного профессионального риска для работников, связанных с автомобильным транспортом и наметить меры по профилактике травматизма. На взгляд авторов целесообразно дальше вести исследования, направленные на совершенствование сбора, классификации, обработки статистических данных по производственному травматизму в органах государственного надзора. Полученные результаты будут способствовать принятию взвешенных решений по управлению охраной труда с целью минимизации несчастных случаев на производстве.

Литература

1. Государственная инспекция труда в Московской области: сайт. - URL: https://git50.rostrud.gov.ru/informatsiya_o_gosudarstvennoy_inspektsii_truda/polnomochiya_i_struktura_tor/1224257.html (дата обращения: 11.03.2025). - Текст : электронный.

2. Графкина, М. В. Анализ и профилактика производственных несчастных случаев, происшедших в результате дорожно-транспортных происшествий / М. В. Графкина, Н. А. Сафрина. - Текст : электронный // Организация и безопасность дорожного движения : материалы X международной научно-практической конференции, посвященной 85-летию со дня рождения д. т. н., профессора Л. Г. Резника. В 2 томах, Тюмень, 16 марта 2017 года. - Тюмень : Тюменский индустриальный университет. - С. 278-284.

3. Отчет о деятельности Федеральной службы по труду и занятости за 2023 г. - URL: https://rostrud.gov.ru/upload/Doc/Doc-rostrud/Rostrud2020_15May.pdf (дата обращения: 21.03.2025). - Текст : электронный.

4. Графкина, М. В. Некоторые аспекты статистики производственного травматизма на транспорте / М. В. Графкина. - Текст : непосредственный // Наука и техника транспорта. - 2021. - № 3. - С. 107-110.

5. Баранов, Ю.В. Актуальные проблемы в сфере охраны труда: анализ, оценки, решения / Ю. В. Баранов. - Текст : электронный // Социально-трудовые исследования. - 2021. - № 1 (42). - С. 64-74. - URL: https://cyberleninka.ru/article/n/aktualnye-problemy-v-sfere-ohrany-truda-analiz-otsenki-resheniya (дата обращения: 22.03.2025).

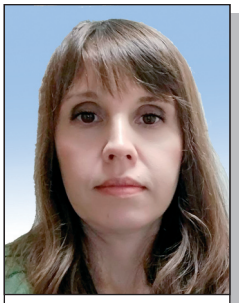
6. Канторович, Г. Г. Лекции: Анализ временных рядов / Г. Г. Канторович. -Текст : электронный // Экономический журнал ВШЭ. - 2002. - № 1. - С. 251-273. - URL: https://cyberleninka.ru/article/n/lektsii-analiz-vremennyh-ryadov-4 (дата обращения: 22.03.2025).

7. Карначёв, И. П. Использование статистических методов анализа временных рядов для прогнозирования некоторых показателей безопасности труда на предприятиях горно-промышленного комплекса Кольского Севера / И. П. Карначёв. - Текст : электронный // Экология человека. - 2009. - № 6. - С. 54-58. - URL: https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-statisticheskih-metodov-analiza-vremennyh-ryadov-dlya-prognozirovaniya-nekotoryh-pokazateley-bezopasnosti-truda-na (дата обращения: 22.03.2025).

8. Доработанный текст проекта Приказа Министерства труда и социальной защиты РФ «Об утверждении Правил по охране труда при работах в особых температурных условиях, воздействии климата и микроклимата». - URL: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/56858796/4 (дата обращения: 24.03.2025). - Текст : электронный.

9. Графкина, М. В. Использование современных информационных технологий для анализа и оценки производственного травматизма / М. В. Графкина, А. В. Майструк. - Текст : непосредственный // Вестник Технологического университета. - 2019. - Т. 22, № 10. - С. 104-107.

ФОРМИРОВАНИЕ МОДЕЛИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА РАБОТНИКОВ ТРАНСПОРТНОЙ ОТРАСЛИ



Д.В. Климова

В статье приводится описание модели обеспечения безопасности труда работников транспортной отрасли. Использование алгоритмов динамического анализа данных мониторинга состояния условий труда работников железнодорожного транспорта позволит расширить аппарат оценки условий труда и проводить адресное формирование системы профилактических мероприятий.

Ключевые слова: техносферная безопасность, нестационарное рабочее место, санитарно-бытовое обеспечение, условия труда, железнодорожный транспорт, мониторинг условий труда

EDN: GPDJYZ

За последние десятилетия транспортная отрасль претерпевает значительные изменения: обновляются станции, внедряются современные системы управления движением, все более активно используются цифровые технологии. Изменения активно влияют на увеличение пропускной способности железных дорог, уменьшение интервалов между поездами и повышение безопасности движения. Эксплуатационные подразделения железнодорожного транспорта представляют собой сложную производственную структуру. Их функционирование обеспечивается при четком соблюдении технологических процессов, расстановке работников и бригад, оперативном устранении причин возникновения опасностей для движения поездов.

Предотвращение возникновения инцидентов и аварийных ситуаций, которые, помимо сбоев в графике движения, могут нанести вред здоровью работников или принести ущерб окружающей среде, осуществляется на основе управления рисками на предприятии. Этот процесс основан на использовании разноплановых ресурсов (человеческих, материальных, финансовых, технологических) и эффективен при максимально полной идентификации рисков. В этом случае обеспечивается обоснованное планирование превентивных, управляющих, корректирующих и контролирующих мероприятий, создается основа выявления ключевых направлений совершенствования технологического процесса и обучения работников. Процесс управления рисками начинается с анализа потенциальных источников возникновения инцидентов. Собранная при этом информация используется в дальнейшем в анализе и оценке рисков на основе известных методик, таких как оформление матриц последствий и вероятностей, индекс риска, деревья событий и отказов, анализ видов и последствий отказов, метод «галстук-бабочка», анализ влияния человеческого фактора, оценки критических инцидентов, метод мозгового штурма, контрольные листы и т.п.

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.

В обязанности работодателя входит обеспечение безопасных условий труда для работников [1], чтобы они имели возможность выполнять свои трудовые функции без риска для здоровья и жизни. Мониторинг вредных и опасных факторов и инициирующих событий включает в себя оценку опасностей на основе анализа должностных инструкций, исполняемых работником трудовых функций, безопасности условий труда на рабочем месте, состоянии используемого оборудования, инструментов, состава бригад, схем выполнения работ, т.е. по сути различных факторов, влияющих на рабочее время работника и его безопасность. Информация о вредных и опасных факторах основана на данных о состоянии рабочей зоны, территории, зданий, сооружений, организации передвижений работников, мест выполнения работ и путей эвакуации, наблюдении за выполнением работниками порученной им работы и их действиями. Эта информация является исходной для прогнозирования возможных сценариев возникновения и развития опасной ситуации на различных этапах выполнения работ. Проведение специальной оценки условий труда начинается с этапа идентификации вредных и (или) опасных производственных факторов. При этом часть факторов производственной среды и трудового процесса идентифицируются как вредные и опасные факторы производственной среды при выполнении определенных условий согласно [2]. Результаты, полученные в ходе проведения специальной оценки условий труда на рабочих местах необходимо учитывать в случаях, перечисленных на рис. 1.

Сведения об условиях труда, результаты специальной оценки условий труда (СОУТ) и (или) производственного контроля условий труда у работодателя являются инструментом работодателя при идентификации опасностей. Не менее важен в процессе идентификации опасностей опыт практической деятельности работодателя, включая документирование расследования несчастных случаев и профессиональных заболеваний, микротравм, информацию об оказании работникам первой медицинской помощи на рабочем месте. В рамках системы управления охраной труда работодатель выявляет перечень вредностей и опасностей на рабочих местах, проводит оценку профессиональных рисков и на данной основе разрабатывает мероприятия по управлению профессиональными рисками и улучшению условий труда.

Эффективность наблюдения за факторами, влияющими на безопасность работника, зависит от системности предоставления специалистам по охране труда деятельности работников, включая взаимодействия между объектом анализа, влияющими на него факторами и обратной связи с различными компонентами анализируемой системы. В этом процессе идентификация потенциальных источников возникновения инцидентов и влияния вредных и опасных факторов на работников должна устанавливаться на основе понимания механизмов взаимодействия в производственной среде путем систематических наблюдений за деятельностью в реальных рабочих ситуациях. Составление «портрета» пострадавшего при несчастных случаях со смертельным исходом помогает в формировании системы превентивных мероприятий по снижению производственного травматизма. Кроме того, «портрет» пострадавшего может является подспорьем для работодателей и специалистов по охране труда в разработке превентивных мероприятий согласно рис. 2 [14].

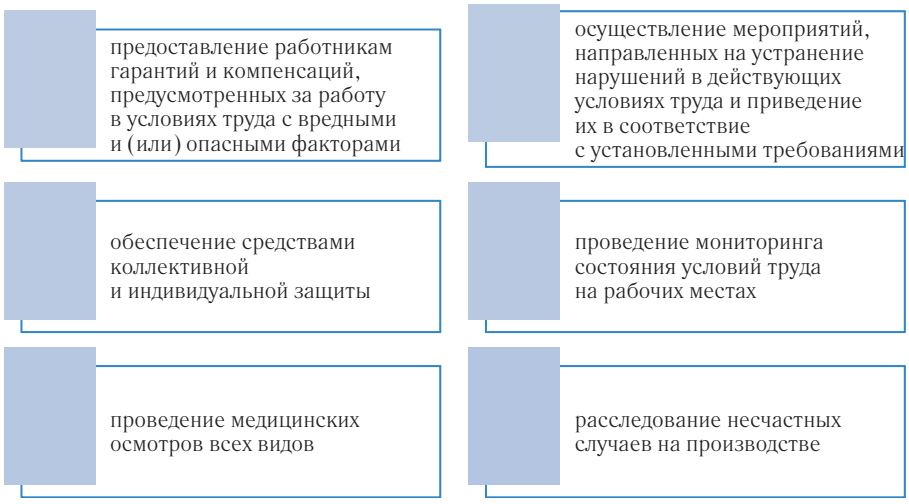


Рис. 1. Использование результатов СОУТ

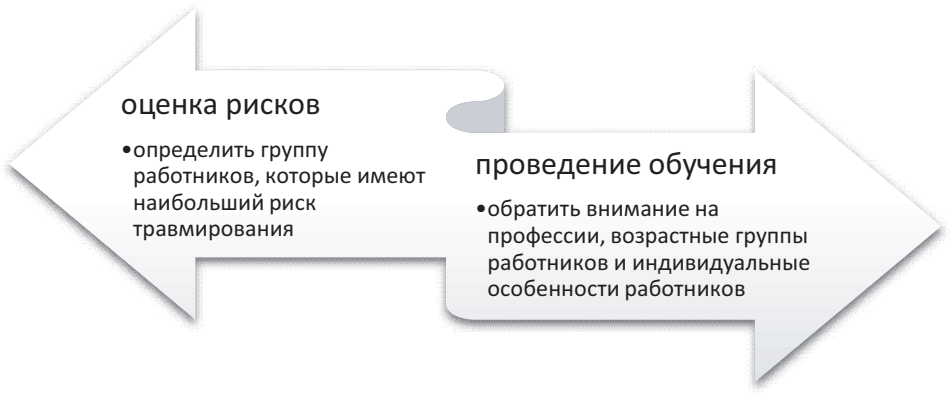


Рис. 2. Направления использования «портрета» нарушителя

В настоящее время инструментарий идентификации в управлении рисками заключается в наблюдении за условиями труда на рабочем месте как за статичным процессом, инструменты анализа профессиональных рисков позволяют увидеть только временные срезы состояния. Однако реальные факторы, влияющие на работника, в том числе со стороны окружающей среды носят строго динамический характер, они действуют постоянно и также постоянно изменяются. В результате из рассмотрения выпадает наблюдение за рядом важных параметров окружающей среды, что на практике приводит к росту профессиональных рисков. Риски по своей природе зачастую носят неявный характер, поэтому не учитывается ряд факторов в цепочке возникновения несчастных случаев и аварийных ситуаций.

В практической деятельности возникают ситуации, ведущие к инцидентам, когда работник выполняет действия, не прописанные в должностных инструкциях и инструкциях по охране труда. В результате влияющие на работника единовременно вредные и опасные факторы оказываются не учтены при проведении СОУТ и в результатах производственного контроля. Преодолеть этот разрыв видится возможным на основе регулярного мониторинга выполняемых работником действий. Переход к мониторингу за действиями работника в течение всей рабочей смены создаст условия для проведения полномасштабной идентификации факторов, влияющих на безопасность работников и позволит разработать модель для анализа безопасности труда.

Необходимо сосредоточить управление рисками на безопасности работника, как реципиенте риска, но при этом одним из главных источников возникновения инцидентов, т.е. рассматривать работника и его действия как неотъемлемый элемент системы «человек-машина-окружающая среда» с постоянно наблюдаемыми и анализируемыми параметрами взаимодействия элементов каждой из подсистем данной системы (рис. 3).

Наличие вредных и опасных факторов на рабочем месте, снижает правильность и безопасность выполнения работы, отклоняя действия работника от параметров идеальной модели безопасного поведения (модели, прописанной в нормативных документах) в соответствии со степенью вредности и опасности влияющих факторов. Влияние на работника каких-либо других факторов также ведет к небезопасному поведению, создавая отклонение его действий от эталона, это отклонение необходимо рассматривать как некое отвлечение внимания работника, т.е. реакцию на внешние раздражители, снижение концентрации работника на основной задаче.



Рис. 3. Подсистемы

Рассматривая влияющие на работника вредные и опасные факторы с позиций системного анализа методик исследования их воздействия и соответствующего измерительного оборудования можно условно разделить отклоняющие факторы на внутренние и внешние. Внутренними факторами могут быть личные проблемы (проблемы в семье, финансовые проблемы) или проблемы, связанные с работой. Внешние факторы обусловлены влиянием окружающей среды (шум, дискомфортные температурные условия, нетипичный характер работы).

На практике не существует двух абсолютно идентичных рабочих мест с абсолютно идентичными влияющими на работника факторами, поэтому и оцениваемые отклонения параметров состояния работников могут варьироваться (в том числе и незначительно). В реальных практических условиях влияние отдельных элементов окружающей среды на текущие действия работника оценить достаточно проблематично, но сочетание действующих факторов в течении рабочей смены становится уже заметно. Общеизвестно, что влияние вредных производственных факторов (шум, освещенность, температура окружающей среды) повышают усталость работников [3;23;27]. При этом исследования [29] показывают, что усталость влияет на восприятие ситуации работником, что, в свою очередь, снижает его безопасность и работоспособность. Следует также учесть, что разные люди воспринимают воздействие окружающей среды по-разному, это во многом зависит от индивидуального восприятия (например, небольшой ток может восприниматься всеми по-разному, от полного отсутствия ощущения до легкого болевого восприятия). В ряде работ [3; 7;8; 28] показано влияние факторов на восприятие получаемой информации людьми, их реакцию и выполняемые действия.

В модели безопасного поведения работника обозначим четыре основные подсистемы факторов, оказывающих влияние на работника, его поведение и психоэмоциональное состояние (рис. 4).

Необходимо выявить взаимосвязи в анализируемой системе и обозначить влияния и обратные связи между элементами и подсистемами. Общеизвестно, что эргономика, качество и расположение оборудования, а также состояние рабочей среды влияют на психофизиологическое состояние работника, его здоровье обеспечение безопасности труда и показатели работоспособности. Состояние работника влияет на используемое им оборудование и инструменты, от этого зависят процессы адаптации работника к условиям рабочей среды. Состояние рабочей среды влияет на состояние оборудования, показатели его надежности и безопасности, а также срок службы. Оптимальная конфигурация и компоновка оборудования, в свою очередь, помогают создать безопасные условия рабочей среды.

Использование систем автоматизированного мониторинга за параметрами среды и состоянием работника позволит адаптировать модель согласно измеренным данным о величине переменных параметров данной модели. Переменные состояния факторов вызывают отклонения поведения работника от безопасного поведения. К ним относятся личностные/когнитивные факторы (внутренние тенденции работников к небезопасному поведению) и условия, влияющие на работника извне.



Рис. 4. Подсистемы факторов, анализируемые в модели

Внутренние тенденции присущи конкретному работнику – это те качества, которые сформированы и зависят от физических и психологических особенностей. Исследовать и измерить их достаточно сложно, но современные методики уже обеспечивают достаточно серьезную базу регистрации физического и психологического состояния работников, их дальнейшего анализа с использованием методов экспертных оценок и анкетирования работников. Внешние факторы при определенных условиях влияют на поведение людей и даже частично его определяют (например, недостаток кислорода в помещении вызывает снижение работоспособности и концентрации внимания работника). Длительные неудобные позы, подъем тяжестей, силовые нагрузки, повторяющиеся движения создают нагрузку на опорно-двигательный аппарат работником. Например, усталость возникает при повторяющихся движениях в системе «кисть-предплечье», при частых или значительных напряжениях риск травмирования увеличивается.

Исследование влияния вредных и опасных производственных факторов на безопасность труда работников основано на традиционном аппарате санитарно-гигиенической оценки условий труда работников. По сути, это модель влияния окружающей среды на физическое и психическое здоровье работника, его сенсорный комфорт. Например, наличие света и его соответствие санитарно-гигиеническим нормативам является необходимым условием для выполнения человеком всех операций технологического процесса. Если работа выполняется в помещении, световая среда в основном зависит от искусственных источников света и их параметров, при этом может возникать зрительное переутомление. Свет оказывает влияние на биоритмы человека, метаболизм организма. Даже эмоциональное состояние человека зачастую зависит от освещенности и времени суток. Правильное использование естественного освещения смягчает негативное воздействие искусственного света на здоровье.

Трудовая деятельность работников при нахождении на объектах инфраструктуры железных дорог зачастую осуществляется в неблагоприятных микроклиматических условиях. Условия труда в регионах существенно различаются и имеют свою специфику в зависимости от географических и климатических условий. Одновременно работники находятся под влиянием шумового и электромагнитного загрязнения, источниками которых являются многие объекты железнодорожного транспорта [9;11;20]. Соответствующие исследования показывают, что при работе в условиях действия повышенных температур и при нахождении во влажной среде люди склонны к повышенной утомляемости, слабости, головокружениям, чаще возникают респираторные инфекции, так как нарушается теплообмен и снижается тепловой комфорт человеческого тела [26].

Как известно, профилактика неблагоприятных влияний на человека состоит в снижении воздействия вредных и опасных производственных факторов до безопасных уровней на основе их гигиенического нормирования [19]. Большинство установленных нормативов предельно допустимой концентрации, предельно допустимого уровня (ПДК, ПДУ) представляют собой установленные экспериментальным путем максимально допустимые величины [19]. Санитарные нормы установлены для изолированно действующих факторов и на практике очень сложно полноценно учесть сочетанный эффект одновременного влияния факторов различного происхождения. В ряде работ [19;29] отмечается снижение работоспособности, увеличение количества заболеваний при одновременном действии шума, вибрации и теплового влияния на организм работника. Установлено, что шум, электромагнитные поля влияют и на электрофизиологию человека [17;19;21].

В исследованиях достаточно часто упоминается о сочетанном воздействии физических факторов с вредными веществами [19;30]. Наиболее часто не только в производственной, но и в окружающей среде в целом встречаются различные пылегазовые композиции [10;19]. Работы, осуществляемые при обслуживании инфраструктуры путевого хозяйства, осуществляются во время кратковременных технологических окон. При работе магистральных тепловозов в атмосферу выделяются отработавшие газы, по составу аналогичные выхлопам автомобильных дизелей [6]. Достаточно большая развернутая длина железнодорожных линий имеет значительную степень загрязнения пылящими грузами [16]. В работах [19;28;30] отмечается, что совместное воздействие вредных производственных факторов отрицательно сказывается на функциональном состоянии организма в целом и в ряде случаев способствует развитию заболеваний профессионального характера, даже при малой и средней интенсивности влияющих факторов. Исследования [25] указывают на сильную взаимосвязь между психологическими факторами и состоянием опорно-двигательного аппарата работника, загрязнение воздуха увеличивает риск психических расстройств, у работника могут проявиться тревожность и раздражительность.

Оценивая сочетанное влияние неблагоприятных факторов рабочей среды, необходимо учесть, что при малых интенсивностях влияния, изменения в организме работников представляют собой незна-

чительные отклонения (нарушения) адаптационных механизмов. При продолжительных воздействиях и уровнях влияющих факторов, значительно превышающих гигиенические нормативы, адаптационные механизмы организма человека уже не справляются и возрастает частота профессионально обусловленных заболеваний. Изучение характера одновременного влияния факторов при сочетанном действии имеет чрезвычайно важное значение для гигиены труда [19]. В ходе выполнения трудовых действий оказывается нагрузка на дыхательную, выделительную, сердечно-сосудистую и нервно-психологическую системы организма работника. При нахождении работников на нестационарных рабочих местах необходимо автоматизировать мониторинг факторов, влияющих на безопасность труда работников (рис. 5).

На безопасность труда работника, его работоспособность и психологическое состояние существенно влияют и организационные факторы. Необходимо учесть различия в технологии, порядке выполнения работ, а также составе формируемых бригад. Если работник видит рациональную организацию системы управления, справедливость в оценке персонала и распределении заработной платы, компенсационных выплат, гармоничные межличностные отношения в коллективе, он воспринимает условия работы более позитивно, выполняет работу ответственно и дисциплинированно. Корпоративная культура, перспективы карьерного роста, внимание со стороны работодателя способствуют мотивации работников. Формирование культуры безопасности работников создает основу для совпадения целей работников и соответствия целям и задачам организации.

К группе факторов безопасности функционирования подсистемы «работник» отнесем факторы согласно рис. 6. Оценка физиологического состояния здоровья включает регистрацию отклонений давления, пульса и температуры работников, состояний усталости, головокружений, возникновения респираторных и иных видов заболеваний.

Качество оборудования, используемых в работе инструментов прямо или косвенно оказывают влияние на безопасность и здоровье работников, а также их работоспособность. Не меньшее влияние оказывают надлежащая установка и размещение оборудования в соответствии с действующими нормативными документами, что позволяет эффективно предотвращать опасности, снижать профессиональные риски. Обоснованное использование средств коллективной и индивидуальной защиты повышает физиологический и психологический комфорт работников [15;17;18]. Если работа проводится в закрытом помещении, то важен подбор оборудования (светильников, вентиляционного и вытяжного оборудования, оборудования для увлажнения или осушения воздуха, регулирования температуры, шумоподавления). С другой стороны, анализируя состояние производственного оборудования, в первую очередь на опасных промышленных объектах, необходимо обеспечить проведение мониторинга состояния элементов эксплуатируемого оборудования, измерение его параметров и сравнение с нормативными показателями.

Изменение факторов окружающей среды может быть обоюдно неблагоприятным, и для работников, и для оборудования. Например, влажная физическая среда ускоряет старение и выход из строя оборудо-



Рис. 5. Факторы влияния на здоровье работников

вания за счет коррозионных процессов, сокращает срок его службы и при этом увеличивает риски для здоровья и безопасности работников, создавая дополнительную нагрузку на органы дыхания. Чем хуже состояние оборудования, тем меньше его безопасность и эффективность и тем меньше удобства и комфортности оно приносит людям. Обозначим основные группы факторов безопасности функционирования подсистемы «оборудование» (рис. 7).

Традиционно используемая основа для выявления факторов, которые приводят к несчастным случаям и профессиональным заболеваниям, сводится к анализу результатов расследования несчастных случаев на производстве, статистики профзаболеваний, све-

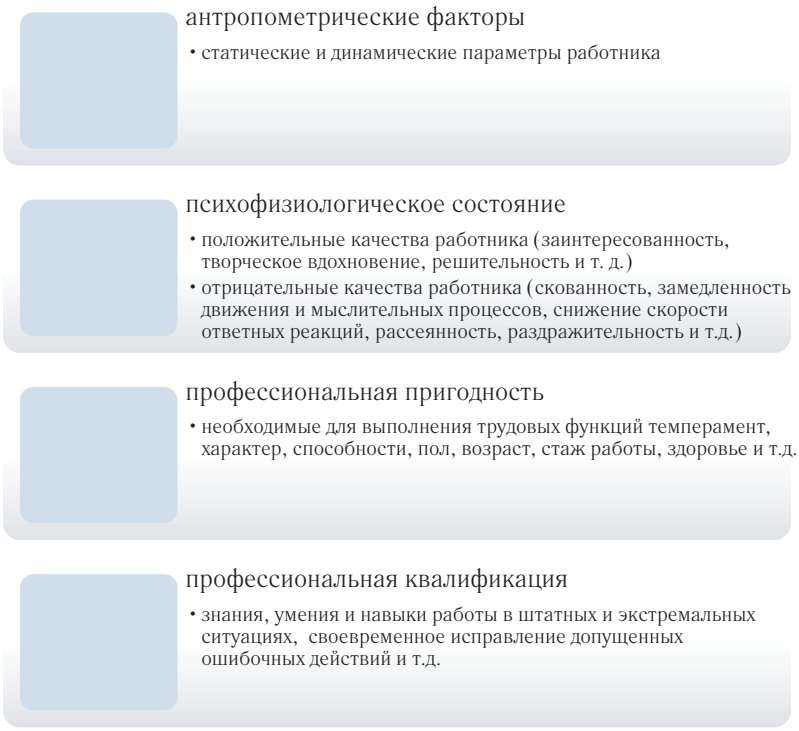


Рис. 6. Факторы подсистемы «Работник»



Рис. 7. Факторы подсистемы «Оборудование»

дений страховых организаций, данных СОУТ, оценки профессиональных рисков, результатов производственного контроля. Формирование системы профилактических мероприятий требует адресного направления согласно результатам анализа организации системы охраны труда и безопасности транспортной системы, а также возникающих в ней профессиональных рисков. Возможность совместного использования динамических алгоритмов анализа поведения элементов системы, влияющих на безопасность работника, с данными мониторинга цифровых платформ «РЖД» является основой для создания платформы оценки состояния транспортных систем и адаптированной реакции системы управления безопасностью на возникающие инциденты. Внедрение алгоритмов динамического анализа данных, получаемых путем мониторинга параметров системы «человек-машина-окружающая среда», позволит расширить данный аппарат.

Литература

1. Российская Федерация. Законы. Трудовой кодекс Российской Федерации: Федеральный закон от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. от 13.12.2024). - URL: http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=10207-4279. - Режим доступа: Электронный фонд правовых документов (дата обращения: 30.03.2025). - Текст : электронный.
2. Об утверждении Методики проведения специальной оценки условий труда, Классификатора вредных и (или) опасных производственных факторов, формы отчета о проведении специальной оценки условий труда и инструкции по ее заполнению (Зарегистрировано в Минюсте России 30.11.2023 № 76179): Приказ Минтруда России от 21.11.2023 № 817н. - URL: http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202311300-048. - Режим доступа: Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов (дата обращения: 30.03.2025). - Текст : электронный.
3. Денисов, Э. И. Шум на рабочем месте: ПДУ, оценка риска и прогнозирование потери слуха / Э. И. Денисов. - Текст : непосредственный // Анализ риска здоровью. - 2018. - № 3. - С. 13-23. - DOI 10.21-668/health.risk/2018.3.02. - EDN YCKCDZ.
4. Климова, Д. В. Особенности обеспечения безопасных условий труда на нестационарных рабочих местах работников железнодорожного транспорта / Д. В. Климова. - Текст : непосредственный // Наука и техника транспорта. - 2024. - № 1. - С. 88-96. - EDN UGXADB.
5. Климова, Д. В. Система управления безопасностью транспортного комплекса с учетом человеческого фактора / Д. В. Климова. - Текст : непосредственный // Системы управления, сложные системы: моделирование, устойчивость, стабилизация, интеллектуальные технологии : материалы IX Международной научно-практической конференции, Елец, 24-25 апреля 2023 года. - Елец : Елецкий государственный университет им. И. А. Бунина, 2023. - С. 66-70. - EDN OWDBCW.
6. Козлов, А. Д. Методы повышения экономичности и экологичности тепловозных двигателей внутреннего сгорания / А. Д. Козлов. - Текст : непосредственный // Актуальные вопросы современной науки : сборник трудов по материалам XIX Всероссийского конкурса научно-исследовательских работ, Уфа, 07 октября 2024 года. - Уфа : Общество с ограниченной ответственностью «Научно-издательский центр «Вестник науки», 2024. - С. 21-29. - EDN TQOFLB.
7. Кореневский, Н. А. Математическая оценка влияния электромагнитных полей промышленной частоты на иммунную систему человека / Н. А. Кореневский, А. А. Трусевич, А. Ю. Рыбаков. - Текст : непосредственный // Инфокоммуникации и космические технологии: состояние, проблемы и пути решения : сборник научных статей по материалам VIII Всероссийской научно-практической конференции, посвящённой 60-летию Юго-Западного государственного университета, Курск, 21-22 марта 2024 года. - Курск : Юго-Западный государственный университет, 2024. - С. 247-252. - EDN BPGUTJ.
8. Кочиева, Э. Р. Оценка действия на биологические объекты электромагнитных излучений промышленной частоты : специальность 03.00.32 «Биологические ресурсы» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук / Кочиева Элина Романовна. -Владикавказ, 2006. - 22 с. - EDN NKHUJF. - Текст : непосредственный.
9. Леванчук, Л. А. Использование существующих методов оценки профессионального риска для прогноза заболеваемости работников транспортной отрасли / Л. А. Леванчук, Е. Н. Дубровская, О. И. Копытенкова. - Текст : непосредственный // Проблемы гигиенической безопасности и профилактики нарушений трудоспо-

собности у работающих : материалы Всероссийской научно-практической интернет-конференции с международным участием, Нижний Новгород, 29-30 ноября 2023 года. - Нижний Новгород : Медиаль, 2023. - С. 66-70. - EDN MJFOAI.

10. Медведева, В. М. Экологическая безопасность объектов железнодорожного транспорта / В. М. Медведева, А. В. Матешева, М. В. Устинова; М-во транспорта Рос. Федерации, Рос. ун-т транспорта (МИИТ), Рос. открытая акад. транспорта. - Москва : РУТ (МИИТ): РОАТ, 2022. - 1 CD-ROM. - Загл. с титул. экрана. - Формат pdf, 214 с. - ISBN 978-5-7473-1110-7. — EDN DLOMXK. - Текст : электронный.

11. Медико-биологическая и экологическая безопасность транспортных систем / О. С. Сачкова, М. Ф. Вильк, И. А. Коновал [и др.]. - Москва : Всероссийский научно-исследовательский институт гигиены транспорта Роспотребнадзора, 2024. - 362 с. - ISBN 978-5-907450-74-5. - EDN PVFYZU.

12. Овсянников, В. Е. Разработка модели оценки влияния человеческого фактора на эффективность эксплуатации строительно-дорожных машин / В. Е. Овсянников, В. И. Васильев. - Текст : непосредственный // Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета. - 2020. - Т. 17, № 4 (74). - С. 476-486. - DOI 10.26518/2071-7296-2020-17-4-476-486. - EDN NKZLSK.

13. Подход к обработке параметров безопасности в системах поддержки принятия решений / А. А. Петров, Д. В. Климова, О. В. Дружинина, О. Н. Масина. - Текст : непосредственный // Прикладные проблемы системной безопасности : Материалы Всероссийской конференции с международным участием, Елец, 21-22 сентября 2023 года. - Елец : Елецкий государственный университет им. И. А. Бунина, 2023. - С. 60-63. - EDN JAONRC.

14. Поляков, А. В. «Портрет» пострадавшего при несчастных случаях со смертельным исходом / А. В. Поляков // Экономика труда. - 2023. - Т. 10, № 3. - С. 461-474. - DOI 10.18334/et.10.3.117434. - EDN HYMMHY.

15. Практическая техника безопасности на железнодорожном транспорте / В. А. Аксенов, Д. В. Климова, Е. А. Киселева, В. В. Самойлов; Москва : РУТ (МИИТ): РОАТ, 2024. - 1 CD-ROM. - Систем. требования. - Загл. с титул. экрана. - Формат pdf, 293 с. - ISBN 978-5-7473-1193-0. - EDN GITSDE.

16. Самойлов, В. В. Пути улучшения условий труда работников, связанных с перевозкой сыпучих грузов / В. В. Самойлов, О. С. Сачкова, В. И. Апатцев. - Текст : непосредственный // Наука и техника транспорта. - 2021. - № 1.- С. 78-81. - EDN CXQSEO.

17. Сачкова, О. С. Обеспечение санитарно-эпидемиологической безопасности работников транспортного комплекса / О. С. Сачкова, А. А. Кириллин, Д. В. Климова. - Текст : непосредственный // Наука и техника транспорта. - 2023. - № 1. - С. 101-112. - EDN VJTDZI.

18. Сачкова, О. С. Обеспечение эпидемиологической безопасности работников подвижного состава железнодорожного транспорта / О. С. Сачкова, О. И. Копытенкова, В. В. Шуреков. - Текст : непосредственный // Фундаментальные и прикладные аспекты анализа риска здоровью населения - 2024 : материалы всероссийской научно-практической интернет-конференции молодых ученых и специалистов Роспотребнадзора с международным участием, Пермь, 14-16 октября 2024 года. - Пермь : Федеральное бюджетное учреждение науки «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения», 2024. - С. 402-408. - EDN FXAULT.

19. Сочетанное действие на человека физических факторов различной природы / А. И. Сидоров, Е. В. Зыкина, А. В. Кудряшов, А. С. Калинина. - Текст : непосредственный // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. - 2018. - Т. 17, № 1. - С. 60-70. - DOI 10.15593/2224-9923/2018.1.6. - EDN YXHWMP.

20. Спирин, В. Ф. Труд на железнодорожном транспорте: риски для взрослых работников и подростков / В. Ф. Спирин, Ю. В. Елисеева, Н. Н. Пичугина // Медицина труда и экология человека. - 2022. - № 1 (29). - С. 133-143. - DOI 10.24411/2411-3794-2022-10109. - EDN LZIBJT.

21. Электротравма (обзор литературы) / Е. А. Жиркова, Т. Г. Спиридонова, А. В. Сачков, К. В. Светлов. - Текст : непосредственный // Неотложная медицинская помощь. Журнал им. Н.В. Склифосовского. - 2019. - Т. 8, № 4. - С. 443-450. - DOI 10.23934/2223-9022-2019-8-4-443-450. - EDN JTYQUM.

22. Boatca, M.-E., Draghici, A., Irimie, S. I., & Gajsek, B. (2025). Safety, health and comfort in the workplace: An innovative framework to support implementation of ergonomic interventions. Human Systems Management, 44(1), 59-68. https://doi.org/10.3233/HSM-230159 (Original work published 2025).

23. de Miranda Prottes, V., Oliveira, N. C., & de Oliveira Andrade, A. B. (2012). Ergonomic work analysis as a tool of prevention for the occupational safety and health management system. WORK, 41(S1), 3301-3307. https://doi.org/10.3233/WOR-2012-0597-3301 (Original work published 2012).

24. Eliasson K, Lind CM, Nyman T. Factors influencing ergonomists' use of observation-based risk-assessment tools. Work. 2019;64(1):93-106. doi: 10.3233/WOR-192972. PMID: 31450532; PMCID: PMC6839459.

25. Kadir A, Sunindijo RY, Widanarko B, Erwandi D, Nasri SM, Satrya BA, Sunarno SDAM, Atmajaya H, Yuniar P, Yuantoko TD, Qomariyah L, Maharani CF. Impact of Physical and Psychological Strain on Work-Related Musculoskeletal Disorders: A Cross-Sectional Study in the Construction Industry. Inquiry. 2025 Jan-Dec;62:469580251315348. doi: 10.1177/00469580251315348. PMID: 39885616; PMCID: PMC11783478.

26. Li, J., Guo, B., & Du, Z. (2024). Evaluation of orderliness of underground workplace system based on occupational ergonomics: A case study in Guangzhou and Chengdu metro depots. WORK, 78(3), 687-703. https://doi.org/10.3233/WOR-230017 (Original work published 2024).

27. Mahdinia M, Mohammadfam I, Aliabadi MM, Hamta A, Soltanzadeh A. Linking mental health to safety behavior in construction workers: The mediating effect of work ability and sleep quality. Work. 2022;73(2):579-589. doi: 10.3233/WOR-205256. PMID: 35938264.

28. Mahdinia M, Yarandi MS, Hosseinzadeh K, Fallah H, Hokmabadi R, Soltanzadeh A. Effect of environmental distraction on safety behavior: A path analysis approach. Work. 2025 Apr;80(4):1532-1540. doi: 10.1177/10519815241292149. Epub 2024 Nov 29. PMID: 40337817.

29. Mirzaei, E., Kouhnavard, B., Daneshmandi, H., Seif, M., & Zamanian, Z. (2024). Determining the effect of environmental factors, work postures and mental workload on musculoskeletal disorders in rescue workers and accidents of one of the water and sewage companies in Iran. WORK, 78(4), 969-981. https://doi.org/10.3233/WOR-220372 (Original work published 2024).

30. Rachman, M. (2021) The Impact of Work Stress and the Work Environment in the Organization: How Job Satisfaction Affects Employee Performance?. Journal of Human Resource and Sustainability Studies, 9, 339-354. doi: 10.4236/jhrss.2021.92021.

ОЦЕНКА ФАКТИЧЕСКОГО ПИТАНИЯ РАБОТНИКОВ РЕМОНТНО-ПУТЕВОГО КОМПЛЕКСА

Представлены результаты исследования состояния фактического питания и витаминно-минеральной обеспеченности рабочих, занятых ремонтом железнодорожного пути. Установлена разбалансированность рациона по основным нутриентам, выявлена низкая квота углеводов, дефицит незаменимых витаминов. С учетом оценки пищевого статуса разработана программа питания, направленная на обогащение рациона рабочих необходимыми нутриентами (витаминами и минералами), защиту организма от неблагоприятных условий производства, повышение работоспособности.



Ю.В. Пименова

Ключевые слова: монтеры пути, работники ремонтно-путевого комплекса, фактическое питание, меню-раскладка, пищевая ценность рациона, неблагоприятные производственные факторы

EDN: GUQKIF

Актуальной задачей обеспечения устойчивого развития экономики и технологической независимости Российской Федерации является повышение провозной способности железнодорожных магистралей. Благодаря реализации федерального проекта «Развитие железнодорожной инфраструктуры Восточного полигона железных дорог» производится модернизация действующей железнодорожной сети; реализуются строительство вторых путей, мостовых переходов, тоннелей, производится реконструкция станций. Все это позволяет повысить скорости движения поездов, продолжать комплексное развитие морских портов и железнодорожных подходов к ним, а значит способствует улучшению связанности центров экономического роста и наращиванию экспортных мощностей страны. При этом наиболее оптимальным способом организации строительства и реконструкции железных дорог остается работа в режимах закрытых перегонов, подразумевающая неизбежные длительные командировки персонала, проживание в служебно-технических вагонах на удаленном расстоянии от мест постоянной дислокации производственных баз [1]. Такой способ организации труда подразумевает высокие физические нагрузки в некомфортных метеоусловиях, продолжительные рабочие смены, неблагоприятные санитарные и социально-бытовые условия, включающие изолированность рабочих мест от населенных пунктов, что не всегда позволяет работникам самостоятельно организовывать питание, удовлетворяющее физиологическим нормам и потребностям. Как следствие, рабочий персонал полностью зависит от инфраструктуры, организованной работодателем в служебно-технических вагонах рабочих составов, включающей точки общественного питания (вагоны-столовые).

Учитывая изложенные особенности организации труда путевых рабочих, представляется актуальным изучение состояния фактического питания данной профессиональной группы во взаимосвязи с характером работы, климатогеографической дислокацией,

Пименова Юлия Владимировна, преподаватель Учебно-методического центра ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт гигиены транспорта» (ВНИИЖГ Роспотребнадзора), аспирант кафедры «Техносферная безопасность», преподаватель кафедры «Гигиена транспорта» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: железнодорожная гигиена, охрана труда, железнодорожный транспорт. Автор 11 научных работ.

сезонностью, рисками возникновения алиментарно-зависимых заболеваний в целях последующей разработки мероприятий (рекомендаций), направленных на корректировку рационов питания.

Цель исследования

Изучение и оценка фактического питания работников ремонтно-путевого комплекса (монтеров пути), занятых капитальным ремонтом и строительством железнодорожных путей общего пользования. Проводимые исследования включают изучение необходимой калорийности и качественного состава рациона работников путевого хозяйства, оценку обеспеченности организма рабочих витаминами, минеральными веществами.

Материалы и методы

Структуру, химический состав, калорийность и обеспеченность рационов витаминами, минеральными веществами исследовали методом расчета по меню-раскладке с помощью таблиц химического состава российских пищевых продуктов [2;3]. Оценку пищевой и биологической ценности рационов производили по показателям, регламентируемым физиологическими нормами [4]. Объектом исследования стали фактические 7-дневные летние и зимние рационы путевых рабочих, занятых на работах в трех климатогеографических зонах: Дальний Восток (область муссонного климата, зима характеризуется пониженной температурой −25°С, северо-западным ветром, для лета характерно большое количество осадков, высокая температура до +27 °С и влажность воздуха, туманы), Западная Сибирь (область континентального климата, характеризуется жарким летом и холодной зимой, резкими похолоданиями) и Центральная Россия (область умеренно континентального климата, характеризуется умеренно холодной зимой и умеренно теплым летом). Проанализировано всего 42 фактические меню-раскладки, с том числе 21 за наиболее жаркий (июль) и 21 за наиболее холодный (февраль) месяцы 2024 года.

Результаты и их обсуждение

Анализ результатов исследования рациона монтеров пути с количественной стороны показывает, что суточная калорийность питания в период интенсивной физической работы на перегонах находится в среднем в пределах 3610...3920 ккал – в летний период и 3300...3920 ккал – в зимний период года (табл. 1,2). Калорийность летнего суточного пищевого рациона преимущественно приближена к нормативным значениям, рекомендованным для лиц, занимающихся тяжелым физическим трудом, при этом выявлены колебания калорийности пайков в сторону превышения по каждой региональной дирекции, разброс отклонений от 6 до 40%. Суточный расход энергии для лиц, отнесенных к IV группе физической активности, может достигать 3800 и более ккал, поэтому некоторое превышение калорийности следует рассматривать как допустимое (см. рис. 1).

Величина калорийности пайков в зимний период в целом достаточна, незначительные превышения оправданы, поскольку расход энергии на адаптацию к пониженным температурам увеличивается. Обращает на себя внимание дефицит энергетической ценности рациона путевых рабочих на полигоне Московской ДРП, отклонение от физиологической нормы составляет 3–20%, среднесуточная калорийность питания 3300 ккал, что не соответствует суточному расходу энергии при усиленных физических нагрузках, особенно в условиях охлаждающего микроклимата (см. рис. 2).

Крайне важна оценка химического состава пищевых рационов работников путевого хозяйства. Серьезные физические нагрузки обуславливают специфические особенности протекания обмена веществ в организме человека. Известно, что для профессиональных групп, чья работа связана с большим расходом энергии (спортсмены, военнослужащие, металлурги, сотрудники предприятий добывающей отрасли и т.д.) питание должно иметь белково-углеводную ориентацию. Белок является «строительным» материалом для мышц, способствует развитию мускулатуры, повышает двигательную активность. Углеводы являются незаменимым источником энергии особенно при выполнении работ, требующих повышенной выносливости.

Физиологическими нормами [4] для рабочих IV группы интенсивности труда регламентировано оптимальное соотношение основных пищевых веществ Б:Ж:У (г) – 108:120:522, Б:Ж:У (%) – 12:30:58. Как показали исследования, среднесуточный рацион путевых рабочих характеризуется избыточным, реже удовлетворительным содержанием белков по сравнению с нормой на 3–57%, повышенным уровнем потребления жиров на 2–118% относительно нормы, углеводной недостаточностью (рис. 3, 4). Некоторое превышение потребления белка относительно рекомендуемых норм объясняется повышенным потреблением мясных продуктов и мяса в группе исследуемых.

В летнем пищевом рационе отмечается дефицит витамина А (37,5%), В1 (5,6%), В2 (14%), С (17,9%). При дефиците кальция (29,7%) содержание НЭ (ниацинового эквивалента) завышено в среднем на 53,2%.

Таблица 1

Расчетное потребление пищевых веществ и энергии путевыми рабочими, занятыми на полигонах Московской, Западно-Сибирской и Дальневосточной железных дорог в летний период года

Показатель	Потребление, г/сут (%)																							
	рекомендуемое [12]			расчетное																				
				1-й день			2-й день			3-й день			4-й день			5-й день			6-й день			7-й день		
	min	max	среднее	факт	±M±m	±%	факт	±M±m	±%	факт	±M±m	±%	факт	±M±m	±%	факт	±M±m	±%	факт	±M±m	±%	факт	±M±m	±%
Московская ДРП																								
Белки	102	114	108	**99,94**	-8,06	-7,46	**116,31**	8,31	7,69	**96,94**	-11,06	-10,24	**170,38**	62,38	57,76	**144,54**	36,54	33,83	**121,37**	13,37	12,38	**120,53**	12,53	11,60
Жиры	113	127	120	**108,13**	-11,87	-9,89	**113,89**	-6,11	-5,09	**129,25**	9,25	7,71	**126,1**	6,10	5,08	**153,86**	33,86	28,22	**111,5**	-8,50	-7,08	**130,87**	10,87	9,06
Углеводы	493	551	522	**408,77**	-113,23	-21,69	**434,64**	-87,36	-16,74	**294,21**	-227,79	-43,64	**475,34**	-46,66	-8,94	**389,46**	-132,54	-25,39	**416,22**	-105,78	-20,26	**462,34**	-59,66	-11,43
Энергетическая ценность, ккал/сут.	3400	3800	3600	**3299,3**	-300,70	-8,35	**3374,9**	-225,10	-6,25	**2834,6**	-765,45	-21,26	**4197,3**	597,30	16,59	**3823,2**	223,20	6,20	**4037,1**	437,12	12,14	**3705,40**	105,40	2,93
Западно-Сибирская ДРП																								
Белки	102	114	108	**119,86**	11,86	9,89	**107,03**	-0,97	-0,90	**106,78**	-1,22	-1,13	**162,84**	54,84	50,78	**130,48**	22,48	20,81	**148,54**	40,54	37,54	**112,12**	4,12	3,81
Жиры	113	127	120	**155,14**	35,14	22,65	**144,45**	24,45	20,38	**133,76**	13,76	11,47	**195,3**	75,30	62,75	**173,36**	53,36	44,47	**148,00**	28,00	23,33	**124,42**	4,42	3,68
Углеводы	493	551	522	**381,42**	-140,58	-36,86	**428,99**	-93,01	-17,82	**364,81**	-157,19	-30,11	**418,26**	-103,74	-19,87	**434,04**	-87,96	-16,85	**427,88**	-94,12	-18,03	**418,45**	-103,55	-19,84
Энергетическая ценность, ккал/сут.	3400	3800	3600	**3703,0**	103,04	2,78	**3827,2**	227,24	6,31	**3405,6**	-194,40	-5,40	**4470,1**	870,10	24,17	**4171,3**	571,29	15,87	**3984,2**	384,20	10,67	**3502,2**	-97,76	-2,72
Дальневосточная ДРП																								
Белки	102	114	108	**115,6**	7,60	7,04	**121,92**	13,92	12,89	**140,99**	32,99	30,55	**191,24**	83,24	77,07	**177,12**	69,12	64,00	**125,26**	17,26	15,98	**130,59**	22,59	20,92
Жиры	113	127	120	**98,71**	-21,29	-17,74	**51,03**	-68,97	-57,48	**129,8**	9,80	8,17	**149,85**	29,85	24,88	**172,56**	52,56	43,80	**140,01**	20,01	16,68	**80,925**	-39,08	-32,56
Углеводы	493	551	522	**434,71**	-87,29	-16,72	**488,31**	-33,69	-6,45	**379,84**	-142,16	-27,23	**539,29**	17,29	3,31	**611,23**	89,23	17,09	**411,02**	-110,98	-21,26	**420,06**	-101,94	-19,53
Энергетическая ценность, ккал/сут.	3400	3800	3600	**3370,70**	-229,30	-6,37	**3316,40**	-283,60	-7,88	**3659,10**	59,10	1,64	**4585**	984,95	27,36	**5035,90**	1435,90	39,89	**4174,70**	574,70	15,96	**3309,10**	-290,90	-8,08

Таблица 2

Расчетное потребление пищевых веществ и энергии путевыми рабочими, занятыми на полигонах Московской, Западно-Сибирской и Дальневосточной железных дорог в зимний период года

Показатель	Потребление, г/сут																							
	рекомендуемое [12]			расчетное																				
				1-й день			2-й день			3-й день			4-й день			5-й день			6-й день			7-й день		
	min	max	среднее	факт	±M±m	±%	факт	±M±m	±%	факт	±M±m	±%	факт	±M±m	±%	факт	±M±m	±%	факт	±M±m	±%	факт	±M±m	±%
Московская ДРП																								
Белки	102	114	108	**113,48**	5,48	5,07	**128,96**	20,96	19,41	**86,10**	-21,90	-20,28	**103,45**	-4,55	-4,21	**104,93**	-3,07	-2,84	**99,5**	-8,50	-7,87	**113,48**	5,48	5,07
Жиры	113	127	120	**131,97**	11,97	9,97	**262,76**	142,76	118,97	**159,23**	39,23	32,69	**152,98**	32,98	27,48	**119,08**	-0,92	-0,77	**142,27**	22,27	18,56	**131,97**	11,97	9,97
Углеводы	493	551	522	**439,91**	-82,09	-15,73	**220,50**	-301,50	-57,76	**268,72**	-253,28	-48,52	**272,94**	-249,06	-47,71	**309,07**	-212,93	-40,79	**307,07**	-214,93	-41,17	**439,91**	-82,09	-15,73
Энергетическая ценность, ккал/сут.	3400	3800	3600	**3495,00**	-105,00	-2,92	**3924,10**	324,10	9,00	**3210,45**	-389,55	-10,82	**3053,9**	-546,07	-15,17	**2872**	-728,05	-20,22	**3045,1**	-554,86	-15,41	**3495,00**	-105,00	-2,92
Западно-Сибирская ДРП																								
Белки	102	114	108	**131,20**	23,20	21,48	**113,34**	5,34	4,94	**144,71**	36,71	33,99	**138,97**	30,97	28,68	**140,66**	32,66	30,24	**149,45**	41,45	38,38	**98,20**	-9,80	-9,07
Жиры	113	127	120	**214,08**	94,08	78,40	**121,90**	1,90	1,58	**129,78**	9,78	8,15	**214,33**	94,33	78,61	**127,28**	7,28	6,07	**182,08**	62,08	51,73	**131,75**	11,75	9,79
Углеводы	493	551	522	**402,78**	-119,22	-22,84	**367,60**	-154,40	-29,58	**402,65**	-119,35	-22,86	**462,54**	-59,46	-11,39	**336,66**	-185,34	-35,51	**389,21**	-132,79	-25,44	**459,43**	-62,57	-11,99
Энергетическая ценность, ккал/сут.	3400	3800	3600	**4451**	851,04	23,64	**3330,95**	-269,05	-7,47	**3714,1**	114,14	3,17	**4703,4**	1103,35	30,65	**3314,50**	-285,50	-7,93	**4121,8**	521,80	14,49	**3795,89**	195,89	5,44
Дальневосточная ДРП																								
Белки	102	114	108	**141,05**	33,05	30,60	**137,57**	29,57	27,38	**138,54**	30,54	28,28	**112,7**	4,70	4,35	**153,82**	45,82	42,43	**150,76**	42,76	39,59	**110,34**	2,34	2,17
Жиры	113	127	120	**206,30**	86,30	71,92	**104,49**	-15,51	-12,93	**98,01**	-21,99	-18,33	**156,83**	36,83	30,69	**111,21**	-8,79	-7,33	**96,65**	-23,35	-19,46	**103,86**	-16,14	-13,45
Углеводы	493	551	522	**410,98**	-111,02	-21,27	**464,37**	-57,63	-11,04	**497,60**	-24,40	-4,67	**391,34**	-130,66	-25,03	**507,52**	-14,48	-2,77	**373,94**	-148,06	-28,36	**353,90**	-168,10	-32,20
Энергетическая ценность, ккал/сут.	3400	3800	3600	**4386,00**	786,00	21,83	**3691,00**	91,00	2,53	**4161,55**	561,55	15,60	**3786,7**	186,65	5,18	**4272**	671,95	18,67	**3432,5**	-167,50	-4,65	**3241,30**	-358,70	-9,96

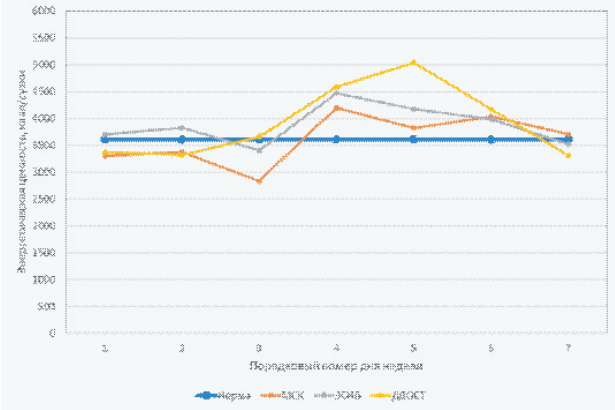


Рис. 1. Энергетическая ценность рациона путевых рабочих в летний период в разрезе полигонов железных дорог

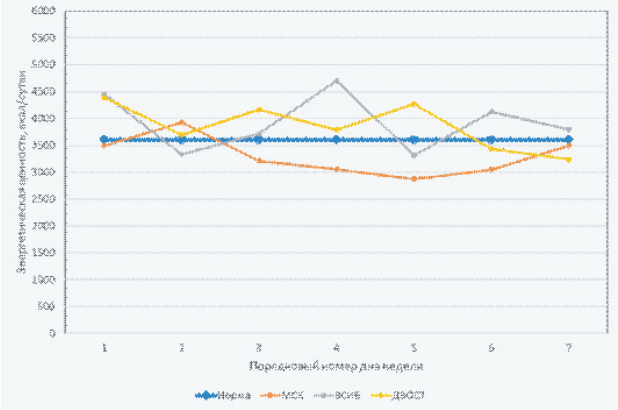


Рис. 2. Энергетическая ценность рациона путевых рабочих в зимний период в разрезе полигонов железных дорог

В зимнем пищевом рационе дефицит витаминов также имеет характер сочетанной недостаточности витаминов А (74,6%), В1 (7,3%), В2 (14,6%), С (14,8%). При дефиците кальция (26,2%) содержание НЭ (ниацинового эквивалента) завышено в среднем на 65%.

Анализ витаминного состава меню-раскладок показал, что количество основных витаминов ниже суточной нормы. Вызывает озабоченность дефицит витамина А, который незаменим для профессиональных групп, испытывающих повышенное нервно-эмоциональное напряжение, особенно при работах в вечерние и ночные смены, таких как работники путевого хозяйства, работники локомотивных бригад [5].

Установлено, что продуктовый набор рационов по трем структурным подразделениям вне зависимости от сезона и климатогеографических зон размещения характеризуется крайне низким количеством молочных продуктов и рыбы. Данный факт объясняет дефицит кальция в рационе исследуемой группы.

В настоящее время выдача молока рабочим на полигонах всех дирекций по ремонту пути заменена денежной компенсацией, что не противоречит [6]. Кисломолочные продукты не включаются в рационы или включаются крайне редко по ряду причин: ограниченный срок годности и хранения, недостаточная обеспеченность рабочих поездов холодильниками, невозможность организации специальных условий хранения, сложности организации надлежащих условий транспортировки скоропортящейся продукции к местам производства работ (перегоны часто находятся на значительном удалении от населенных пунктов, в труднодоступной местности), лактозная недостаточность (непереносимость) большинства взрослого населения, способствующая желудочно-кишечным расстройствам.

Сравнительный анализ летнего и зимнего рационов питания показал, что сезонность существенно не влияет на структуру меню, общий калораж пайков, выбор продуктов для составления полноценного рациона. Важно, что в соответствии с [4] энерготраты лиц, трудящихся в условиях Крайнего Севера, возрастают на 15% и соответственно возрастают потребности в основных нутриентах (белках, жирах и углеводах). Так, для работников полигона Дальневосточной ДРП, осуществляющих работы в местностях, приравненных к районам Крайнего Севера (г. Комсомольск-на-Амуре, Ванино, Тында и др.) необходимо привести калорийность рациона в соответствие с физиологическими нормами и требованиями законодательства [7].

Потребность работников в питьевой воде, прежде всего, связана с энергетическим обменом, а также с интенсивностью потери жидкости организмом, которая зависит от условий окружающей среды (температура, относительная влажность и скорость движения воздуха, атмосферное давление) и уровня физической активности. Для путевых рабочих, чей коэффициент физической активности (КФА) равен 2,2, рекомендуемые нормы потребления воды и напитков, способствующих поддержанию водного баланса организма, находятся на уровне 2,1–2,2 литра в сутки [4]. В условиях повышенной влажности муссонного климата Дальнего Востока, повышенных температур в летний период в других климатогеографических зонах при интенсивных физических нагрузках может быть рекомендовано увеличение потребления воды, включение специализированных напитков, обогащенных витаминами и минералами. В этой связи представляет

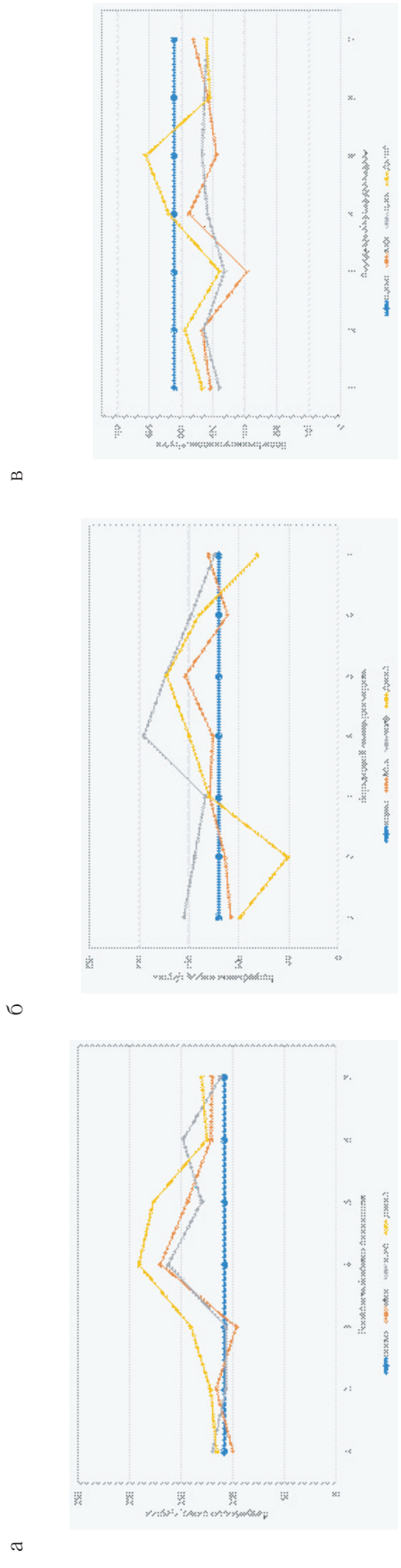


Рис. 3. Содержание белков (а), жиров (б) и углеводов (в) в рационе путевых рабочих в летний период в разрезе полигонов железных дорог

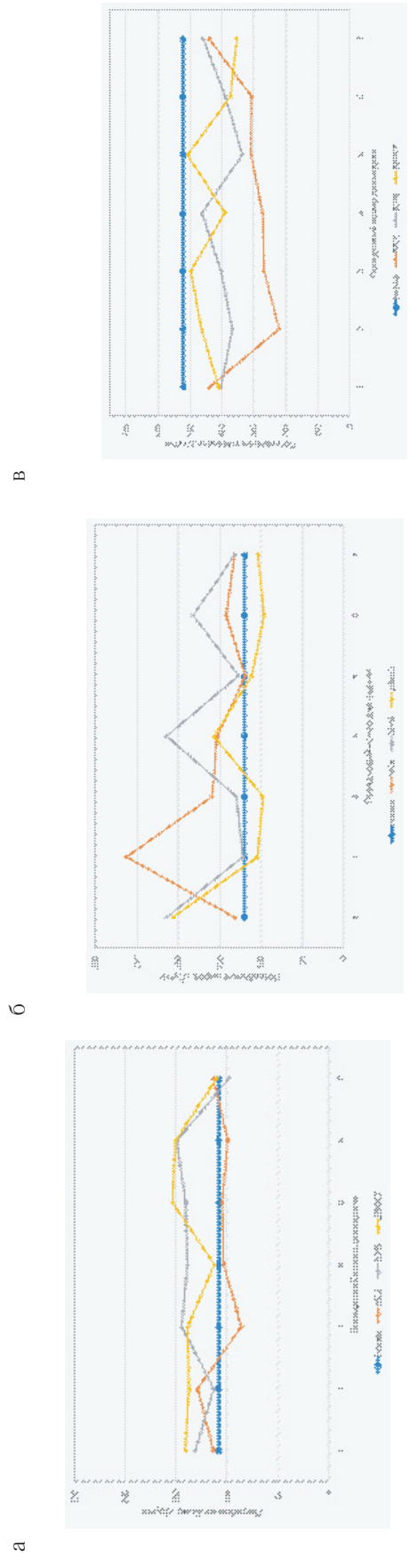


Рис. 4. Содержание белков (а), жиров (б) и углеводов (в) в рационе путевых рабочих в зимний период в разрезе полигонов железных дорог

интерес информация о том, что некоторые профессиональные группы (шахтеры, работники горячих металлургических цехов, военнослужащие и др.), которые трудятся во вредных условиях, в т.ч. в условиях высоких температур, испытывают интенсивное физическое напряжение, вызывающее повышенное (обильное) потоотделение, сопровождающееся «вымыванием» из организма минеральных веществ и витаминов [8;9]. Сообщается, что и у спортсменов при сочетании интенсивной мышечной нагрузки с повышенными температурными режимами происходит резкое увеличение экскреции многих витаминов [10].

Анализ специфики труда и характера воздействия на организм путевых рабочих неблагоприятных производственных факторов позволяет утверждать, что монтеры пути, также как и представители вышеуказанных профессиональных групп, подвержены обезвоживанию тканей, повышенным потерям витаминов и минералов, обусловленным их повышенным выведением из организма при усиленном потоотделении в процессе производства работ. Нарушение водно-солевого баланса (обмена) негативно влияет на функциональное состояние центральной нервной системы человека, что может способствовать преждевременной утомляемости работников, снижению концентрации внимания, нарушению точности и координации движений, замедлению реакций. Последствиями функциональных изменений в ЦНС работников являются ухудшение качества выполнения работ, совершение ошибочных действий, риск возникновения несчастного случая.

Таким образом, дисбаланс фактического питания, сопровождающийся пониженной обеспеченностью организма путевых рабочих витаминами, способствует не только снижению иммунитета, но и устойчивости организма к неблагоприятным условиям производства.

Для восполнения повышенной потребности в витаминах, ускорения процессов восстановления после физических нагрузок, повышения иммунного статуса и работоспособности эффективно включение в рацион питания рабочих специализированных напитков, обогащенных витаминами и минеральными веществами.

Основанием для коррекции рациона питания работников путевого хозяйства послужила низкая обеспеченность организма витаминами и минеральными веществами, поступающими с пищей, что подтверждается результатами оценки фактического питания. Дефицит витаминов имеет характер сочетанной недостаточности витаминов А, В1, В2, С, наиболее глубокий дефицит выявлен в отношении витамина А и кальция.

Предложена программа питания, включенная в методические рекомендации (Оздоровление условий труда работников ремонтно-путевого комплекса) для работников предприятий ремонтно-путевого комплекса. Программа включает специализированные продукты, направленные на профилактику профессиональных и производственно-обусловленных заболеваний, защиту организма от воздействия неблагоприятных производственных факторов. Специализированные продукты представляют собой сухие напитки быстрого (инстантного) приготовления с заданным составом и герметичной упаковкой.

Литература

1. Пименова, Ю. В. Анализ санитарно-гигиенических и бытовых условий монтеров пути путевых машинных станций при работах, выполняемых в режиме закрытого перегона / Ю. В. Пименова, И. А. Поединцев, О. С. Сачкова. - Текст : непосредственный // Проблемы безопасности российского общества. - 2024. - №1 (45). - С. 22-28. - EDN HMWRPG.

2. Химический состав российских пищевых продуктов : справочник / Ин-т питания РАМН; под редакцией И. М. Скурихина, В. А. Тутельяна. - Москва : ДеЛи принт, 2002. - 235 с. - Текст : непосредственный.

3. Таблицы калорийности, пищевой ценности и химического состава продуктов питания и готовых блюд. - URL: https://health-diet.ru/table_calorie?ysclid=m6j3opwb3u86472661 (дата обращения: 30.01.2025). - Текст : электронный.

4. МР 2.3.1.0253-21. Методические рекомендации «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации» (утв. Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека 22 июля 2021 г. - URL: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/402716140/?ysclid=mb0mvaw6g6866936809 (дата обращения 30.01.2025). - Текст : электронный.

5. Трошина, М. Ю. Гигиенические вопросы организации питания работников локомотивных бригад / М. Ю. Трошина. - Текст : непосредственный // Актуальные проблемы транспортной медицины. - 2006. - №1 (3). - С. 091-095. - EDN RYCPHJ.

6. Об утверждении перечня вредных производственных факторов на рабочих местах с вредными условиями труда, установленными по результатам специальной оценки условий труда, при наличии которых занятым на таких рабочих местах работникам выдаются бесплатно по установленным нормам молоко или другие равноценные пищевые продукты, норм и условий бесплатной выдачи молока или других равноценных пищевых продуктов, порядка осуществления компенсационной выплаты, в размере, эквивалентном стоимости молока или других равноценных пищевых продуктов: Приказ Минтруда России от 12.05.2022 № 291н (Зарегистрировано в Минюсте России 30.05.2022 № 68624). - URL: https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=424013&ysclid=mb0n0dlvts274185917 (дата обращения: 30.01.2025). - Текст: электронный.

7. Об утверждении перечня районов Крайнего Севера и местностей, приравненных к районам Крайнего Севера, в целях предоставления государственных гарантий и компенсаций для лиц, работающих и проживающих в этих районах и местностях, признании утратившими силу некоторых актов Правительства Российской Федерации и признании не действующими на территории Российской Федерации некоторых актов Совета Министров СССР : Постановление Правительства РФ от 16 ноября 2021 г. № 1946 - URL: http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202111170030?ysclid=mb0n8zn1pm146813710 (дата обращения: 30.01.2025). - Текст : электронный.

8. Трихина, В. В. Разработка программы и методических рекомендаций для коррекции питания рабочих металлургических предприятий / В. В. Трихина, Е. Л. Лазаревич, А. А. Вековцев. - Текст : непосредственный // Техника и технология пищевых производств. - 2015. - № 1 (36). - С. 97-102. - EDN TLPWHP.

9. Особенности организации питания военнослужащих РФ / А. А. Терехова, Е. Г. Нелюбина, Е. Ю. Бобкова, И. А. Григорьянц. - Текст : непосредственный // Парадигма. - 2021. - № 4. - С. 20-25. - DOI 10.24412/2367-8658-2021-4-001. - EDN KIFQZA.

10. Давыдова, В. Р. Пища как фактор поддержания работоспособности спортсменов / В. Р. Давыдова, Т. В. Крюк, Т. В. Нужная. - Текст : непосредственный // Педагогика, психология и медико-биологические проблемы физического воспитания и спорта. - 2007. - № 5. - С. 164-168. - EDN KWSUIB.

ОСОБЕННОСТИ СБРОСА ПОВЕРХНОСТНЫХ СТОЧНЫХ ВОД В СУЩЕСТВУЮЩИЕ СЕТИ ВОДОСТОКА: ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ И ПОСЛЕДСТВИЯ


О.А. Васюкова


М.В. Капустина

В статье рассмотрены проблемные вопросы, возникающие при обращении с поверхностными сточными водами при строительстве и эксплуатации объектов железнодорожного транспорта, рассмотрены мероприятия по снижению негативного воздействия на окружающую среду.

Ключевые слова: сточные воды, загрязняющие вещества, предельно допустимые концентрации, локальные очистные сооружения

EDN: BGCABO

Обращение с поверхностными сточными водами, образующимися в результате выпадения дождевых и снеговых осадков, является одним из важных и отчасти проблемных вопросов как при строительстве, так и при эксплуатации объектов железнодорожного транспорта. Объемы поверхностных сточных вод напрямую связаны с интенсивностью и длительностью выпадения атмосферных осадков, площади, с которой осуществляется сбор воды, а также типа поверхности. Максимальное количество осадков приходится на теплый период года и выпадает в виде дождей.

Основные пути решения должны быть определены при разработке проектной документации. Проектные решения должны соответствовать требованиям действующих нормативных документов, должны быть технически осуществимы в последующей реализации и согласованы экспертными органами, а также при необходимости балансодержателями и отдельными подразделениями ОАО «РЖД».

Все поверхностные сточные воды, как при строительстве, как и при эксплуатации должны подлежать организованному сбору с последующим отведением в точку сброса, в зависимости от которой следует определить необходимость очистки.

При производстве работ в крупных населенных пунктах наиболее удобным способом является организация сброса поверхностных сточных вод в существующие сети ливневой канализации, находящиеся

Васюкова Ольга Андреевна, главный инженер проекта АО «Мосгипротранс». Область научных интересов: железнодорожная гигиена, охрана труда, промышленная гигиена и санитария, железнодорожный транспорт. Автор шести научных работ.

Капустина Мария Владимировна, главный инженер проекта АО «Мосгипротранс». Область научных интересов: железнодорожная гигиена, охрана труда, промышленная гигиена и санитария, железнодорожный транспорт. Автор шести научных работ.

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

на балансе у специализированной организации. Для осуществления сброса необходимо заключить договор о подключении (технологическом присоединении) к централизованной системе водоотведения, в котором указывается информация о местоположении точки (точек) присоединения с указанием адресной привязки или номера колодца, в который планируется осуществлять сброс, а также информация о максимальной мощности (нагрузке) в точках присоединения, в пределах которых обеспечивается подключение.

Как правило, выбирается точка присоединения (колодец), расположенный в непосредственной близости от размещения объекта, но в случае невозможности обеспечения данного условия, связанного с отсутствием мест подключения, требуется переустройство имеющихся сетей ливневой канализации, прокладка дополнительных сетей, установка насосных станций или проведение каких-либо еще дополнительных работ.

Также в договоре о подключении (технологическом присоединении) указываются параметры подключения к сетям, особые условия, которые должен обеспечить заявитель во избежание нарушения работы централизованной системы водоотведения.

В сети ливневой канализации, как правило, запрещен выпуск сточных вод, образующихся в результате повседневной бытовой деятельности человека и разрешен выпуск в самотечном режиме сточных вод с поверхности, к которым относятся дождевые, талые и поливомоечные.

Основными техническими параметрами технологического присоединения к сетям являются количественный и качественный составы сточных вод, требования к свойствам сточных вод, установленные в целях предотвращения негативного воздействия на работу системы водоотвода.

Как правило, балансодержатель системы водоотведения устанавливает нормативы состава сточных вод, которые он может принять и которые должны быть соблюдены при осуществлении сброса. Этот параметр зависит от того, имеются ли в составе системы водоотведения очистные сооружения соответствующей мощности, позволяющие очистить сточные воды для последующего организованного сброса, либо очистка должна быть обеспечена до этапа подключения и, в связи с этим необходимо предусмотреть устройство очистных сооружений.

Рассмотрим рекомендуемый алгоритм подключения к сетям, как в процессе строительства, так и в процессе эксплуатации объектов транспортной инфраструктуры.

В период производства работ, за счет скопления на строительной площадке машин и механизмов, и выполнения различных технологических процессов, содержание загрязняющих веществ в поверхностном стоке увеличивается. Концентрации загрязнителей в поверхностном стоке со строительных площадок могут быть приняты по аналогу со значениями концентраций на участках, прилегающих к территориям промзон, в соответствии с таблицей 15 СП 32.13330.2018 «СНиП 2.04.03-85 Канализация. Наружные сети и сооружения». Значения приведены в табл. 1.

Для определения необходимости очистки перед сбросом в систему централизованного водоотведения следует провести сравнение с требованиями по составу сточных вод, определяемые договором подключения (технологического присоединения). Пример сравнения представлен в табл. 2.

На основании проведенного сравнения можно сделать вывод, что ожидаемые концентрации превышают требования, указанные в договоре, и при проведении строительных работ на объектах, следует предусматривать мероприятия для уменьшения загрязнений, а также по предотвращению попадания в водоотводные системы крупногабаритного мусора.

Для этого в составе проекта организации строительства должны быть разработаны соответствующие решения по очистке сточных вод перед выпуском в

Таблица 1

Значения концентраций загрязнителей в поверхностном стоке (при строительстве)

Показатель	Единицы измерения	Количество	
		в дождевом стоке	в талом стоке
Нефтепродукты	мг/л	18	20
Взвешенные вещества	мг/л	800	3000
$БПК_5$	мг/л	120	120
ХПК	мг/л	400	1000

Таблица 2

Сравнение содержания загрязняющих веществ в поверхностных сточных водах с требованиями договора подключения и определение необходимости очистки

Показатель	Количество, мг/л	Требования, мг/л	Кратность превышения	Необходимость очистки
Нефтепродукты	18–20	8	2,25–2,5	Да
Взвешенные вещества	800–3000	300	2,6–10	Да
$БПК_5$	120	30	4	Да
ХПК	100–400	Не устанавливается	–	Нет

существующие сети. В первую очередь необходимо предусмотреть организованный сбор поверхностных сточных вод с территории строительных площадок за счет планировки территории с устройством обвалования по всему периметру. Далее сток поступает на временные локальные очистные сооружения, оборудованные емкостью-резервуаром, которые устанавливают в пониженной точке.

После очистки поверхностный сток можно выпустить в точки подключения самотеком либо с использованием временного трубопровода или при ведении работ на значительном расстоянии от мест сброса вывезти автотранспортом.

Если подключение к сетям водоотведения на период строительства является временным, и как правило не требует сооружения как-либо дополнительных устройств, а также значительных финансовых вложений, то на период эксплуатации объекта складывается другая ситуация.

Система ливневой канализации должна быть технически реализуема, надежна, долговечна, не требовать частых ремонтов и обеспечить бесперебойное функционирование объектов железнодорожного транспорта. При подключении к существующим сетям следует проверять, чтобы расход, поступающий с территории в точку сброса, не превысил установленный договором о подключении (технологическом присоединении) к централизованной системе водоотведения, во избежание аварийной ситуации.

Важным аспектом является определение состава сточных вод, его соответствие параметрам подключения и определение необходимости предварительной очистки.

Как уже неоднократно упоминалось ранее авторами статьи в предыдущих публикациях, в соответствии с пунктом 7.6.2 СП 32.13330.2018 (Изм. 2) Состав и концентрации загрязняющих веществ поверхностных сточных вод линейных объектов транспортной инфраструктуры, направляемых на очистку, следует принимать для вновь строящихся и реконструируемых объектов – по данным объектов-аналогов с учетом требований отраслевых и ведомственных нормативных документов.

Для объектов железнодорожного транспорта ведомственным нормативом являются «Технические требования «Сбор ливневых стоков унифицированными системами водоотводных элементов, локальными инженерными сооружениями для очистки, перекачки и отвода поверхностных и сточных вод с доведением их до нормативных показателей на объектах железнодорожного транспорта» (утвержденные Распоряжением ОАО «РЖД» от 13.07.2017 № 1360р) (далее «Технические требования...»).

Поскольку в данном нормативном документе не учитываются конкретные условия эксплуатации объектов железнодорожного транспорта, а именно специфика предприятий, процент грузоперевозок, тип подвижного состава, строительство новых объектов или реконструкция существующих, поэтому для получения достоверных сведений о составе сточных вод оптимальным является отбор и исследование проб по перечню загрязняющих веществ, рекомендованному «Техническими требованиями...». Перечень загрязняющих веществ представлен в табл. 3.

Согласно представленным данным, перечень контролируемых показателей несколько отличается от перечня загрязняющих веществ регламентируемыми Техническими требованиями..., следовательно, контроль загрязняющих веществ по этому перечню нецелесообразен и достаточно провести исследования по требованиям к сточным водам, предъявляемым организацией – приемщиком стоков.

После получения результатов анализа проб, необходимо определить наихудшее значение и после этого определить необходимость очистки поверхностных сточных вод. В случае выявления превышений в ото-

Таблица 3

Перечень загрязняющих веществ

Наименование вещества	Показатель в соответствии с Техническими требованиями	Показатель на примере ТУ ГУП «Мосводосток» (нормативы в целях охраны водных объектов)	Показатель на примере ТУ ГУП «Мосводосток» (нормативы в целях предотвращения негативного воздействия на работу централизованной системы водоотведения)
Нефтепродукты	2,073	0,07	8,0
Взвешенные вещества	75,333	20,819	300
Цинк	0,07	0,01	Не устанавливается
Азот аммонийный	6,703	0,5	2,0
Алюминий	Не устанавливается	0,04	Не устанавливается
Марганец	0,1	Не устанавливается	Не устанавливается
Железо	0,257	0,1	Не устанавливается
Медь	0,13	0,001	Не устанавливается
Нитрит-ион	0,217	Не устанавливается	Не устанавливается
Нитрат-ион	2,4	Не устанавливается	Не устанавливается
Сульфаты	58,667	100	500
Хлориды	Не устанавливается	300	1000
Фосфаты (по Р)	Не устанавливается	0,02	Не устанавливается
Фенол	Не устанавливается	0,001	Не устанавливается
БПКполн*	Не устанавливается	3,003	42,9
ХПК	Не устанавливается	30	Не устанавливается

* БПКполн =БПК5*1,43 в соответствии с п. 23.2 Методики исчисления размера вреда, причиненного водным объектам вследствие нарушения водного законодательства, утверждённой Приказом Минприроды России от 13.04.2009 № 87 в действующей редакции.

бранных образцах над требованиями к составу сточных указанные в договоре, необходимо предусмотреть меры для снижения концентраций загрязнений, а именно установку очистных сооружений.

Исходя из вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

• сброс поверхностных сточных вод в существующие сети ливневой канализации, находящиеся на балансе у специализированной организации, является наиболее удобным и оптимальным решением при строительстве объектов в крупных населенных пунктах;

• при подключении к существующим сетям необходимо полностью соблюдать требования договора о подключении (технологическом присоединении) во избежание нарушения работы централизованной системы водоотведения и возникновению аварийной ситуации;

• состав поверхностных сточных вод должен соответствовать требованиям, установленным при заключении договора о подключении (технологическом присоединении) с владельцем сетей. При выявлении превышений в отводимых сточных водах необходимо предусмотреть мероприятия по снижению концентраций загрязняющих веществ и установку очистных сооружений;

• соблюдение вышеперечисленных условий позволит минимизировать негативное воздействие на окружающую среду.

Литература

1. Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 2.1.3684-21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий» (вместе с «СанПиН 2.1.3684-21. Санитарные правила и нормы...»)». Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 № 3 (Зарегистрировано в Минюсте России 29.01.2021 № 62297). - URL: https://docs.cntd.ru/document/573536177?ysclid=mbyy0xivzm414145274 (дата обращения: 24.03.2025). - Текст : электронный.

2. Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» (вместе с «СанПиН 1.2.3685-21. Санитарные правила и нормы...»). Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 № 2 (Зарегистрировано в Минюсте России 29.01.2021 № 62296). - URL: https://rpn.gov.ru/upload/iblock/6d7/iyevdt92o0wvjjd3tiohwydmo06n843p/Postanovlenie-Glavnogo-gosudarstvennogo-sanitarnogo-vracha-RF-ot-28.01.2021-N-2.docx (дата обращения: 24.03.2025). - Текст : электронный.

3. Сбор ливневых стоков унифицированными системами водоотводных элементов, локальными инженерными сооружениями для очистки, перекачки и отвода поверхностных и сточных вод с доведением их до нормативных показателей на объектах железнодорожного транспорта. Технические требования (утверждены Распоряжением ОАО «РЖД» от 13.07.2017 № 1360р). - URL: https://meganorm.ru/mega_doc/norm/protokol_forma/0/tekhnicheskie_trebovaniya_sbor_livnevykh_stokov.html?ysclid=mbyyeblry4319619265 (дата обращения: 24.03.2025). - Текст : электронный.

4. Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения Приказ Минсельхоза России от 13.12.2016 № 552 (ред. от 13.06.2024) (Зарегистрировано в Минюсте России 13.01.2017 № 45203). - URL: https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=477262&ysclid=mbyynesm558564301 (дата обращения: 24.03.2025). - Текст : электронный.

5. СП 32.13330.2018. Свод правил. Канализация. Наружные сети и сооружения = Sewerage. Pipelines and wastewater treatment plants. СНиП 2.04.03-85 (с изменениями № 1 и 2): утвержден и введен в действие Приказом Минстроя России от 25.12.2018 № 860/пр. - URL: https://solidt.ru/assets/documents/sp32.13330.2018%20kanalizaciyasetiisoor-snip-2.04.03-85-solidt.ru.pdf?ysclid=mbyyq9km4j489442962 (дата обращения: 24.03.2025). - Текст : электронный.

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ В СИСТЕМАХ ВЕНТИЛЯЦИИ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ОБЩЕСТВЕННОГО ТРАНСПОРТА



Д.В. Давыдов

Представлен обзор методов обеззараживания воздушной среды. Проведен анализ применимости методов обеззараживания в системах вентиляции и кондиционирования общественного транспорта, сделаны выводы о наиболее эффективных и безопасных методах дезинфекции воздушной среды транспортных средств.

Ключевые слова: оценка эффективности и безопасности применения различных методов обеззараживания воздушной среды на транспорте, установки обеззараживания воздуха

EDN: FFDCPI

Снижение риска распространения эпидемических заболеваний является одной из важнейших государственных задач. Данные мероприятия регламентируются федеральным законом №52-ФЗ от 30.02.1999 «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» [1].

Общественным транспортом ежедневно пользуются миллионы людей, в связи с этим редуцирование риска распространения заболеваний таких как грипп, ОРВИ, COVID-19 является одним из важных аспектов обеспечения благополучия и здоровья населения.

В России специалистами ФГУП ВНИИЖГ Роспотребнадзора были разработаны критерии санитарно-микробиологической оценки воздушной среды объектов общественного транспорта [2].

В частности, общее микробное число (ОМЧ) в воздушной среде не должно превышать $2 \cdot 10^3$ КОЕ/м^3; суммарный показатель гемолитической кокковой флоры – не более 3% от ОМЧ [2].

Распространение инфекционных заболеваний может быть предотвращено эффективной вентиляцией, которая осуществляет подачу достаточного количества свежего воздуха и отвод воздуха, потенциально контаминированного болезнетворными микроорганизмами.

Однако в условиях транспорта такой алгоритм технически реализовать затруднительно, поскольку ввиду ограниченности электрической мощности систем кондиционирования и вентиляции традиционно применяется режим рециркуляции. Система воздухообмена с рециркуляцией представляет собой комплекс, в котором часть отводимого из салона или кабины транспортного средства воздуха смешивается с наружным. После этого осуществляется термостабилизирование данного смешанного воздуха и его подача обратно в помещение. Пример такой реализации представлен на рис. 1.

Поскольку применение таких систем значительно уменьшает объем отводимого из салона потенциально

Давыдов Денис Валерьевич, аспирант кафедры «Техносферная безопасность» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: железнодорожная гигиена, обеззараживание воздушной среды на транспорте, охрана труда, железнодорожный транспорт. Автор двух научных работ.

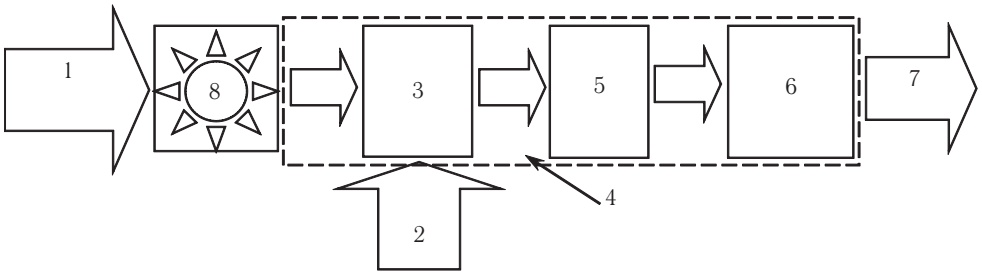


Рис. 1: 1 – входной рециркуляционный воздуховод; 2 – входной воздуховод наружного воздуха; 3 – камера смешивания наружного и рециркуляционного воздуха; 4 – главный воздуховод; 5 – испарительный блок; 6 – приточный вентилятор, 7 – выходной нагнетательный воздуховод; 8 – блок УОВ

контаминированного воздуха и объем подаваемого в салон или кабину воздуха с улицы (с минимальным содержанием патогенных микроорганизмов), риск заражения существенно возрастает.

Поэтому при применении рециркуляции необходимо обеспечивать снижение количества болезнетворных микроорганизмов. Это может быть реализовано путем оснащения системы обеспечения микроклимата установками обеззараживания воздуха. При этом оптимально обеззараживать рециркуляционный воздух, но при невозможности реализации такого технического решения возможно размещать установки обеззараживания воздуха на притоке перед подачей в салон/кабину транспортного средства.

Установка обеззараживания воздуха представлена на рис. 2.

В настоящее время сформулированы медико-биологические и общие технические требования к установкам обеззараживания воздуха (УОВ), применяемых в салонах транспортных средств [3–6], среди которых важно отметить следующие:

- УОВ должны выполнять функцию прерывания путей передачи эпидемического процесса за счет инактивации (умерщвления) возбудителей инфекционных болезней воздушно-капельного пути передачи;
- методы обеззараживания, применяемые в присутствии людей, должны быть безреагентными (физическими);
- УОВ должна устанавливаться в систему вентиляции (кондиционирования, воздушного отопления) подвижного состава для обеззараживания рециркуляционного или смешанного воздуха;
- УОВ рециркуляционного воздуха в процессе эксплуатации в процессе эксплуатации должна обеспечивать инактивацию (умерщвление) патогенных и потенциально патогенных биологических агентов, передающихся воздушно-капельным путем, с эффективностью не менее 95%;
- УОВ не должна генерировать загрязняющие вещества в концентрациях, превышающих среднесуточные предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе;
- потери напора при объемной подаче воздуха не должны ухудшать работу системы обеспечения микроклимата, установленную в подвижном составе, вследствие чего, как правило, не должны превышать 100 Па;
- электроснабжение УОВ должно осуществляться от системы электроснабжения подвижного состава. Максимальная потребляемая мощность УОВ должна быть не более 0,5 кВт на каждые 2000 м^3/ч обрабатываемого воздуха.

Применение УОВ в системах обеспечения микроклимата (СОМ) имеет ряд особенностей. СОМ предназначена для вентиляции, кондиционирования воздуха, а в отдельных случаях и отопления пассажирских салонов и кабин. СОМ содержит входной воздуховод воздуха с улицы, рециркуляционный воздуховод,

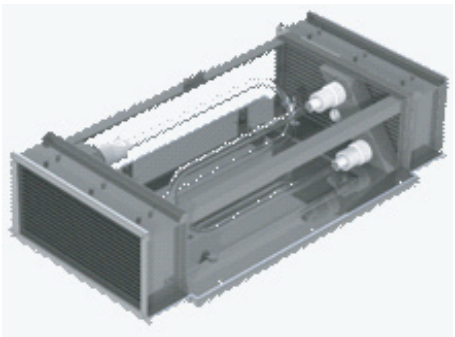


Рис. 2. Установка обеззараживания воздуха

подсоединенные к блоку смешивания наружного и рециркуляционного воздуха. За блоком смешивания последовательно расположены главный воздуховод, в котором закреплены испарительный блок, нагревательный элемент и приточный вентилятор, причем приточный вентилятор установлен после испарительного блока и выходной нагнетательный воздуховод, подающий обработанный воздух в салон. Блок УОВ может быть установлен в одном или в нескольких из следующих мест: перед камерой смешивания во входном рециркуляционном воздуховоде, и/или в камере смешивания, и/или после камеры смешивания перед испарительным блоком, и/или после испарительного блока перед приточным вентилятором, и/или после приточного вентилятора в выходном нагнетательном воздуховоде.

Указанные требования налагают ряд ограничений для возможности и эффективного применения методов обеззараживания воздуха. Рассмотрим основные из них.

Методы обеззараживания воздушной среды в помещениях

Фотокаталитические воздухоочистители [7].

Эффект фотоактивирования микроорганизмов на диоксиде титана (TiO_2) позволяет уничтожать широкий спектр грамотрицательных и грамположительных бактерий, нитчатых и одноклеточных грибов, водорослей, простейших, вирусов млекопитающих и бактериофагов как на поверхностях, так и в воздухе и воде. Механизм уничтожения включает деградацию клеточной стенки и цитоплазматической мембраны из-за производства активных форм кислорода, таких как гидроксилрадикалы и перекись водорода. Это первоначально приводит к утечке клеточного содержимого, а затем к лизису клеток и может сопровождаться полной минерализацией организма. Антимикробная и антивирусная активность усиливается в присутствии других антимикробных и антивирусных агентов.

При контакте света с фотокатализатором происходит окислительно-восстановительная химическая реакция. При нанесении на поверхность он очищает воздух таким образом, чтобы предотвратить загрязнение поверхности. При покрытии таким средством внутренних стен помещения, вредные вещества и различные микробы (вирусы гриппа, плесень, кишечная палочка, золотистый стафилококк, в т. ч. метициллинрезистентный, и др.), расщепляются на H_2O и CO_2 и становятся безвредными.

К настоящему моменту уже показано, что благодаря напылению на поверхность диоксида титана большинство органических соединений окисляется до CO_2 и H_2O.

Фактически любой фотокаталитический очиститель воздуха включает в себя носитель с нанесенным TiO_2, который подвергается облучению определенным спектром света и через который проходит воздух.

Ограничения по возможному применению фотокаталитических воздухоочистителей на объектах городского общественного транспорта обусловлены следующим:

- при наличии в воздушной среде относительно больших количеств неорганических загрязнений возможна блокировка активных центров катализатора. При этом к активной поверхности катализатора не могут попасть обрабатываемые вещества и УФ-излучение;
- фотокаталитическое окисление летучих органических соединений происходит в несколько стадий. При этом существует вероятность образования достаточно стабильных промежуточных побочных продуктов, многие из которых являются токсичными (формальдегиды, ацетальдегиды и т.п.).

Поскольку в воздушной среде объектов городского общественного транспорта вероятно присутствие относительно больших концентраций неорганических и летучих органических загрязнений, эффективность и безопасность применения фотокаталитических воздухоочистителей требует проведения исследований.

Электроэффлювиальные устройства [8].

Принцип работы устройств искусственной ионизации воздуха состоит в электростатическом эффекте очищения и насыщении воздуха легкими аэроионами. Наиболее распространенные устройства называются электроэффлювиальными. Используемые в них электроды индуцируют с помощью коронного разряда количество аэроионов, рекомендованное наукой как безопасное и полезное. Впервые такие устройства разработал и применял в своих опытах русский и советский учёный А.Л. Чижевский.

Ионизация происходит из-за электрического возбуждения находящихся в воздухе атомов или молекул до состояния, вызывающего удаление электронов из соответствующих атомных орбит; причем атомы с удаленным электроном, известные как катионы или положительные ионы, заряжены положительно. Кроме того, освобожденные электроны сталкиваются с другими атомами или молекулами, находящимися в воздухе, отрицательно заряжая их и образуя так называемые анионы или отрицательные ионы.

Таким образом, в процессе ионизации происходит преобразование атомов или молекул частиц в соответствующие анионы или катионы, не являющиеся вредными для человека.

Оборудование искусственной ионизации изготавливается с применением современных технологий. В

основе обработки лежит процесс биполярной ионизации в тлеющем коронном разряде на поверхности специальной лампы, который активизирует молекулы кислорода окружающего воздуха. Активизированные молекулы и атомы кислорода, присоединяясь к ионам воздуха, образуют среду, обладающую высокой окислительной и, за счет этого, бактерицидной способностью. В результате окисления происходит:

- нейтрализация запахов;
- блокирование жизнедеятельности бактерий и вирусов, спор грибов, плесени и других вредных простейших одноклеточных организмов, как в воздухе, так и на всех поверхностях;
- наличие заряда на ионах воздуха способствует слипанию микроскопических частиц пыли в более крупные образования, которые быстро оседают и легче фильтруются.

Образование озона (O_3), как побочного продукта и образование активных полиионов кислорода является дополнительным бактерицидным эффектом.

Нейтрализация запахов, подавление бактерий и образование сбалансированной ионной среды существенно улучшает качество воздуха в помещениях, что позволяет сократить подачу свежего воздуха через приточную вентиляцию.

При внедрении в реальные условия подвижного состава транспорта эффективность оборудования ионизации часто снижается вследствие того, что при санитарной обработке на объектах транспорта приходится обеззараживать среды, содержащие микроорганизмы, окруженные естественной средой обитания, например слюна, слизь. Основой состава такой среды является водно-белковая смесь различной концентрации. В результате воздействию активных радикалов подвергается именно белковая оболочка, и эффективность инактивации собственно микроорганизмов резко снижается.

Кроме того, неизбежное при ионизации поступление в салон транспортного средства активных радикалов и озона, в общем случае, является вредным для присутствующих в помещении людей, поскольку они негативно воздействуют на все клеточные структуры организма человека.

Электропорационная технология «Поток» [9].

При применении данной технологии воздух проходит через электрические поля, индуцируемые поперечно расположенными электродами из высокопористых электропроводных пенометаллических материалов. Электроды соединены с высоковольтным источником питания.

Полярность электродов меняется во времени.

Далее происходит многократная перезарядка поверхности и внутриклеточных структур, что приводит к нарушению жизнеспособности бактерий и вирусов, после чего разрушенная биомасса задерживается электростатическим осадителем.

Диэлектрические пористые пластины обеспечивают осаждение разрушенной биомассы. Также они служат для исключения пробоев при повышенной влажности и запыленности воздушного потока.

В процессе воздействия электрических полей происходит многократное изменение величин и знаков электрических потенциалов на поверхности и внутри клетки. В результате оболочка микроорганизма многократно деформируется вплоть до появления множественных разрывов, через которые вытекает цитоплазма и микроорганизм разрушается.

Недостатком оборудования электропорации являются большие габаритные размеры установок, не позволяющие разместить их в системах вентиляции и кондиционирования транспортных средств, а также большое аэродинамическое сопротивление, требующее значительного повышения мощности вентиляторов системы обеспечения климата.

Ультрафиолетовые облучатели [10].

Принцип действия установок очистки воздуха на основе бактерицидных ламп основан на воздействии ультрафиолетового (УФ) излучения на клетку микроорганизма. К бактерицидному диапазону длин волн относится интервал от 205 до 315 нм. Такое УФ излучение вызывает димеризацию тимина в молекулах ДНК и РНК. Накопление таких изменений в ДНК/РНК микроорганизмов не дает возможности репродукции и в итоге приводит к их гибели.

УФ-обеззараживание выполняется путем воздействия на микроорганизмы определенной дозы УФ излучения, которая является произведением интенсивности на время воздействия. Для различных микроорганизмов такие дозы изучены и приведены в справочниках (например Руководство Р 3.5.1904-04).

Метод УФ-обеззараживания при современном развитии науки и техники является наиболее приемлемым безреагентным (физическим) методом дезинфекции воздушной среды салонов и кабин транспортных средств. Он одновременно обеспечивает высокую эффективность обеззараживания и соответствует всем требованиям безопасности (химической, экологической, пожарной, электрической и др.) [11;12].

Базовое уравнение математической модели процесса обеззараживания воздушной среды УФ-излучением, отражающее функциональную связь между микробиологическими характеристиками микроорганизмов и номинальными значениями технических параметров бактерицидной установки при нормальных условиях в помещениях, описывается следующим выражением:

$$H_{\upsilon}=K_{ф} \cdot N_{л} \cdot Ф_{бк} \cdot t_{э} \cdot 3600/V, \text{ Дж/м}^3,$$

где H_{υ} – бактерицидная доза, Дж/м^3, соответствующая заданному значению бактерицидной эффективности, в соответствии с требованиями СП 2.5. 3650-20 163 Дж/м^3;

$K_{ф}$ – коэффициент использования бактерицидного потока ламп;

$N_{л}$ – число ламп в облучателе;

$Ф_{бк}$ – бактерицидный поток лампы, Вт;

$t_{э}$ – длительность эффективного облучения, ч;

V – объем салона транспортного средства, м^3.

Значения коэффициентов в формуле определяются расчетным методом и подтверждается в процессе испытаний.

Тем не менее, для применения на транспорте традиционные конструкции УФ-облучателей, а также классические источники УФ-излучения, к сожалению, не могут быть использованы.

Чтобы обеспечить защиту пассажиров транспортного средства от болезнетворных микроорганизмов, как было отмечено выше, нужно обеспечить обеззараживание большого объема воздуха в единицу времени, при этом габариты, в которых устанавливается УОВ определяется конструкцией СОМ транспортного средства, что налагает ограничения на размеры УОВ и размеры используемых УФ-ламп. Кроме того, при использовании УФ-ламп большой мощности узлы и элементы системы вентиляции и кондиционирования подвергаются существенному разрушающему воздействию прямого и отраженного УФ-излучения, а выход УФ-излучения за пределы УОВ может нанести вред пассажирам. Чтобы достичь указанных результатов, нужно соблюсти эти взаимоисключающие условия: УОВ должна обеспечить высокую степень обеззараживания воздуха в потоке и высокую производительность, при этом она не должна иметь высокое энергопотребление, не создавать высокое аэродинамическое сопротивление и исключить выход УФ излучения за пределы УОВ.

Все указанные ограничения не позволяют использовать бактерицидные рециркуляторы и бактерицидные модули, встраиваемые в системы вентиляции общественных зданий и требуют существенной доработки УОВ.

Для их использования должна быть проведена соответствующая адаптация.

Наиболее эффективным источником УФ-излучения являются амальгамные лампы низкого давления. Амальгама – это твердый или жидкий раствор ртути в одном или нескольких металлах. Давление паров ртути над этим сплавом существенно меньше, чем над чистой ртутью, поэтому такая лампа безопасна, даже если происходит нарушение герметичности колбы. При работе обычной амальгамной лампы происходит разогрев колбы до температур 80–130 °С, вследствие чего давление насыщенных паров ртути над амальгамой выходит на оптимальный уровень 0,7–1,5 Па для обеспечения максимальной эффективности генерации УФ-излучения в газовом разряде. Таким образом сохраняется высокий КПД, а погонная мощность излучения повышается в 3–5 раз в сравнении с классической ртутной лампой, широко распространенной и применяемой в медицинских рециркуляторах.

Традиционная амальгамная лампа работает следующим образом [13].

При поджиге лампы на электроды подается напряжение пробоя. Зажигается тлеющий разряд, на первом этапе, пусковом режиме, в буферной смеси инертных газов.

В пусковом режиме давление паров ртути в лампе низкое, поскольку ртуть освобождается из амальгамы по мере разогрева лампы. В это время происходит интенсивная бомбардировка электродов ионами буферных газов и, как следствие, постепенное механическое разрушение эмиссионного слоя электродов.

По мере разогрева лампы давление паров ртути увеличивается, и лампа переходит в рабочий режим горения в дуговом режиме разряда в парах ртути. В это время также происходит постепенное испарение эмиссионного слоя электродов.

Ресурс лампы в первую очередь определяется ресурсом электродов, точнее, оксидного эмиссионного слоя электродов.

Процесс нанесения эмиссионного слоя на вольфрамовую проволоку может иметь различные варианты исполнения.

В традиционных амальгамных лампах оксидный эмиссионной слой имеет пористость 70–80%. Такой катод имеет очень высокий ресурс непрерывного горения в рабочем режиме, но разрушается при каждом включении, поэтому он может применяться в установках обеззараживания воды: там лампа один раз включается и потом непрерывно работает в рабочем режиме или в облучателях для обеззараживания воздуха в помещении. Но если лампа работает в режиме интенсивного обдува, который применяется в системах вентиляции и кондиционирования в транспортных средствах, то длительность переходного режима (пока амальгама не нагреется) увеличивается в три раза, а именно в этот момент происходит механическое разрушение оксидного покрытия электрода. Поэтому интенсивность разрушения оксидного покрытия за один цикл включения при обдуве примерно равен интенсивности разрушения за три включения лампы

без обдува и, следовательно, ресурс включений резко сокращается.

Условия эксплуатации лампы в установках обеззараживания воздуха в СОМ транспортных средств накладывают следующие требования к ресурсу и технологическому запасу:

• срок горения в рабочем режиме – не менее 8000 ч (7000 ч для вагонов метрополитена);

• количество включений-выключений – не менее 1500.

Все это привело разработчиков к необходимости доработать амальгамную лампу для применения на транспорте.

Экспериментально было доказано, что выполнение эмиссионного слоя оксида щелочноземельных металлов на поверхности спирали электродной сборки плотностью 50±10% позволяет при работе в режиме частых включений – отключений и при интенсивном обдуве, как в системах вентиляции и кондиционирования воздуха, используемых в транспортных средствах, сократить в три раза интенсивность разрушения эмиссионного слоя за один цикл включения по сравнению с плотностью слоя меньше, а также больше 50%.

Тем не менее, даже при этом происходит частичное разрушение оксидного покрытия, что может привести к вероятности выхода лампы из строя в конце гарантийного срока эксплуатации.

В связи с этим для применения на транспорте был модернизирован способ зажигания амальгамной бактерицидной газоразрядной лампы в условиях ее эксплуатации в системах обеспечения микроклимата транспортных средств.

Это было достигнуто за счет того, что способ зажигания амальгамной бактерицидной газоразрядной лампы выполнен посредством системы управления и включает подогрев электродов лампы с последующим приложением напряжения зажигания лампы [14]. Система управления включает первоначальный подогрев электродов путем пропускания через электроды тока в 2 А в течение 10 с с последующей подачей импульса напряжения зажигания лампы с нарастающей амплитудой от 500 до 1000 В. В случае отсутствия зажигания лампы система управления включает поочередный дополнительный подогрев электродов каждый раз также в течение 10 с с последующей подачей очередного импульса напряжения.

Преимущественно первоначальный подогрев электродов осуществляют до 700°С, а каждый последующий подогрев превышает предыдущий подогрев на 100 °С.

Количество дополнительных подогревов электродов, проводимых в течение 10 с, по мере постепенного разрушения оксидного покрытия электродов, как правило, увеличивается от 1 до 5 раз.

Первоначальный подогрев электродов путем пропускания через электроды тока в 2 А в течение 10 с обеспечивает первоначальный прогрев электродов до 700°С. Такой первоначальный нагрев электродов в начальный период работы амальгамной бактерицидной газоразрядной лампы, когда оксидный слой покрывающий электроды находится в неразрушенном состоянии, достаточен для зажигания лампы при подаче напряжения зажигания. При этом нагрев в 700°С и напряжение зажигания с нарастающей амплитудой от 500 до 1000 В будут достаточно щадящими для более длительного сохранения целостности оксидного покрытия электродов, что позволит в условиях интенсивного обдува продлить срок службы лампы и увеличить количество циклов включения-выключения.

В процессе эксплуатации лампы в условиях интенсивного обдува, оксидный слой электродов постепенно истончается и становится более гладким, поэтому в случае отсутствия зажигания лампы в течение первоначальных 10 с система управления включает дополнительный подогрев электродов также в течение 10 с. При этом увеличение времени нагрева свыше 10 с приводит к перегреву электродов, а следовательно и оксидного слоя, покрывающего их, ускоренно разрушая его, что негативно влияет на продолжительность эксплуатации лампы. Сокращение нагрева меньше 10 с является недостаточным для обеспечения зажигания лампы.

Превышение каждого последующего подогрева электродов на 100 °С обеспечивает более оптимальные и щадящие условия эксплуатации лампы для возможности ее эксплуатации в жестких условиях при интенсивном обдуве не менее 4 м/с в течение не менее 8000 ч непрерывной работы и до 2000 циклов включения-выключения.

Количество дополнительных подогревов электродов от 1 до 5 раз обусловлено тем, что более 5 раз проведение подогрева электродов нецелесообразно, так как в процессе эксплуатации оксидный слой разрушается и лампа становится полностью непригодной для использования и требуется ее замена. Как правило, именно после пятикратного прогрева электродов проходит не менее 8000 часов эксплуатации и до 2000 циклов включения-выключения.

Еще одной особенностью эксплуатации амальгамных ламп в УОВ в системах вентиляции и кондиционирования транспортных средств является то, что они работают в режиме интенсивного обдува.

В классической амальгамной лампе размещение амальгамы осуществляется на внутренней стенке

колбы посредством золотого пятна. В зависимости от состава амальгамы, оптимальное давление паров ртути достигается при рабочей температуре в пределах от 80 до 130°С. Температура амальгамы в таких лампах зависит от количества тепла, подводимого к амальгаме и интенсивности отвода тепла от стенки колбы лампы, находящейся под амальгамой. Характеристики закрытых бактерицидных облучателей при применении их для обеззараживания воздуха в системах вентиляции и кондиционирования транспортных средств значительно ухудшаются. В первую очередь это связано с тем, что облучатели работают в режиме обдува со скоростями от 2 до 7 м/с, вследствие чего значительно увеличивается теплоотвод от стенок лампы, а температура стенок и амальгамы уменьшается. Понижение температуры приводит к снижению давления паров ртути внутри колбы, вследствие чего падает коэффициент преобразования электрической мощности в бактерицидную. При скорости воздушного потока более 4 м/с выход ультрафиолетового излучения уменьшается в 2–5 раз.

Для решения данной проблемы применяются специальные «холодные» амальгамы, при использовании которых рабочее давление паров ртути достигается при температурах от 50 до 70°С.

Несмотря на использование в УОВ амальгамных ламп в специальном исполнении иногда не удается обеспечить требуемую эффективность обеззараживания в условиях ограничения энергопотребления. Одним из приемлемых способов повышения эффективности работы установок по обеззараживанию воздуха является увеличение отражательной способности внутренней поверхности установок за счет нанесения отражающего УФ-излучение слоя.

Отражающее покрытие камеры бактерицидного облучения помимо обеспечения высокого коэффициента отражения УФ-излучения должно отвечать следующим требованиям:

- быть устойчивым к высоким дозам УФ-облучения;
- быть стабильным в течение длительной эксплуатации;
- обеспечивать технологичность нанесения на объекты сложной формы внутренней поверхности камеры обеззараживания;
- быть безопасным.

Была разработана технология нанесения отражающего покрытия на подложку из нержавеющей стали.

При использовании УФ-ламп большой мощности узлы и элементы системы вентиляции и кондиционирования подвергаются существенному разрушающему воздействию прямого и отраженного УФ-излучения, а выход УФ-излучения за пределы УОВ может нанести вред пассажиров. Традиционно для этого используются защитные решетки жалюзийного типа. Такие решетки ставятся на входе и выходе воздуха из УОВ.

Традиционно такие решетки изготавливаются из стали. Но сталь имеет достаточно высокий (около 30%) коэффициент отражения УФ-излучения. В результате для снижения мощности УФ-излучения, выходящего из УОВ, до безопасного уровня, требуется 5–7 переотражений излучения от элементов защитной решетки. Это приводит как к увеличению габаритов УОВ, так и к увеличению ее аэродинамического сопротивления.

Для решения этой задачи была разработана технология нанесения на элементы защитной решетки диоксида титана. Он обладает крайне низким коэффициентом отражения УФ-излучения, поэтому приемлемый уровень снижения мощности излучения достигается уже после трех переотражений.

Совокупность вышеизложенных решений позволила разработать и наладить серийное производство УОВ, полностью соответствующих медико-биологическим и общим техническим требованиям к установкам обеззараживания воздуха, применяемых в салонах транспортных средств.

В таблице сведены основные характеристики различных методов обеззараживания воздуха для применения на транспорте.

Заключение

Процедуры обеззараживания воздуха на транспорте являются объектом специального нормативного регулирования.

Полноценно функционирующая транспортная сеть пассажирского транспорта, отвечающая принятым стандартам качества, наряду с прочим является фактором экологической, санитарно-гигиенической и эпидемиологической стабильности городской среды.

Особенности подвижного состава и транспортной инфраструктуры, а именно сосредоточение большого количества людей в замкнутом пространстве в течение достаточно продолжительного времени приводит к повышенному риску негативного воздействия патогенных микроорганизмов.

Повышение эффективности, доступности и разветвленности пассажирских транспортных потоков напрямую влияет на скорость распространения инфекционных заболеваний в стране, что делает мероприятия по дезинфекции транспортных средств необходимыми для обеспечения эпидемиологической безопасности государства.

Таблица

Основные характеристики различных методов обеззараживания воздуха для применения на транспорте

Параметры	Фотокаталитические воздухоочистители	Электроэффлювиальные устройства	Электропорационная технология «Поток»	Закрытые УФ-облучатели
Назначение	Очистка и обеззараживание воздуха	Очистка и обеззараживание воздуха	Очистка и обеззараживание воздуха	Обеззараживание воздуха
Эффективность метода в отношении: бактерий и вирусов	Эффективен	Эффективен	Эффективен	Эффективен
Соответствие требованиям СП 2.5.3650-20	Данные отсутствуют	Данные отсутствуют	Данные отсутствуют	Соответствует СП 2.5.3650-20
Использование в транспортных средствах	Требуются дополнительные исследования	Требуются дополнительные исследования	Требуются дополнительные исследования	Да
Экологическая безопасность технологии	+	+	+	+

Применение установок обеззараживания воздуха на транспорте должно осуществляется со строгим соблюдением технических требований, предъявляемых к этим устройствам. Это обеспечит их эффективность, безопасность и безотказность.

В настоящее время наиболее распространенным и освоенным в производстве методом обеззараживания воздушной среды подвижного состава является применение УФ-излучения. Это позволяет обеспечивать инактивацию патогенных и потенциально патогенных микроорганизмов. Принципиальным отличием метода является одновременное обеспечение высокой эффективности обеззараживания и удовлетворение всем требованиям безопасности (химической, экологической, пожарной, электрической и др.), а также возможности использования метода в присутствии людей (установки закрытого типа).

Установки обеззараживания воздуха ультрафиолетовым излучением, специально разработанные для применения на транспорте, успешно применяются на транспорте в России и за рубежом, так как удовлетворяют требованиям законодательства в области санитарно-эпидемиологического благополучия.

Литература

1. О санитарно-эпидемиологическом благополучия населения : Федеральный закон от 30.03.1999 г. № 52-ФЗ.: принят Государственной Думой 12 марта 1999 года : одобрен Советом Федерации 17 марта 1999 года. - URL: http://www.kremlin.ru/acts/bank/13636 (дата обращения: 30.03.2025). - Текст : электронный.

2. СП 2.5.3650-20. Свод правил. Санитарно-эпидемиологические требования к отдельным видам транспорта и объектам транспортной инфраструктуры : утвержден Постановлением Главного Государственного врача Российской Федерации от 16 октября 2020 года № 30. — Консорциум Кодекс. - URL: https://docs.cntd.ru/document/566406892?ysclid=mbopbvz0cc34064743 (дата обращения: 30.03.2025). - Текст : электронный.

3. МР 2.5.0245-21. Методические рекомендации по обеспечению санитарно-эпидемиологических требований к отдельным видам транспорта о объектам транспортной инфраструктуры : утверждены Федеральной

службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека 17 мая 2021 г. - URL: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/400685064/?ysclid=mbopj8cupb439146796 (дата обращения: 30.03.2025). - Текст : электронный.

4. МР 3.5/2.5.0226-20 Санитарно-противоэпидемические (профилактические) мероприятия по обеспечению санитарно-эпидемиологической безопасности при перевозках пассажиров по муниципальным и межмуниципальным маршрутам автомобильным транспортом и городским наземным электрическим транспортом: Утверждены Руководителем Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 23 декабря 2020 г. - URL: https://legalacts.ru/doc/mr-35250226-20-35-epidemiologija-dezinfektologija-25-gigiena-gigiena-i/?ysclid=mbopzjemh3762806232 (дата обращения: 30.03.2025). - Текст : электронный.

5. Общие технические требования к системам обеззараживания воздушной среды подвижного состава. - Текст : непосредственный.

6. Общие технические требования к системам обеззараживания воздушной среды подвижного состава общественного автомобильного транспорта и городского наземного электрического транспорта. - Текст : непосредственный.

7. Иванов, А. Р. О возможности создания фотокаталитических технологий очистки воздуха / А. Р. Иванов. - Текст : непосредственный // International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology. - 2008. - № 9 (64).

8. Чижевский, А. Л. Руководство по применению ионизированного воздуха в промышленности, сельском хозяйстве и медицине. Методические указания при использовании аэроионификационными установками «Союзтехники» / А. Л. Чижевский. - Москва : Госиздат, 1959 г. - Текст : непосредственный.

9. Наголкин, А. В. «Инновационное решение обеспечения биобезопасности воздушной среды с помощью российской технологии обеззараживания воздуха «Поток» / А. В. Наголкин, М. Ф. Загидулов, Д. И. Донецкая. - Текст : непосредственный // Инновации. - 2015. - № 12 (206). - С. 106 -110.

10. Ультрафиолетовые технологии в современном мире / Кармазинов Ф. В. [и др.] ; под редакцией Ф. В. Кармазинова [и др.]. - Долгопрудный : Интеллект, 2012. - 391 с. + 24 л. цв. илл. - Текст : непосредственный.

11. Давидов, Д. В. Анализ нормативно-технической документации, регламентирующей требования по эффективности и безопасности использования установок обеззараживания воздушной среды на объектах транспорта / Д. В. Давыдов. - Текст : непосредственный // Современные подходы к обеспечению гигиенической, санитарно-эпидемиологической безопасности на транспорте. Сборник трудов молодых ученых и специалистов транспортной отрасли с международным участием, VII выпуск. - Москва : ВНИИЖГ. - 2025. - 290 с.

12. Давыдов, Д. В. Разработка систем и методов контроля эффективности функционирования УОВ на объектах транспорта / Д. В. Давыдов. - Текст : непосредственный // Современные подходы к обеспечению гигиенической, санитарно-эпидемиологической безопасности на транспорте : сборник трудов молодых ученых и специалистов транспортной отрасли с международным участием, VII выпуск. - Москва : ВНИИЖГ. - 2025. - 290 с. Издательство «Авторская мастерская».

13. Патент № 219927 Российская Федерация, МПК H01J 61/04 (2006.01) A61L 2/02 (2006.01). Амальгамная лампа для обеззараживания воздуха в системе вентиляции и кондиционирования транспортного средства: № 2023116940 : заявлено 27.06.2023 : опубликовано 14.08.2023 Бюл. № 23 / Кикнадзе Н. Д.; Общество с ограниченной ответственностью «ЛитТрансСервис». - 7 с. : ил. - Текст : непосредственный.

14. Патент № 2810523 Российская Федерация МПК H05B 41/14 H05B 41/14 (2006.01) Способ зажигания амальгамной бактерицидной газоразрядной лампы : № 2023119249 : заявлено 20.07.2023 : опубликовано: 27.12.2023 Бюл. № 36 / Кикнадзе Н. Д.; Общество с ограниченной ответственностью «ЛитТрансСервис». - 7 с. : ил. - Текст : непосредственный.

Уважаемые авторы!

Редакция журнала «Наука и техника транспорта» просит представлять оригиналы статей, оформленные в соответствии с нижеперечисленными требованиями:

1. Рекомендуемый объем: 5–10 стр.
2. Материалы направляют по электронной почте, набранные в текстовых редакторах MS Word для Windows.
3. Файл — в формате DOC, DOCX или RTF.
4. Формат страницы — А4 (210х297 мм), при этом левое, верхнее и нижнее поля должны быть не менее 20 мм, а правое поле — не менее 10 мм, ориентация страниц книжная.
5. Шрифт Times New Roman (Cyr), размер шрифта 14 pt, межстрочный интервал — полуторный, выравнивание текста по ширине, автоматический перенос, для разметки документа рекомендуется использовать стили текста (назначить нужные стили можно выбрав меню **Формат → Стиль...**). В тексте не должно быть двойных пробелов и двойных абзацев (пустых строк). Все необходимое форматирование (например, расстояние между разделами) можно задавать с помощью тех же стилей, просто установив для стиля заголовка отступы (отбивки) перед и после абзаца.
6. Латинские буквы и простые однострочные формулы вида $A_г = B^2 + CD^2$ набирают прямо в строке MS Word; для вставки одиночных специальных символов, таких как ≤, ≥, ±, ∞, ∪, ∩, → и другие, а также греческих букв используется команда меню **Вставка → Символ...** (используемый шрифт Symbol). Многострочные сложные формулы, формулы с дробями, корнями, матрицы, векторы, системы уравнений и прочие помещают в документ как объект Microsoft Equation или Math Type 5 (**Вставка → Объект...**). Не допускается делить одну формулу на несколько объектов или часть формулы набирать в строке, а часть ее помещать как объект.
7. Любые таблицы набирают непосредственно в MS Word (команда меню **Таблица → Добавить → Таблица...**), либо в тексте дают заголовок таблицы, а таблицу — отдельным файлом MS Excel. Не допускается набор таблиц в тексте с разделением пробелами или табуляцией и сеткой сделанной инструментами рисования, а также помещение в документ Word'а таблиц Excel.
8. Изображения принимаются в форматах:
   - для фото *.tif (без сжатия или LZW) или *.jpg (с максимальным качеством), в разрешении 300 dpi при печатном размере;
   - для рисунков, схем, графиков *.tif, *.jpg, *.bmp, *.gif, *.eps, MS Visio, Corel Draw, Adobe Illustrator (все надписи должны быть переведены в кривые).

Каждое изображение должно быть представлено отдельным файлом. Если нет возможности качественно отрисовать или отсканировать имеющееся изображение, просьба предоставить оригинал (можно от руки).

9. Допускается включение в текст диаграмм, схем и графиков, в том числе выполненных средствами MS Word, при этом рисунок должен быть помещен в текст как объект.
10. К тексту статьи отдельным файлом прилагают аннотацию (4–7 строк), ключевые слова (5–8 слов) на русском и английском языках и указывают шифр научной специальности.
11. Авторский коллектив должен состоять не более чем из 4-х человек.
12. Необходимо представить следующую информацию об авторах:
    - фамилия, имя, отчество;
    - ученая степень, звание;
    - почетные звания, участие в академиях, сведения о наградах;
    - место работы (почтовый индекс, адрес, номера контактных телефонов);
    - должность;
    - область научных интересов (направление исследований);
    - общее количество научных работ;
    - количество монографий;
    - количество учебников, учебных пособий;
    - количество патентов.
13. В отдельном файле в цифровом виде следует приложить качественные цветные фотографии первых двух авторов размером не менее 400×600 пикселей (см. требования к предоставляемым фото) или, при отсутствии цифровых, фотоснимки на глянцевой бумаге.
14. После рецензирования и проверки рукописи в системе «Антиплагиат» автору(ам) предоставляется Лицензионный договор (в 2-х экз.) с целью его подписания.
15. Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

Уважаемые читатели!

Редакция с благодарностью примет предложения по повышению эффективности работы журнала и по улучшению его дизайна.