

НАУКА И ТЕХНИКА ТРАНСПОРТА



ISSN 2074-9325



Транспорт

Безопасность деятельности человека

2024 2

Научно-технический журнал

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

- 2.1.1. Строительные конструкции, здания и сооружения (технические науки);
- 2.1.8. Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей (технические науки);
- 2.1.16. Охрана труда (технические науки);
- 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации (технические науки);
- 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (технические науки);
- 2.9.1. Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте (технические науки);
- 2.9.2. Железнодорожный путь, изыскание и проектирование железных дорог (технические науки);
- 2.9.3. Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация (технические науки);
- 2.9.4. Управление процессами перевозок (технические науки);
- 2.9.8. Интеллектуальные транспортные системы (технические науки).

Адрес редакции:

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

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

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

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

Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ).

Редакция не несет ответственности за представленные материалы. Мнение редакции может не совпадать с мнением автора. Рукописи рецензируются и не возвращаются. Использованы фотоматериалы из открытых источников.

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

Подписано в печать 27.06.2024.

Усл. печ. л. 12,5
Формат 60×90^{1/8}.

Тираж 60 экз.
Тип. зак. 10

© Наука и техника транспорта, 2024



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

Английский перевод

М.Л. Окулова

2' 2024

Транспорт



В.И. Киселев, Т.О. Вахромеева, В.О. Морозов

Совершенствование конструкции воздушного тракта охлаждения узлов тягового электродвигателя локомотива

8



Ж. Янев, А.П. Козловский, Е.А. Овчинникова, А.У. Шаяхметов, А.А. Приходько

Моделирование работы участка Восточного полигона с использованием программы «МСУ» в условиях нарушения «нормального» режима ведения поездов

13



А.С. Шумский, Н.М. Легкий, Г.М. Биленко, С.П. Шумский

К вопросу создания и рационального размещения сортировочных мощностей в железнодорожных узлах для переработки местного вагонопотока

19



В.Ю. Горелик, В.И. Апатцев, А.В. Смыслов

Метод анализа систем с параметрами, изменяющимися по сложному закону

26



Д.И. Бодриков, А.А. Тихонова, И.А. Рыбкин, А.С. Космодамианский, В.П. Смирнов

Совершенствование конструкции тяговых электродвигателей (ТЭД) электровозов, эксплуатируемых на северном направлении Восточного полигона

28



А.В. Орлов, А.Н. Малых, Д.В. Астапенко, Н.В. Романов

Расчет показателей надежности объектов транспортной инфраструктуры с учетом категории отказов на основе данных об отказах третьей категории

32



**Э.Х. Тасанг, О.В. Воронов, В.В. Быкадоров,
А.С. Ключев, Ю.В. Ливцов**

Применение универсальной магнитной характеристики
для тяговых электродвигателей тепловозов

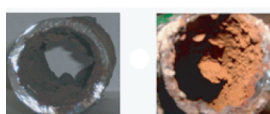
37



К.С. Моренко, С.А. Моренко

Электронный счетчик времени наработки

43



М.Н. Торопов

Гарантированное качество воды от водозабора
к потребителю – экологичный и энергоэффективный
путь решения проблемы водотеплоснабжения отрасли

47



**П.В. Савченко, К.В. Менакер, Т.В. Ежиков,
П.Е. Неугодииков**

Подсистема контроля последовательного занятия
и освобождения индуктивно-петлевых датчиков
в системе контроля занятости железнодорожного
переезда

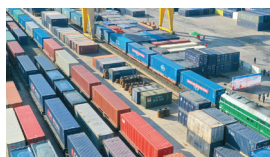
57



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

Методика прогнозирования ресурса узлов и деталей
железнодорожного подвижного состава при помощи
машинного обучения. Проверка и обработка данных

64



В.И. Апатцев, И.М. Басыров

Предложения по совершенствованию организации
регулярного грузового движения на сети ОАО «РЖД»
для повышения эффективности контейнерных
перевозок

67



С.П. Вакуленко, Н.Ю. Евреенова

Основные тенденции совершенствования
системы обслуживания пригородных перевозок
субурбанизированных и неурбанизированных
агломераций

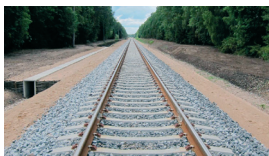
71



В.А. Бугреев, Р.М. Нигай, А.П. Чехов, Е.В. Новиков

Один подход к контролю заезда электропоездов
на блок-участок

76



А.В. Сычева

Снижение вибрационных ускорений шпал под воздействием подвижного состава как способ обеспечения безопасности при эксплуатации железнодорожного пути

80

Безопасность деятельности человека



С.Н. Аверкин, Д.В. Гречушникова, Н.Н. Попова

Обоснование применения и модификации процессов инспекторского контроля и технического аудита для создания безопасной производственной среды проводников и локомотивных бригад

87



О.А. Васюкова, М.В. Капустина, Ю.В. Пименова

Вопросы обеспечения экологической безопасности при проектировании транспортных объектов

93

Transport

V.I. Kiselev, T.O. Vakhromeeva, V.O. Morozov

Improvement of Air Cooling Path Design of Locomotive Traction Motor Units **8**

This article discusses the issues of eliminating defects in existing designs of locomotive traction motors. The authors present technical solutions to improve the reliability of traction engines by developing the cooling system.

Key words: traction motor, insulation, forced cooling system, ventilation ducts

Zh. Yanev, A.P. Kozlovskiy, E.A. Ovchinnikova, A.U. Shayakhmetov, A.A. Prikhodko

Modelling of Eastern Polygon Section Operation using Modelling of Stations and Sections Program in Train Driving Disturbance Conditions. **13**

As a result of the operation analysis of the Eastern Polygon section, an increase in the number of breaks in train schedules for the current track maintenance has been found. The reasons for the decrease in carrying capacity have been identified. The concept of the 'normal' mode of train driving is defined. The modelling was carried out using the Modelling of Stations and Sections Program. The article justifies the application rationality of the Automatic Locomotive Signalling System with Mobile Block Sections.

Key words: Modelling of Stations and Sections Program, 'normal' mode of train driving

A.S. Shumsky, N.M. Legkiy, G.M. Bilenko, S.P. Shumsky

On the Issue of Creating and Rational Placement of Marshalling Capacities in Railway Junctions for Local Car Traffic Processing **19**

The article examines the features of the making up the local freight trains. The authors have carried out an analytical review of theoretical studies in the field of calculation, design, and application of shunting facilities to intensify the process of making up the local trains. The application of Dijkstra's algorithm is proposed for an alternative choice of location of a specialised marshalling station at the railway junction.

Key words: local operation, making up a train, marshalling stations, central transport hub

V.Yu. Gorelik, V.I. Apattsev, A.V. Smyslov

Analysis Method of Systems with Parameters Changing According to Complex Law. **26**

The article considers the class of systems with variable parameters, which also includes transport systems. An essential factor for the analysis of such nonstationary systems is the law of parameter variation, which reflects the nature, speed, frequency, and amplitude of parameter variation. The authors propose an approach based on the system definition by a linear differential equation with time-dependent variable coefficients.

Key words: parametric oscillations, nonstationary transport systems, Laplace transform

D.I. Bodrikov, A.A. Tikhonova, I.A. Rybkin, A.S. Kosmodamiansky, V.P. Smirnov

Design Improvement of Traction Electric Motors of Electric Locomotives Operated in Northern Direction of Eastern Polygon **28**

An analysis of the reliability of the traction electric motors of electric locomotives of the Eastern Polygon is given. The reduced reliability of the insulation of the traction electric motors of VL85, 2ES5K, 3ES5K, and 4ES5K electric locomotives was established. It was revealed that the reason for the decrease in failure-free operation of traction electric motors is the transition from parallel ventilation, which provides the necessary heat output from the armature, main and additional poles, and compensation windings to non-parallel. A transition from non-parallel to parallel ventilation is proposed.

Key words: Eastern Polygon of Russian Railways, electric locomotives, traction electric motors, ventilation imperfection

A.V. Orlov, A.N. Malykh, D.V. Astapenko, N.V. Romanov

Calculation of Reliability Indices of Transport Infrastructure Facilities in Terms of Failure Category Based on Data on Third Category Failures **32**

The article deals with the issue of incidents arising during the operation of railway transport and infrastructure. The incidents that lead to the loss of train-hours are called failures, and they are divided into three categories. The authors proposed a methodology for calculating the reliability indicators for failures of the third category, which makes it possible to assess the quality of the functioning of transport infrastructure facilities.

Key words: failure, transport infrastructure facilities, reliability, railway automation and telemechanics

E.Kh. Tasang, O.V. Voronov, V.V. Bykadorov, A.S. Klyuev, Yu.V. Livtsov

Application of Universal Magnetic Characteristics for Diesel Locomotive Traction Motors **37**

The authors consider the application of dimensionless and universal magnetic characteristics of diesel locomotive traction motors in the calculation of their traction and economic parameters.

Key words: traction power transmission, dimensionless and universal magnetic characteristics

K.S. Morenko, S.A. Morenko

Electronic Operation-Time Counter **43**

The operating time service is more advanced than the calendar service. This type of service requires simple and reliable electronic time counters. One of the options for such a simple and informative counter is given in the article. Practical operation has shown the reliability and usability of such time counters.

Key words: maintenance, counter, electronics, repair, service

M.N. Toropov

Guaranteed Water Quality from Water Intake to Consumer is Environmentally Friendly and Energy Efficient Way for Problem-Solving of Water and Heat Supply in Industry **47**

The author analyses the quality of water from the water intake to the water and heat supply systems, as well as the possibility of reducing the corrosiveness of the liquid medium and the intensity of its scale formation by using crushed activated eco-friendly crystals.

Key words: secondary pollution, water intake, repair enterprises, rolling stock, corrosiveness of liquid medium, scale formation intensity, fuel and energy resource consumption

P.V. Savchenko, K.V. Menaker, T.V. Ezhikov, P.E. Neugodnikov

Subsystem for Monitoring of Sequential Occupancy and Release of Inductive Loop Sensors in Railway Crossing Occupancy Monitoring System **57**

This article is devoted to the creation and operation description of the subsystem for monitoring the sequential occupation and release of the coverage area of inductive loop sensors by motor transport in case of their unauthorised movement in a railway crossing. This control subsystem allows the timely transmission of relevant information to locomotive crews about approaching trains and reduces the emergency probability.

Key words: inductive loop sensor, railway crossing, vehicle, rolling stock

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

Resource Prediction Techniques of Components and Parts of Railway Rolling Stock Using Machine Learning. Data Validation and Processing **64**

This article covers an important step in the processing of data from the Calipri-Ferberg CW-40 (CALIPRI), namely verification and preprocessing. This stage critically affects the quality of machine learning, since the accuracy of the data directly affects the analytical and model results. The main stages of data validation and preprocessing are discussed.

Key words: development of technological processes, repair production, optimisation of transport operations

V.I. Apattsev, I.M. Basyrov

Proposals for Organisational Development of Regular Freight Traffic on Russian Railway Network to Improve Efficiency of Container Transportation **67**

The article discusses a new technology for terminal processing of container traffic. This technology can be used for organising container trains in regional distribution and storage centers. The key problems and the need for scientific justification of new transport equipment (removable car bodies, interchangeable car bodies, and interchangeable motor vehicle bodies) are outlined.

Key words: container transportation, gantry crane, container processing, container terminal

S.P. Vakulenko, N.Yu. Evreenova

Principal Trends in Improving Suburban Transportation Services for Suburbanised and Non-Urbanised Agglomerations. **71**

Nowadays, suburbanised structures are being formed that have various geometric shapes. The article considers measures to attract passenger traffic through zones of ulterior flows. In these areas, special transport systems should be used, guaranteeing, on the one hand, convenience and comfort for passengers, and, on the other, efficient use of resources and reduction of service costs.

Key words: urban transport, railway transport, suburban transportation, suburban and urban transportation

V.A. Bugreev, R.M. Nigay, A.P. Chekhov, E.V. Novikov

Approach to Monitoring Electric Trains at Entrance to Block Section **76**

The article considers the control method of traffic lights standing at the entrance to the block section of the railway track, which record the moment the train arrives at this block section, if it is electrified. The authors propose a new solution for fixing the moment of arrival of the train on the stage by replacing the rail circuit as a source of information with an electromagnetic sensor located next to the contact wire in the area of the beginning of the block section.

Key words: central interlocking system, block section of railway track, railway automation

A.V. Sycheva

Reduction of Vibration Accelerations of Sleepers Under Influence of Rolling Stock as Way to Safeguard During Railway Track Operation **80**

The paper proposes a method for increasing the safety of rolling stock interaction due to the reduction of the fundamental tone of oscillation frequencies. The calculation of railway track vibrations at the increased speeds is given.

Key words: railway track, rolling stock, rails, vibrations, high-frequency component, method, calculation

Safety of human activity

S.N. Averkin, D.V. Grechushnikova, N.N. Popova

Justification of Application and Modification of Inspection Control and Technical Audit Processes to Create Safe Working Environment for Conductors and Locomotive Crews . . . **87**

The article considers the prerequisites for the application of inspection control and technical audit as tools that ensure the safety of rolling stock for employees who operate and maintain it. The authors have identified directions to improve these tools in the context of science development and the range of materials used.

Key words: driver, conductor, rolling stock, working environment, inspection control, technical audit

O.A. Vasyukova, M.V. Kapustina, Yu.V. Pimenova

Environmental Safety Issues in Design of Transport Facilities **93**

This article discusses the issues of ensuring environmental safety in the design of transport facilities. Particular attention is paid to the potential pollution of the environment with wastewater and the need for wastewater treatment in railway transport, depending on the source of their formation.

Key words: environmental safety, transport facilities, waste water, contaminants, storm runoff

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ВОЗДУШНОГО ТРАКТА ОХЛАЖДЕНИЯ УЗЛОВ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ЛОКОМОТИВА



В.И. Киселев



Т.О. Вахромеева

В данной статье рассматриваются вопросы устранения недостатков существующих конструкций тяговых электродвигателей локомотивов. Представлено предложение технических решений для повышения надежности работы тяговых двигателей посредством улучшения системы охлаждения.

Ключевые слова: тяговый электродвигатель, изоляция, система принудительного охлаждения, вентиляционные каналы

EDN: GDTNWQ

Анализ технического состояния тяговых электродвигателей (ТЭД) за последние 20 лет показывает, что процент отказа электродвигателей находится на уровне 20–30% от общего числа отказов локомотивов.

Среди принимаемых мер по снижению отказов двигателей следует отметить исследования по совершенствованию систем изоляции ТЭД. Работ по повышению эффективности охлаждения узлов электродвигателей локомотивов в настоящее время почти нет.

Рост весов поездов и скоростей движения приводит к повышению нагрева изоляции обмоток, необратимому ее старению и снижению электрической и механической прочности. Повышение температуры изоляции выше допустимой на 8–10°C снижает срок ее службы в два раза (Правило Монтзингера) [1].

Темпы теплового старения внутренней изоляции определяются скоростями химических реакций, зависящими от температуры. Обычно полагают, что срок службы при тепловом старении обратно пропорционален скорости химических реакций. В этом случае отношение сроков службы изоляции τ_1 и τ_2 при разных температурах T_1 и T_2 будет выражаться

$$\frac{\tau_1}{\tau_2} = 2^{\frac{(T_1 - T_2)}{\Delta T}},$$

где ΔT — повышение температуры, вызывающее сокращение срока службы изоляции при тепловом старении в 2 раза.

Значение ΔT для разных видов изоляции лежит в пределах 8–12°C, а для изоляции тяговых электродвигателей составляет 10°C. Уравнение называют

Киселев Валентин Иванович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Электропоезда и локомотивы» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: тяговый электрический привод подвижного состава железных дорог, надежность электрических машин, электромеханика. Автор более 100 научных работ.

Вахромеева Татьяна Олеговна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электропоезда и локомотивы» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: динамика подвижного состава, прочность механических конструкций, гидрогазодинамика. Автор 30 научных работ, в том числе пяти учебных пособий.

Морозов Владислав Олегович, аспирант кафедры «Электропоезда и локомотивы» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: надежность электрических машин, электромеханика, гидрогазодинамика. Автор четырех научных работ.

правилом Монтзингера, или правилом десяти градусов [2].

На долговечность изоляции также оказывают влияния термомеханические напряжения в обмоточно-изоляционных конструкциях, вызываемые разностью теплового расширения токопроводящей меди и ее изоляции.

ГОСТ 2582-2013 «Машины электрические вращающиеся тяговые. Общие технические условия» устанавливает в эксплуатации более высокие температуры нагрева изоляции обмоток, ужесточая требования к нагревостойкости изоляционных материалов [3].

Допускаемые нормы температуры изоляции электрических машин в зависимости от классов нагревостойкости по отношению к температуре охлаждающего воздуха приведены в табл. 1.

Устанавливаемые правилами ремонта сопротивления изоляции обмоток относительно заземленных частей электрической машины и межвитковой изоляции должны быть не менее:

- 500 МОм в холодном состоянии;
- 1 МОм при температуре, близкой к рабочей температуре, установленной для данного класса нагревостойкости.

Сопротивление изоляции электрических машин, рассчитывается по формуле:

$$R_{из} = \frac{U_n}{1000 + 0,01P_n},$$

где U_n — номинальное напряжение, В;

P_n — номинальная мощность, кВт;

Для машин малой и средней мощности локомотивов предлагается проводить вычисление по упрощенной формуле:

$$R_{из} = \frac{U_n}{1000},$$

что соответствует величине сопротивления 1 МОм на 1000 В рабочего напряжения (1 кОм на 1 В).

В связи с изложенным, для ТЭД локомотивов предлагаются критерии оценок, приведенные в табл. 2.

Охлаждение узлов ТЭД не должно допускать превышения установленных норм нагрева изоляционных конструкций двигателя, для чего в конструкцию размещения узлов внутри двигателя должны быть внесены изменения, способствующие снижению сопротивления проходу воздуха.

Конструкциям охлаждения ТЭД отечественных локомотивов присущи отдельные недостатки, кото-

Таблица 1

Предельно допускаемые значения повышения температуры изоляционных конструкций тяговых электрических машин локомотивов

Узлы электрической машины	Класс нагревостойкости изоляции						
	Е	В	Ф	Н	200	220	250
Электрические машины постоянного и пульсирующего тока							
Обмотки главных и дополнительных полюсов, компенсационная обмотка	115	130	155	180	200	220	250
Обмотки якорей	105	120	140	160	180	200	220
Электрические машины переменного тока							
Обмотки статора. Вращающиеся и неподвижные обмотки возбуждения синхронных машин	115	130	155	180	200	220	250

Примечание. Температура охлаждающего воздуха, от которой отсчитывается нагрев изоляции, принимается равной 40°C.

Таблица 2

Оценки сопротивления изоляции ТЭД локомотивов

$R_{из}/U_n$, кОм/В	Качество изоляции
Менее 1	Неудовлетворительное
Равное 1	Удовлетворительное
Более 1	Хорошее

рые в настоящее время находятся вне поля зрения конструкторов и эксплуатационников:

1. Уменьшение диаметров вентиляционных отверстий сердечников якорей вследствие засорения их поступающим воздухом после охлаждения коллекторно-щеточного узла содержащие продукт износа щеток и коллекторных пластин. Наличие паров масла в охлаждающем воздухе (так как в холодное время воздух забирается из дизельного помещения) еще более ускоряет процесс отложения упомянутых продуктов в вентиляционных отверстиях.

При поступлении якорей электродвигателей на ремонт нередко обнаруживаются якоря не только с частично, но и с полностью забитыми продуктами износа вентиляционными отверстиями.

Устранение этого дефекта может быть достигнуто за счет разделения потока охлаждающего воздуха во внутренней полости электродвигателя на поток, идущий непосредственно в упомянутые вентиляционные отверстия и поток, охлаждающий коллекторно-щеточный узел и обмотки магнитной системы якоря (рис. 1) [4];

2. Дополнительные сопротивления потоку охлаждающего воздуха в полости электродвигателя создают ребра нажимных шайб сердечника якоря, частично перекрывающие вентиляционные отверстия прохода воздуха через сердечник (рис. 2). Наличие ребер снижает поток воздуха в вентиляционных отверстиях на 8–10%, что сказывается на эффективности охлаждения.

В качестве решения этой проблемы предлагаются конструкции дисковых нажимных шайб, аналогичных шайбам на ТЭД чешских маневровых тепловозов. В дисковых шайбах вентиляционные отверстия выполнены соосными с вентиляционными отверстиями сердечника якоря.

Непонятна позиция отечественных конструкторов в использовании реберных нажимных шайб вместо дисковых, несмотря на имеется негативный опыт эксплуатации таких шайб, на ребрах которых возникали трещины вследствие больших крутящих моментов, передаваемых шайбами от сердечника якоря на вал электродвигателя (в конструкциях ЭДТ-107). Конструкторы, вместо отказа от реберных шайб, пошли по пути внедрения нажимных шайб с утолщенными ребрами, что увеличивает сопротивление проходу охлаждающего воздуха в вентиляционные отверстия сердечника (ТЭД ЭД-118, ЭДУ-113). Совершенно непонятен отказ в применении положительного опыта надежной работы якорей ТЭД чешских маневровых тепловозов с дисковыми шайбами.

Авторами, в инициативном порядке были изготовлены подобные дисковые шайбы для электродвигателей ЭД-118 (вместо реберных), которые показали лучшие условия охлаждения в эксплуатации (рис. 3);

3. Наличие в системе охлаждения ТЭД так называемой прослойки смятого охлаждающего воздуха на поверхности коллектора вследствие его ребристости (обусловленная наличием продорожек между пластинами коллектора).

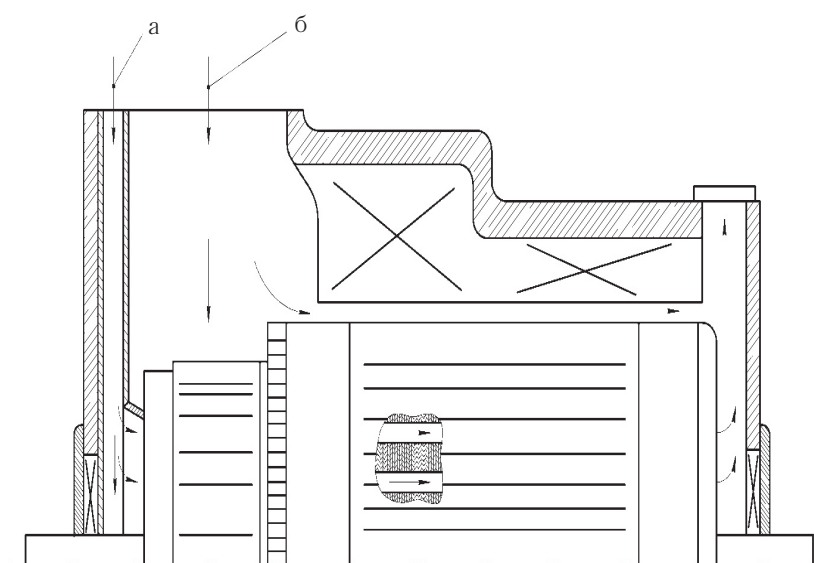


Рис. 1. Предлагаемая схема разделения потока охлаждающего воздуха внутри ТЭД:

а – к вентиляционным отверстиям сердечника якоря;

б – к коллекторно-щеточному узлу и обмоткам магнитной системы

Упомянутая прослойка воздуха (гипотеза впервые высказана авторами данной статьи), вращаясь вместе с коллектором, препятствует поступлению вновь охлаждающего воздуха непосредственно на поверхность коллекторных пластин якоря, вследствие чего отсутствует контакт свежего охлаждающего воздуха с поверхностью коллекторных пластин. Прослойка воздуха размещается между поверхностью коллектора и вновь поступающим воздухом от вентилятора электродвигателя и не способствует охлаждению коллектора якоря.

Данное нежелательное явление может быть устранено за счет разработки реверсивного устройства,

располагающегося в воздушной полости электродвигателя и направляющее поток охлаждающего воздуха по касательной к поверхности коллектора;

4. Охлаждение наиболее термонапряженных задних лобовых частей обмоток якоря осуществляется горячим воздухом, поступающим на лобовые части обмотки якоря после охлаждения коллектора, якоря и магнитной системы, что не способствует эффективному охлаждению.

Радикальным решением является изменение направления потока охлаждающего воздуха внутри ТЭД от наиболее нагретых задних лобовых частей к коллектору якоря, то есть противопо-

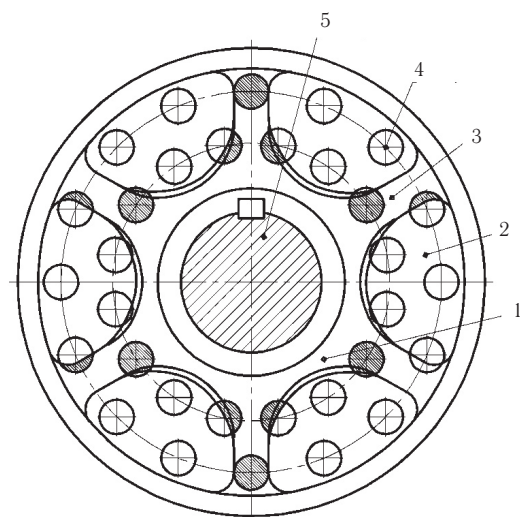


Рис. 2. Схема перекрытия вентиляционных отверстий сердечника ребрами нажимной шайбы якоря (заштрихованные отверстия): 1 – нажимная шайба с утолщенными ребрами; 2 – сердечник якоря; 3 – ребро нажимной шайбы; 4 – вентиляционное отверстие сердечника якоря; 5 – вал якоря

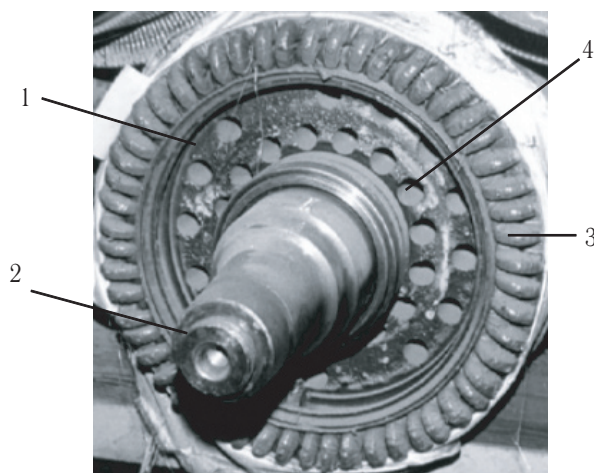


Рис. 3. Якорь ТЭД с нажимной шайбой, выполненной в виде диска: 1 – нажимной диск; 2 – вал якоря; 3 – лобовые части обмотки якоря; 4 – вентиляционные отверстия диска, соосные с отверстиями сердечника

ложное ныне существующему направлению потока воздуха (рис. 4).

При реализации данной схемы системы охлаждения устраняются негативные явления, изложенные в пунктах 1, 3, 4 данной статьи, а замена рёберных нажимных шайб на дисковые (см. пункт 2) будет способствовать повышению эффективности охлаждения ТЭД локомотивов.

Перед проектировщиками электрических машин стоит задача разработки рациональной системы охлаждения ТЭД в соответствии с предложениями авторов. В связи с большой сложностью теплового

и аэродинамического расчета электрических машин результаты расчета должны быть подтверждены экспериментальными исследованиями неизученных конструкций.

Авторы выражают надежду, что указанная публикация привлечет внимание конструкторских бюро Новочеркасского электровозостроительного завода, Брянского машиностроительного завода, Дирекции тяги ОАО «РЖД» и, на основе совместной работы с авторами статьи, предложенные технические решения будут успешно внедрены в отечественном локомотивостроении.

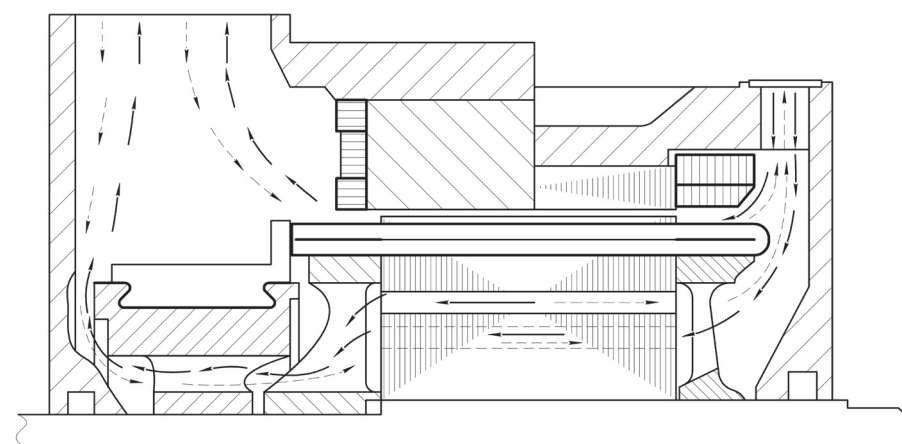


Рис. 4. Радикальное изменение потока воздуха в полости ТЭД:

— — предлагаемая схема; - - - - серийная схема

Литература

1. Бернштейн, Л. М. Изоляция электрических машин общепромышленного применения / Л. М. Берштейн. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : Энергия, 1971. - 367 с. - Текст : непосредственный.
2. Серебряков, А. С. Электротехническое материаловедение. Электроизоляционные материалы : учебное пособие для вузов железнодорожного транспорта / А. С. Серебряков. - Москва : Маршрут, 2005. - 278 с. - Текст : непосредственный.
3. ГОСТ 2582-2013. Машины электрические вращающиеся тяговые. Общие технические условия = Rotating electrical traction machines for rail and road vehicles. General technical 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. №1969-ст : введен впервые : дата введения 2015-01-01 / разработан Открытым акционерным обществом «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (ОАО «ВНИИЖТ») : внесена поправка, опубликованная в ИУС №3, 2019 год. Поправка внесена изготовителем базы данных : внесено изменение №1, утвержденное и введенное в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 22.01.2020 №10-ст с 01.04.2020. Изменение №1 внесено изготовителем базы данных по тексту ИУС №3, 2020. - Москва : Стандартинформ, 2014. - 54 с. - Текст : непосредственный.
4. Патент № 2800043 С1 Российская Федерация, МПК H02K 9/04 (2006.01) .Тяговый электродвигатель: № 2022133381: заявл. 20.12.2022; опубликовано 17.07.2023 / В. И. Киселев, А. И. Федянин, В. О. Морозов; заявитель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет транспорта». - Текст : непосредственный.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ УЧАСТКА ВОСТОЧНОГО ПОЛИГОНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММЫ «МСУ» В УСЛОВИЯХ НАРУШЕНИЯ «НОРМАЛЬНОГО» РЕЖИМА ВЕДЕНИЯ ПОЕЗДОВ

В результате анализа работы участка Восточного полигона обнаружено увеличение количества предоставленных окон для текущего содержания путей. Выявлены причины снижения показателей пропускной способности. Дано определение понятию ««нормальный» режим ведения поезда». Проведено моделирование с использованием программы «МСУ». Обоснована рациональность применения системы автоблокировки «АЛСО с ПБУ».

Ключевые слова: программа «МСУ» (Программа «Моделирования станций и участков»), «нормальный» режим ведения поезда

EDN: ULANNL



Ж. Янев



А.П. Козловский

Восточный полигон — комплексное приоритетное направление развития внешних транспортных связей России, от состояния инфраструктуры, состояния используемого подвижного состава [1] и технологии управления перевозочным процессом которого зависит увеличение объемов перевозимых грузов, в том числе и для выполнения поставленных задач, поставленных Правительством РФ [2]. Предложенные подходы по эксплуатации современного локомотивного

комплекса, изложенные в работах [3;4], могут привести к положительным результатам при условии, что уровень их развития соответствует уровню развития инфраструктуры и технологий управления перевозочным процессом [5].

В утвержденной методике [6] ключевым параметром, влияющим на величину пропускной способности участка, является межпоездной интервал, величина которого обеспечивается системой интервального

Янев Живко, старший преподаватель кафедры «Железнодорожные станции и транспортные узлы» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)), главный специалист по имитационному моделированию научно-технического комплекса цифрового моделирования им. В.И. Уманского (НТК ЦМ им. В.И. Уманского) Акционерного общества «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте» (АО «НИИАС»). Область научных интересов: организация производства, управление процессами перевозок. Автор 26 научных работ, в том числе одного учебника. Имеет один патент на изобретение.

Козловский Алексей Петрович, начальник научно-технического комплекса цифрового моделирования им. В.И. Уманского (НТК ЦМ им. В.И. Уманского) Акционерного общества «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте» (АО «НИИАС»). Область научных интересов: организация производства, управление процессами перевозок. Автор 12 научных работ. Имеет два патента на изобретения.

Овчинникова Елена Александровна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Железнодорожные станции и транспортные узлы» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: организация производства, управление процессами перевозок. Автор 26 научных работ, в том числе трех учебников.

Шаяхметов Артем Уралович, начальник центра моделирования работы полигонов научно-технического комплекса разработки организации движения и общих проектных решений (НТК РОДиОПР) Акционерного общества «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте» (АО «НИИАС»). Область научных интересов: организация производства, управление процессами перевозок.

Приходько Артем Андреевич, главный специалист научно-технического комплекса цифрового моделирования им. В.И. Уманского (НТК ЦМ им. В.И. Уманского) Акционерного общества «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте» (АО «НИИАС»). Область научных интересов: организация производства, управление процессами перевозок. Автор трех научных работ. Имеет один патент на изобретение.

регулирования движения поездов (ИРДП) и реализуемой скоростью движения.

В настоящее время предложен новый подход, направленный на поддержание и увеличение вышеупомянутых показателей. АО «НИИАС» рекомендованы технико-технологические решения по сдерживанию и увеличению показателей размеров грузового движения и технической скорости в условиях введения внеплановых скоростных ограничений на участках Восточного полигона, связанных с проведением работ по ремонту и содержанию инфраструктуры и отказами технических средств (ОТС).

Выполнен анализ потерь допустимой скорости в условиях введения внеплановых скоростных ограничений, представленный на рис. 1. Величина потерь допустимой скорости движения поездов в границах Восточного полигона неоднородная и находится в диапазоне значений от 0 до 20,7%, что эквивалентно снижению величины расчетной пропускной способности до 20 пар грузовых поездов в сутки.

О необходимости изменения планирования ремонтных работ на участках сети железных дорог ОАО «РЖД» в работе [8] был предложен перспективный поликритериальный алгоритм, направленный на формирование очередности проведения ремонтных работ с учетом их типа и физических параметров, полученных с использованием балльно-рейтинговой оценки состояния перегонов. Результаты работы алгоритма позволили сформировать концептуально новый подход в области планирования ремонтных работ и сделать выводы, что не всегда емкие капиталовложения в инфраструктуру являются основным способом в решении поставленных задач.

В работе [9] автором предлагается групповое автоведение поездов как фактор повышения пропускной способности участков железных дорог. Исследования показали, что процент исполнения допустимой скорости движения тем ниже, чем больше запрещающих показаний локомотивного/напольного светофора, на которые осуществляется движение. Так, на участках «Тюмень — Екатеринбург», «Каменск-Уральский — Екатеринбург» при движении на «зеленый» процент исполнения допустимой скорости составляет 72–74%, на «желтый» — 56–59%, на «красный» — 39–48% (рис. 2).

В рамках проведенного исследования также была рассмотрена реальная эксплуатационная обстановка,

по которой был выявлен отрицательный синергетический эффект от внеплановых ограничений скорости движения вследствие нарушенного «нормального» режима ведения поездов*.

На рис. 3 представлен фрагмент графика исполненного движения системы ГИД «УРАЛ-ВНИИЖТ», где обнаруженная «невыдержка» нормального режима ведения поезда привела к увеличению перегонного времени хода поездов с цифровыми индексами 2 и 6 с 20 минут до 32 минут соответственно.

По фрагменту на рис. 3 выявлен рост величины перегонного времени хода попутных поездов в пакете, что повлияло на снижение показателя технической скорости.

Сопоставив результаты моделирования вариантного графика движения поездов с результатами фактического графика исполненного движения по участку Восточного полигона (рис. 4) выявлено снижение величины размеров грузового движения.

По результатам моделирования, представленных на рис. 4, выявлено, что поведенческая модель машинистов, балльно-рейтинговая оценка состояния перегонов и фактор снижения технической скорости с учетом показания сигналов привели к увеличению межпоездных интервалов, что в свою очередь привело к снижению количества пропущенных по участку грузовых поездов с 54 пар поездов до 45 пар поездов в сутки.

Для апробации предложенных подходов по минимизации потерь пропускной способности была разработана цифровая модель участка Восточного полигона с использованием программы «МСУ» [10].

К апробации также были предложены две системы ИРДП:

- числовая кодовая автоблокировка (ЧКАБ);
- технология ИРДП «АЛСО с ПБУ».

В цифровой модели участка Восточного полигона задано ограничение скорости движения попутных поездов в пакете по первому пути перегона в 20 км/ч протяженностью 200 метров (проследование мест производства работ по ремонту и содержанию инфраструктуры).

По результатам моделирования пропуска пакета из шести поездов при «ЧКАБ» общее время занятия перегона составило 89,6 мин. На рис. 5 наглядно представлен фрагмент пропуска поездов по участку цифровой модели, а также продемонстрирован учет работы системы СЦБ и тяговой характеристики каждого поезда отдельно.

* «Нормальный» режим ведения поезда — это режим, при котором соблюдается поведенческая модель машиниста с учетом выполнения требований из изготовленных режимных карточек ведения поезда по участку на основе заданных физико-математических параметров (масса поезда, длина поезда, состояние поезда, мощность локомотива, погодные условия и пр.).



Рис. 1. Анализ потерь допустимой скорости движения грузовых поездов и их влияния на величину потерь пропускной способности

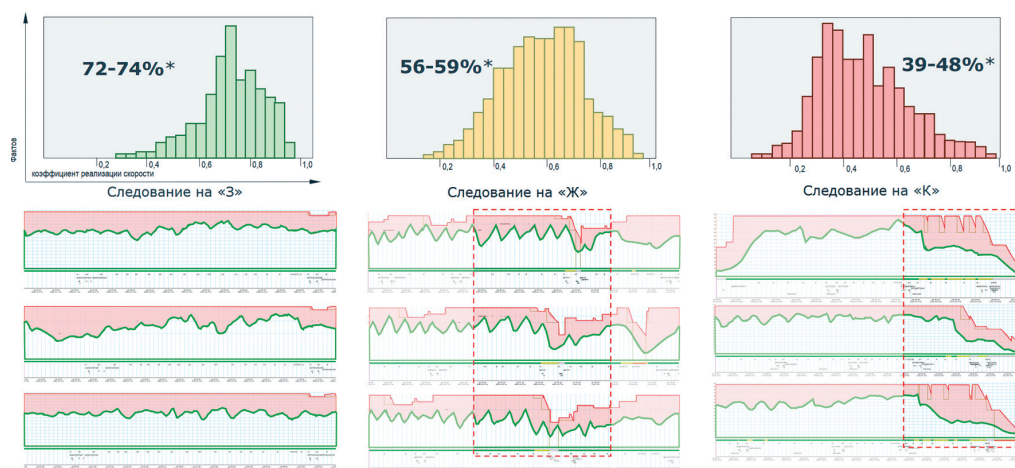


Рис. 2. Зависимость исполнения допустимой скорости движения поездов от показания сигнала, на который осуществляется движение

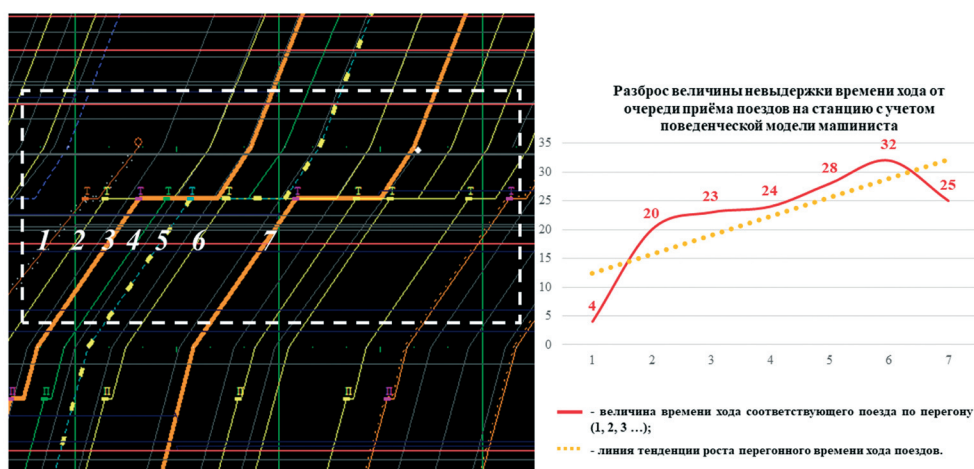


Рис. 3. Фрагмент результатов работы системы ГИД «УРАЛ-ВНИИЖТ» и графики разброса величины «невыдержки» перегонного времени хода попутных поездов в пакете в условиях нарушения «нормального» режима ведения поездов

В условиях эксплуатации автоблокировки на исследуемом перегоне с «подвижным» блок-участком «АЛСО с ПБУ» общее время занятия перегона составило 76,4 минуты (рис. 6). Эффект рационального пропуска поездов с сдерживанием величины исследуемых показателей достигнут за счет сокращения интервалов между поездами вследствие высокой дискретности блок-участков (рельсовые цепи длиной 350 метров).

На рис. 7 представлен сводный сравнительный анализ результатов имитационного моделирования, в котором нормативное перегонное время следования пакета из шести поездов составляет 48 минут. При

выполнении исследования было выявлено, что с учетом работы систем СЦБ, поведенческой модели ведения поезда по участку, балльно-рейтинговой оценки состояния перегона и группового ведения поездов по участку, фактическое время следования при «ЧКАБ» составляет 90 мин, а при «АЛСО с ПБУ» — 76 мин. Величина потери технической скорости на перегоне с применением «ЧКАБ» составила —30,4 км/ч, а при «АЛСО с ПБУ» —24,1 км/ч.

В результате применения системы ИРДП с «подвижным» блок-участком «АЛСО с ПБУ» было сокращено время занятия перегона пакетом поездов на 13,2 минут и снижение потерь технической скорости на 6,3 км/ч.

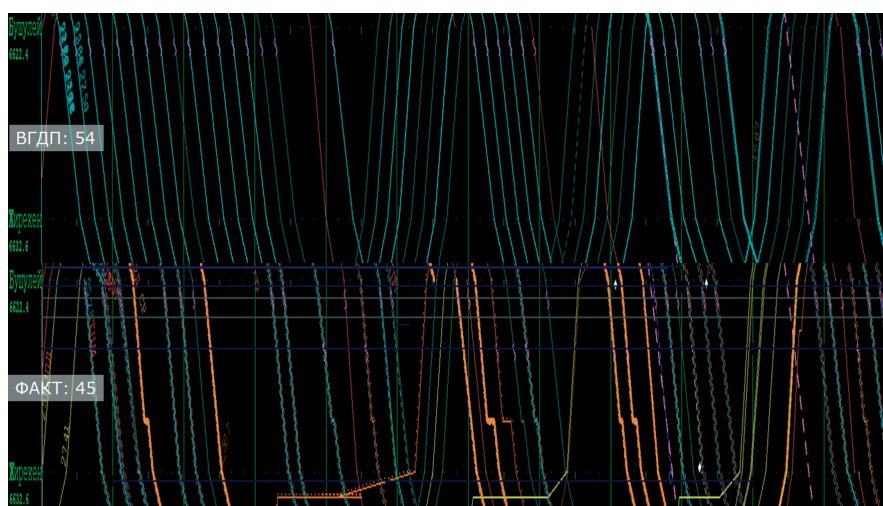


Рис. 4. Фрагменты результатов моделирования вариантного и фактического графика движения поездов по участку Восточного полигона

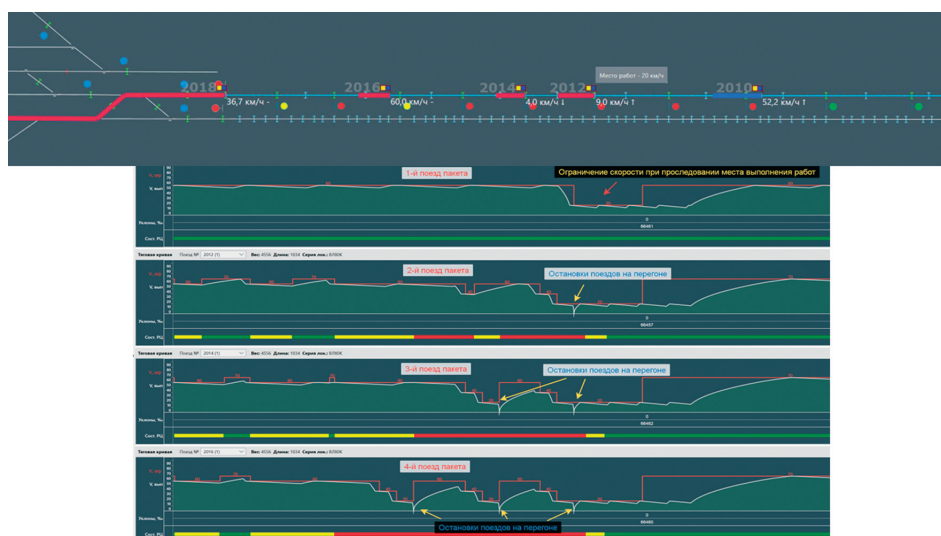


Рис. 5. Фрагмент выходных форм имитационного моделирования пропуска поездов при «ЧКАБ»

Таким образом, рациональность применения системы ИРДП «АЛСО с ПБУ» в целях повышения пропускной способности ориентировочно составляет порядка 17%, при кодах «АЛСН», и до 25% при кодах «АЛС-ЕН» (многозначная локомотивная сигнализация).

Заключение

В условиях реализации инвестиционных программ ОАО «РЖД» по развитию железнодорожной инфраструктуры Восточного полигона, при капитальных ремонтах путей на других направлениях сети технология применения системы ИРДП «АЛСО с ПБУ» позволит:

- сократить потери пропускной способности в период длительных закрытий на временно-однопутных перегонах;
- нивелировать влияние ограничений допустимой скорости движения поездов из-за влияния ОТС;
- рассмотреть вопросы увеличения непрерывной продолжительности закрытия перегонов.

Проведенное исследование подчеркивает актуальность вопроса технологии быстрого развертывания системы ИРДП «АЛСО с ПБУ» на ограничивающих перегонах в кратчайшие сроки.

Однако, проведенное исследование требует дополнительной проработки вопроса влияния внеплановых скоростных ограничений на величину потерь пропускной способности участков и динамику продвижения поездов.



Рис. 6. Фрагмент выходных форм имитационного моделирования пропуска поездов при «АЛСО с ПБУ»

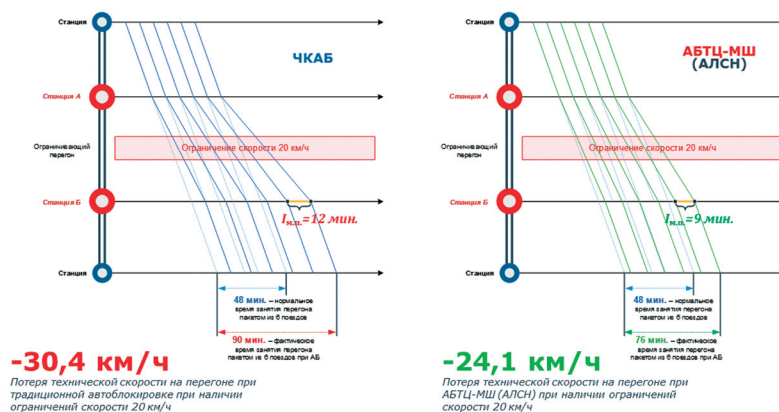


Рис. 7. Результаты моделирования работы участка Восточного полигона при «ЧКАБ» и «АЛСО с ПБУ»

Литература

1. Криворотов, А. А. Инфраструктура Восточного полигона: реальность и перспективы / А. А. Криворотов, Н. Н. Григорьева. - Текст : непосредственный // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. - 2022. - Т. 1. - С. 330-334. - EDN: GPYMNB.
2. Изменение работы тягового подвижного состава на участках железных дорог Восточного полигона / А. А. Власенский, Г. И. Суханов, А. В. Супруновский, И. Г. Белозерова. - Текст : непосредственный // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. - 2021. - № 2(70). - С. 154-161. - DOI 10.26731/1813-9108.2021.2(70).154-161. - EDN: VUGHPH.
3. Валинский, О. С. Локомотивный комплекс Восточного полигона: ориентир на современные технологии / О. С. Валинский. - Текст : непосредственный // Железнодорожный транспорт. - 2022. - № 4. - С. 36-39. - EDN: QJMPUJ.
4. РЖД планируют закупить 549 локомотивов в 2024 году // РЖД [сайт]. - URL: <https://company.rzd.ru/rz/9397/page/104069?id=291303> (дата обращения: 14.02.2024). - Текст : электронный.
5. Документ «Стратегия развития железнодорожного транспорта в РФ до 2030 года» от 17 июня 2018 г. № 877-р [сайт]. - URL: <https://mintrans.gov.ru/documents/1/1010> (дата обращения: 11.04.2024). - Текст : электронный.
6. Приказ Министерства транспорта РФ от 18 июля 2018 г. № 266 «Об утверждении Методики определения пропускной и провозной способностей инфраструктуры железнодорожного транспорта общего пользования» [сайт]. - URL: <https://docs.cntd.ru/document/542629643> (дата обращения: 11.04.2024). - Текст : электронный.
7. Янев, Ж. Математический алгоритм создания цифровой топологической модели станции в программе ИСУЖТ / Ж. Янев, Е. А. Овчинникова, Н. О. Бересток. - Текст : непосредственный // Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов. - 2020. - № 1(2). - С. 194-200. - EDN: MPCCSP.
8. Гургенидзе, И. Р. Алгоритм выбора последовательности проведения работ на инфраструктуре при выполнении эксплуатационной работы / И. Р. Гургенидзе. - Текст : непосредственный // Железнодорожный транспорт. - 2023. - № 9. - С. 19-23. - EDN: XUUCEC.
9. Бушуев, С. В. Пути повышения провозной способности участков железных дорог / С. В. Бушуев. - Текст : непосредственный // Автоматика на транспорте. - 2022. - Т. 8, № 4. - С. 343-353. - DOI 10.20295/2412-9186-2022-8-04-343-353. - EDN: FICKYY.
10. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021618611 Российская Федерация. Программа моделирования станций и участков (комплекс МСУ) : № 2021617585 : заявлено 20.05.2021. Дата публикации : 29.05.2021 / М. Н. Бутым, И. В. Глебов, И. Р. Гургенидзе [и др.]; заявитель : акционерное общество «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте». - EDN: DGMMMP. - Текст : непосредственный.

К ВОПРОСУ СОЗДАНИЯ И РАЦИОНАЛЬНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ СОРТИРОВОЧНЫХ МОЩНОСТЕЙ В ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ УЗЛАХ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ МЕСТНОГО ВАГОНОПОТОКА

В статье рассмотрены особенности формирования местных грузовых поездов. Выполнен аналитический обзор теоретических исследований в области расчета, проектирования и сфер применения сортировочных устройств для интенсификации процесса формирования местных поездов. Предложено применение алгоритма Дейкстры для выбора варианта местоположения специализированной сортировочной станции в железнодорожном узле.

Ключевые слова: местная работа, формирование поездов, сортировочные станции, Центральный транспортный узел

EDN: ZKTHOM



А.С. Шумский



Н.М. Легкий

Залогом повышения уровня привлекательности, эффективности и качества транспортного обслуживания на железнодорожном транспорте является дальнейшее совершенствование перевозок грузов, особенно на завершающем этапе перевозочного процесса — при организации местной работы.

Перевозочный процесс в классическом понимании включает в себя грузовую, поездную и сортировочную работу. Все они задействованы в обеспечении местной работы, хотя принципы организации движения и расформирования-формирования составов местных поездов имеют особенности.

Организация местной работы на практике будет успешной, при удовлетворении условий [1]:

- соблюдено выполнение плана погрузки грузов;
- обеспечено ускорение развоза и уборки местных вагонов;
- выполнено наиболее производительное использование вагонов и локомотивов;
- выполнены установленные нормы продолжительности непрерывной работы локомотивных бригад;
- обеспечена согласованность в работе станций, участков и железнодорожных путей необщего пользования.

Шумский Алексей Сергеевич, аспирант кафедры «Управление эксплуатационной работой и безопасностью на транспорте» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: вопросы повышения эффективности управления перевозками и безопасности движения, технологии работы, размещения и развития технических станций. Автор девяти научных работ.

Легкий Николай Михайлович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Управление транспортными процессами» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: вопросы автоматизации транспортных и логистических процессов, обеспечения безопасности движения, безопасности железнодорожной инфраструктуры. Автор 136 научных работ.

Биленко Геннадий Михайлович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Управление транспортными процессами» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: вопросы выбора способов усиления пропускной способности железнодорожных станций и участков, совершенствования технологии работы железнодорожных станций. Автор 57 научных работ.

Шумский Сергей Петрович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Управление транспортными процессами» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: вопросы совершенствования технологии работы станций, обеспечения безопасности движения, развития и проектирования железнодорожной инфраструктуры. Автор 51 научной работы.

От используемой технологии формирования местных поездов (с учетом задержек и непроизводительных простоев) зависит общее время нахождения вагонов на станции, которое, в свою очередь, влияет на соблюдение установленных сроков доставки грузов — одного из важных показателей эффективности перевозочного процесса в целом.

В настоящее время имеют место значительные нарушения сроков доставки грузов. Так, в [2] установлено, что большое количество срывов сроков доставки грузов (более 64 %) вызвано длительным нахождением местных вагонов на сортировочных станциях. Подобная ситуация сопровождается экономическими потерями и требует адекватных мероприятий по совершенствованию путевого развития и технологии работы станций, а также принятия диспетчерским аппаратом соответствующих управленческих решений. Известно, что в соответствии со ст. 97 [3] за просрочку доставки грузов перевозчику соответствующего вида транспорта требуется уплатить пени в размере 6 % платы за перевозку грузов за каждые сутки просрочки (неполные сутки считаются за полные). Порой это немалые денежные средства.

К местным поездом относятся сборные, сборно-участковые и передаточные поезда, часть из которых являются многогруппными. Выбор технологии и продолжительность выполнения операций по формированию поездов, как правило, зависит от компоновки схемных решений путевого развития комплекса формирования: наличия, расположения, мощности основных и дополнительных сортировочных устройств, размещения основных и дополнительных сортировочных или сортировочно-группировочных парков, от количества подбираемых поездных групп в составах местных поездов и от числа сортировочных путей для накопления групп вагонов.

На сегодняшний день известны и ниже представлены следующие основные технологии формирования местных поездов на сортировочных станциях.

Первый вариант предусматривает технологию формирования местных поездов на сортировочных станциях, при которой выполнение операций по сортировке местных вагонов с целью подборки их в группы и затем сборки (перестановки) этих групп на путь образования местного состава осуществляется с использованием одних и тех же сортировочных горок, сортировочных и вытяжных путей, как и при формировании обычных грузовых поездов. Подробно последовательность и порядок расчета продолжительности выполнения операций этой технологии формирования изложены в [4]. Эта технология используется давно и успешно. Однако она характеризуется рядом недостатков: отсутствием поточности выполнения

операций, дополнительными передвижениями вагонов, высокой степенью загрузки выходных горловин сортировочных парков и их соединений (вытяжных путей) с отправочными парками и, соответственно, затратна по времени.

Второй вариант технологии формирования местных поездов предусматривает накопление местных вагонов на одном из путей в основном сортировочном парке. Далее выполняется его вытягивание в сторону парка отправления, а затем — повторный встречный роспуск на дополнительной сортировочной горке малой мощности, расположенной в выходной горловине основного сортировочного парка для последующего накопления и подбора групп на путях основного сортировочного парка и затем формирования. Этот вариант технологии является более производительным в сравнении с первым (отпадает необходимость использования вытяжек формирования) и направлен на ускорение операций по подборке групп вагонов в формируемых местных поездах благодаря устройству дополнительной сортировочной горки малой мощности [5].

Третий вариант предусматривает технологию формирования местных поездов с использованием выделенной на сортировочной станции технологической линии для переработки местных вагонопотоков с сооружением за основным сортировочным парком дополнительной сортировочной горки малой мощности, а последовательно за ней — сортировочного (или сортировочно-группировочного) парка [6]. Рассматриваемый вариант технологии позволяет обеспечить поточный повторный роспуск на дополнительной сортировочной горке малой мощности накопившихся местных вагонов в основном сортировочном парке с последующим одновременным их накоплением и подбором вагонов по группам для местных поездов в дополнительном сортировочно-группировочном парке.

Использование подобной технологии позволяет снизить загрузку основной сортировочной горки и вытяжных путей в хвосте основного сортировочного парка. Это значительно ускоряет процесс формирования составов местных поездов и, тем самым, сокращает продолжительность простоев перерабатываемых транзитных и местных вагонов на станции в целом. Реализация на практике данной технологии формирования местных поездов показала высокую эффективность сооружения сортировочно-группировочного парка с горкой малой мощности. Однако повсеместное тиражирование последних двух вариантов на сети железных дорог весьма затруднено, а в большинстве случаев на сортировочных станциях практически невозможно из-за отсутствия террито-

рии для сооружения дополнительных сортировочных парков и горок.

Вопросы развития станций с целью интенсификации процессов формирования местных поездов всегда были в центре внимания исследований известных ученых-транспортников. Ими предложен ряд интересных схем развития сортировочных станций с целью ускорения процессов формирования местных вагонопотоков [7–12].

В развитие методов расчета, проектирования (расположения) и сфер применения устройств для сортировки вагонов был внесен ряд предложений [13–15]. Исследования и предложения авторов актуальны, заслуживают внимания, имеют теоретическое значение.

Однако опыт эксплуатационной работы, с одной стороны, показывает, что концентрация совмещенной переработки местных и транзитных вагонопотоков с использованием одних и тех же устройств на сортировочных станциях не всегда достигает положительного эффекта в силу различных факторов. Причины зачастую связаны с возникновением затруднений в переработке и продвижении (особенно при задержках в отправлении) транзитных поездопотоков. Помимо этого, наблюдаются сложности при формировании местных поездов, связанные с подборкой групп вагонов в сборных поездах в зависимости от географического расположения станций на участке (или от числа маневровых районов на станции), а также от подборки групп вагонов в передаточных поездах в зависимости от количества грузовых станций по пути следования (или от числа имеющихся на них пунктов погрузки-выгрузки) в связи с дефицитом путевого развития сортировочных станций. Подборка групп вагонов для рассматриваемых категорий поездов на вытяжных путях в хвосте сортировочного парка, а затем — перестановка таких составов в парк отправления увеличивают загрузку подсистемы формирования-отправления и, соответственно, время нахождения вагонов на станции. Эта ситуация порой усугубляется ввиду имеющих место значительных как посуточных, так и внутрисуточных колебаний размеров переработки транзитных и местных вагонопотоков.

С другой стороны, иногда концентрация объемов переработки транзитного и местного вагонопотоков на сортировочных станциях имела свои преимущества. В 90-х годах прошлого века, когда наблюдалось резкое падение объемов грузовых перевозок, были выполнены масштабные работы по сосредоточению сортировочной работы с местными вагонопотоками на технически развитых сортировочных станциях. Проведение такого целенаправленного мероприя-

тия способствовало тогда получению определенных положительных результатов в улучшении организации переработки и продвижения вагоно- и поездопотоков по участкам и направлениям.

В практике эксплуатационной работы железных дорог для снижения отрицательного влияния всевозможных затруднений в пропуске грузовых поездов и в условиях освоения возрастающих объемов транзитного вагонопотока (из-за отсутствия необходимых резервов путевого развития) используют и другой важный технологический резерв. Он представляет собой перераспределение работы между сортировочными и вспомогательными (предузловыми) станциями. В необходимых эксплуатационных ситуациях приостанавливается полноценное формирование (не производится подборка вагонов по группам) местных поездов, и работа по их окончательному формированию (с подборкой вагонов по группам) переносится с сортировочных станций на прилегающие участки с использованием расположенных на них промежуточных станций. Практика и научные исследования показывают, что указанный подход, как правило, достаточно оправдан и эффективен [16;17]. К примеру, в [16] подробно исследован этот вопрос и показана целесообразность перераспределения работы между сортировочной станцией и вспомогательными (предузловыми) станциями. При этом автором предлагается сопоставлять экономию, получаемую за счет сокращения простоя вагонов на сортировочной станции благодаря уменьшению загрузки ее элементов, и затраты, связанные с перепробегом вагонов и локомотивов при условии дополнительной загрузки участка и станции, где будет производиться подборка групп вагонов. Там же установлено, что большая экономия достигается при отмене подборки вагонов сборных поездов, формируемых на вытяжных путях сортировочных станций, чем при отмене поездов, составы которых формируются на сортировочной горке.

Об эффективности переноса формирования местных поездов говорится и в [17]. Указывается, что «...для переноса подборки вагонов в составах сборных поездов вспомогательная станция должна иметь сортировочное устройство малой мощности либо вытяжной путь, имеющий достаточный резерв перерабатывающей способности». Автором при переносе формирования дополнительного числа назначений местных поездов рекомендуется выполнение следующих условий:

- техническое развитие вспомогательной станции должно быть достаточным для освоения переработки дополнительного числа вагонов и формирования дополнительных поездов;

- при изменении маршрутов следования части поездов перегоны должны иметь достаточный резерв пропускной способности;

- схема путевых развязок в узле должна обеспечивать пропуск следующих с основной сортировочной станции на вспомогательную и сформированных на вспомогательной станции поездов без увеличения числа перецепок поездных локомотивов, вызываемых переменой направления следования поезда.

Вопросам развития и совершенствования технико-технологической структуры железнодорожных узлов для переработки местных вагонопотоков посвящен ряд трудов, например, [6; 18; 19]. Анализ исследований показал, что в них имеются предложения, которые в современных условиях могут представлять практический интерес.

В частности, в [6] предлагается еще один подход, связанный с вопросом формирования местных поездов, состоящий в следующем. Сетевые сортировочные станции освобождаются от формирования местных поездов, а в железнодорожных узлах строятся местные сортировочные станции с целью переноса на них всей сортировочной работы с местными вагонопотоками.

Авторы считают, что целесообразно сооружение местных сортировочных станций для обработки местных вагонопотоков в случае, если существующая станция не приспособлена для такой цели, и ее эксплуатация вызовет существенное увеличение эксплуатационных расходов и замедление оборота местных вагонов. Целесообразность строительства местных сортировочных станций должна при этом обосновываться технико-экономическими расчетами при сопоставлении получаемого экономического эффекта с потребными капитальными вложениями и эксплуатационными (текущими) расходами. Годовой экономический эффект от сооружения местной сортировочной станции предлагается определять по формуле:

$$\mathcal{E} = 365(\mathcal{E}_{\text{сн.пер}} + \mathcal{E}_{\text{гр.ст}} + \mathcal{E}_{\text{ваг}}),$$

где $\mathcal{E}_{\text{сн.пер}}$ — экономический эффект от снижения переработки на сетевой сортировочной станции;

$\mathcal{E}_{\text{гр.ст}}$ — экономический эффект от подборки вагонов в местных поездах на грузовых станциях;

$\mathcal{E}_{\text{ваг}}$ — экономический эффект от изменения плана формирования.

По мнению авторов, сооружение местных сортировочных станций в железнодорожных узлах существенно позволит снизить размеры переработки местных вагонов на сетевых сортировочных станциях, что даст возможность повысить транзитность вагонопотоков благодаря высвобождению большого числа

сортировочных путей для накопления дополнительных сквозных назначений.

В современных условиях возможность использования предлагаемого подхода в развитии технико-технологической структуры крупных узлов (т.е. наличие в узле специализированной сортировочной станции), на наш взгляд, имеет свои перспективы. Более того, для этого есть и объективные предпосылки. Анализируя работу Центрального транспортного узла (ЦТУ), можно сказать, что последний сегодня осуществляет свою деятельность в непростых эксплуатационных условиях [20]. При организации местной работы возникают ограничения и затруднения. Причины сложившейся ситуации в узле заключаются в следующем:

- произошла переориентация работы ЦТУ на пассажирские перевозки, что привело к перепрофилированию отдельных сортировочных станций (т.е. утрате ими сортировочной функции) или их закрытию; это нарушило технологическое взаимодействие со станциями, ранее находившихся в зоне их ответственности на участках;

- имеет место рассредоточение в узле станций, занятых переработкой местных вагонов, что вызывает большие непроизводительные пробеги и простои вагонов как при формировании местных поездов, так и дальнейшем их продвижении по участкам до станций назначения;

- наблюдается рост дополнительных объемов переработки транзитных вагонопотоков (с переработкой и без переработки), а также местных, на станциях из-за изменений в направлении следования грузопотоков с европейских рынков на Восток и Юг в дружественные страны Южной Азии и Персидского залива, а также Азиатского и Тихоокеанского регионов ввиду принятия санкций коллективным Западом. Это негативно отражается в том числе и на процессе формирования местных поездов, так как на сортировочных станциях отсутствуют достаточные резервы мощности путевого развития.

В связи с вышесказанным актуальным явилось бы дальнейшее исследование и развитие темы, поднятой авторами [6]. Однако в работе не даны обоснование и рекомендации по выбору местоположения в узле специализированной (выделенной) сортировочной станции для организации работы с местным вагонопотоком. Другими словами, не приведены факторы, которыми нужно руководствоваться при выборе приемлемого варианта ее местоположения при проектировании станции в узле.

По нашему мнению, к факторам, которые оказывают существенное влияние на выбор обоснованного размещения в узле специализированной сортировоч-

ной станции для переработки местного вагонопотока, можно отнести следующие:

- технологические: обеспечение кратчайших расстояний маршрутов следования местных поездов от специализированной сортировочной станции в узле до станций назначения; размеры и направления движения вагонопотоков с учетом «точки наибольшего входа»; соблюдение времени нахождения местного вагона в узле (от момента его поступления в узел, затем на специализированную сортировочную станцию, далее до прибытия на «конечную» станцию назначения для выполнения грузовой работы и последующего выхода вагона из узла). При этом сроки доставки, исчисленные исходя из норм суточного пробега, устанавливаются для определенных условий согласно §5 Правил [21];

- строительные (оценка кадастровой стоимости земли, затрат на возведение объектов транспортной инфраструктуры и социально-бытовых зданий и т.п.);

- социально-экономические (возможность создания рабочих мест в зоне тяготения станции и т.п.);

- экологические (оценка затрат на природоохранные мероприятия).

При определении приемлемого варианта местоположения специализированной сортировочной станции в железнодорожном узле можно воспользоваться алгоритмом Дейкстры [22;23]. Алгоритм позволяет определить оптимальное местоположение специализированной сортировочной станции в узле, что обеспечит кратчайшие пути следования местного вагонопотока от этой станции до станций, принимающих его для переработки.

Алгоритм работает только для графов без ребер отрицательного веса. Для решения задачи необходимо задать граф, повторяющий схему развития узла, где вершинами являются отдельные пункты.

Итак, дан граф $G(V, E)$ с весом дуг, показывающих расстояние между отдельными пунктами в узле. Требуется найти кратчайший путь от специализированной сортировочной станции, перерабатывающей местный вагонопоток, до отдельного пункта, его обрабатывающего (принимающего).

Каждой вершине из V сопоставим метку — минимальное известное расстояние от этой вершины до a . На рисунке представлена блок-схема работы алгоритма Дейкстры. Алгоритм работает пошагово, т.е. на каждом шаге он «посещает» одну из вершин графа и пытается уменьшать метки. Работа алгоритма завершается, когда все вершины посещены.

Метка самой вершины a полагается равной 0, метки остальных вершин — бесконечности. Это отражает то, что расстояния от a до других вершин пока

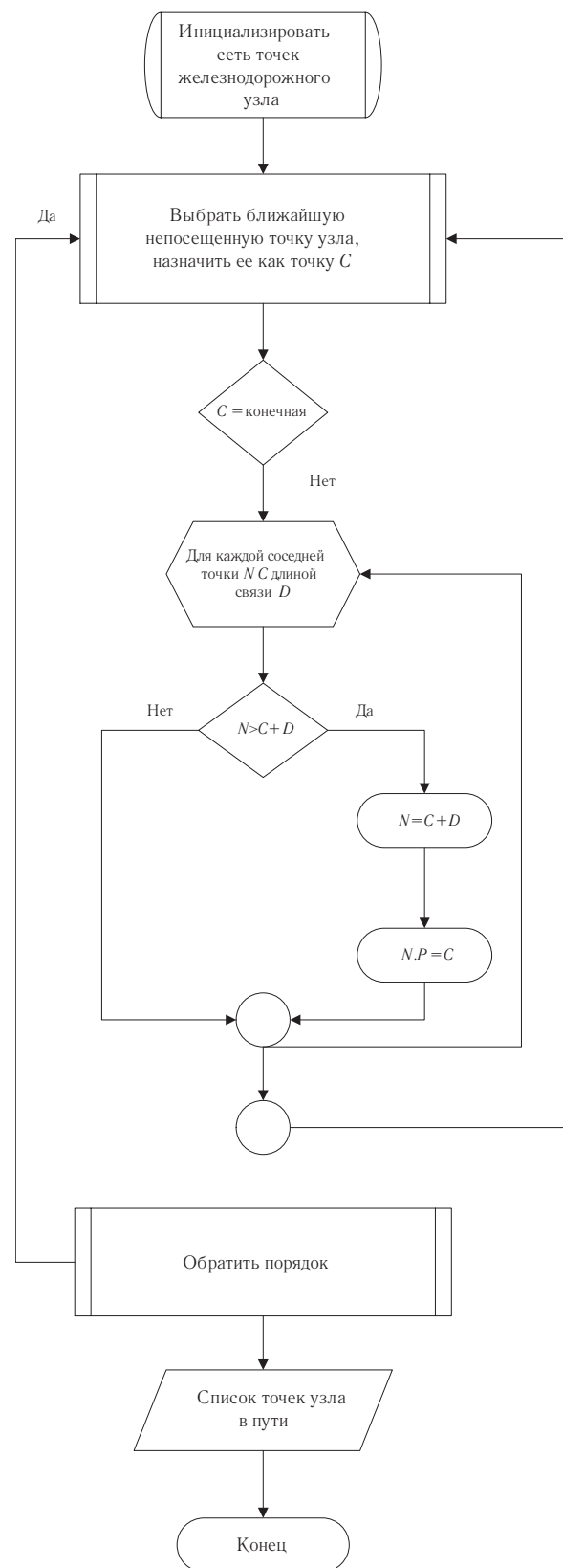


Рисунок. Блок-схема работы алгоритма Дейкстры

неизвестны. Все вершины графа помечаются как непосещенные.

Если все вершины посещены, алгоритм завершается. В противном случае из еще непосещенных вершин выбирается вершина u , имеющая минимальную метку.

Далее рассматриваются всевозможные маршруты, в которых u является предпоследним пунктом в рассматриваемом графе. Вершины, в которые ведут ребра из u , назовем соседями этой вершины. Для каждого соседа вершины u , кроме отмеченных как посещенные, рассмотрим новую длину пути, равную сумме значений текущей метки u и длины ребра, соединяющего u с этим соседом. Если полученное значение длины меньше значения метки соседа, заменим значение метки полученным значением длины. После рассмотрения всех соседей вершина u помечается как посещенная, и снова повторяется шаг алгоритма. 

Литература

1. Инструктивные указания по организации вагонопотоков на железных дорогах ОАО «РЖД», утвержденные распоряжением ОАО «РЖД» от 29 декабря 2018 г. № 2872/р. - 548 с. - Текст : непосредственный.
2. Зверев, В. И. Оптимизация формирования местных поездов на технических станциях и их работы на участке : специальность 05.22.08 «Управление процессами перевозок» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Зверев Виталий Игоревич ; Московский государственный университет путей сообщения МПС РФ. - Москва, 2001. - 24 с. - Текст : непосредственный.
3. Российская Федерация. Законы. Устав железнодорожного транспорта Российской Федерации. Федеральный закон от 10.01.2003 № 18-ФЗ. Принят Государственной Думой 24 декабря 2002 года. Одобрен Советом Федерации 27 декабря 2002 года. - Москва : Проспект, Кодекс, 2018. - 80 с. - ISBN 978-5-392-27158-0. - Текст : непосредственный.
4. Кочнев, Ф. П. Организация движения на железнодорожном транспорте : учебник для вузов железнодорожного транспорта / Ф. П. Кочнев, В. М. Акулиничев, А. М. Макарович ; под редакцией Ф. П. Кочнева. - Москва : Транспорт, 1979. - 567 с. - Текст : непосредственный.
5. Сотников, Е. А. Пути улучшения работы сортировочных станций / Е. А. Сотников, И. И. Страковский, Л. Б. Тишков. - Москва : Транспорт, 1981. - 38 с. - Текст : непосредственный.
6. Волков, В. А. Совершенствование эксплуатации железных дорог / В. А. Волков, Д. Ю. Левин, В. Д. Лерман. - Москва : Транспорт, 1984. - 208 с. - Текст : непосредственный.
7. Образцов, В. Н. Станции и узлы / В. Н. Образцов : одобрено Цопкадром НКПС в качестве учебника для эксплуатационных факультетов транспортных вузов. В 2 ч. Перед загл. Ч. 1: проф. В. Н. Образцов, доц. В. Д. Никитин и С. П. Бузанов; Ч. 2: В. Н. Образцов. - Москва : Трансжелдориздат. - Текст : непосредственный.
8. Бартенев, П. В. Устройства горок для ускорения и обеспечения формирования поездов / П. В. Бартенев. - Текст : непосредственный // Железнодорожный транспорт. - 1947. - № 8. - С. 72 - 77.
9. Никитин, В. Д. Рациональные схемы горочных сортировочных станций / В. Д. Никитин. - Текст : непосредственный // Труды МИИТ «Вопросы проектирования железнодорожных станций». - Вып. 87/8. - Москва, 1956. - С. 5 - 65.
10. Скалов, К. Ю. Устройство пути и станций : учебник для техникумов железнодорожного транспорта по специальности «Эксплуатация железных дорог» / К. Ю. Скалов, П. П. Цуканов. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : Транспорт, 1976. - 488 с. - Текст : непосредственный.
11. Ветухов, В. А. Взаимное расположение устройств на станциях / В. А. Ветухов. - Москва : Транспорт, 1978. - 175 с. - Текст : непосредственный.
12. Грунтов, П. С. Эффективность технологических линий для переработки местных вагонопотоков / П. С. Грунтов. - Текст : непосредственный // Труды БелИИЖТ. - Вып. 160. — Гомель. - С. 3 - 12.
13. Бакумов, Э. В. Рациональные сферы применения вспомогательных сортировочных устройств на сортировочной станции : специальность 05.22.08 «Управление процессами перевозок» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Бакумов Эдуард Викторович. - Москва, 1986. - 24 с. - Текст : непосредственный.
14. Сухопьяткин, А. Н. Исследование вопросов проектирования и сфер применения устройств для формирования многогруппных поездов на односторонних сортировочных станциях : специальность 05.22.08

А.С. Шумский, Н.М. Легкий, Г.М. Биленко, С.П. Шумский
«К ВОПРОСУ СОЗДАНИЯ И РАЦИОНАЛЬНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ СОРТИРОВОЧНЫХ
МОЩНОСТЕЙ В ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ УЗЛАХ
ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ МЕСТНОГО ВАГОНПОТОКА»

«Управление процессами перевозок» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Сухопяткин Анатолий Николаевич ; Московский институт инженеров железнодорожного транспорта. - Москва, 1976. - 24 с. - Текст : непосредственный.

15. Сивицкий, Д. А. Совершенствование методов расчета параметров сортировочных устройств для многогруппной подборки вагонов : специальность 05.22.08 «Управление процессами перевозок» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Сивицкий Дмитрий Андреевич ; Уральский государственный университет путей сообщения. - Новосибирск, 2018. - 20 с. - Текст : непосредственный.

16. Гринев, А. А. Оперативное взаимодействие в работе сортировочных станций : специальность 05.22.08 «Управление процессами перевозок» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Гринев Александр Александрович ; Московский институт инженеров железнодорожного транспорта. - Москва, 1988. - 24 с. - Текст : непосредственный.

17. Улучшение использования путевого развития сортировочных станций / Всесоюзное НТО железнодорожников и транспортных строителей; Подготовили А. Ф. Бородин, М. Ф. Васин. - Москва : Транспорт, 1992. - 48 с. - Текст : непосредственный.

18. Фокеев, А. Б. Выбор технического оснащения и размещения сортировочных устройств для переработки местных вагонопотоков в крупнейших узлах : специальность 05.22.08 «Управление процессами перевозок» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Фокеев Анатолий Борисович ; Московский институт инженеров железнодорожного транспорта. - Москва, 1994. - 24 с. - Текст : непосредственный.

19. Суханов, Г. И. Интенсификация переработки местного вагонопотока на сортировочных станциях железнодорожных узлов : специальность 05.22.08 «Управление процессами перевозок» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Суханов Георгий Иванович ; Московский институт инженеров железнодорожного транспорта. - Москва, 1989. - 23 с. - Текст : непосредственный.

20. К вопросу организации переработки местных вагонопотоков в Центральном (Московском) транспортном узле с учетом современных тенденций его развития / С. П. Шумский, А. С. Шумский, С. Н. Шмаль, Н. О. Бересток. - Текст : электронный // Современные проблемы совершенствования работы железнодорожного транспорта : межвузовский сборник научных трудов ; под ред. канд. экон. наук, доц. Б. А. Соловьева ; 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. - С. 32 - 40. - ISBN 978-5-7473-1131-2.

21. Об утверждении Правил исчисления сроков доставки грузов, порожних грузовых вагонов железнодорожным транспортом. Приказ Минтранса России от 07.08.2015 № 245 (ред. от 28.12.2017). Зарегистрировано в Минюсте России 14.03.2016 № 41393. - Текст : непосредственный.

22. Dijkstra E.W., A Note on Two Problems in Connexion with Graphs, Numer Math., 1. - 1959. - P. 269 - 271.

23. Кувайскова, Ю. Е. Алгоритмы дискретной математики : учебное пособие / Ю. Е. Кувайскова ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ульяновский государственный технический университет». - Ульяновск : УлГТУ, 2017. - 99 с. - ISBN 978-5-9795-1635-6. - Текст : непосредственный.

МЕТОД АНАЛИЗА СИСТЕМ С ПАРАМЕТРАМИ, ИЗМЕНЯЮЩИМИСЯ ПО СЛОЖНОМУ ЗАКОНУ



В.Ю. Горелик



В.И. Апатцев

В статье рассмотрен класс систем с переменными параметрами, к которому относятся и транспортные системы. Существенным фактором для анализа таких нестационарных систем является закон изменения параметра, который отражает характер, скорость, частоту и амплитуду изменения параметров. Предложен подход, основанный на описании системы линейным дифференциальным уравнением с переменными во времени коэффициентами.

Ключевые слова: параметрические колебания, нестационарные транспортные системы, преобразование Лапласа

EDN: OYVFTO

Реальные технические объекты, как правило имеют не постоянные, а изменяющиеся во времени параметры, т.е. являются нестационарными. К таким системам относится широкий круг систем управления. Часто их называют параметрическими. Изучение параметрических систем является необходимым и для объектов железнодорожного транспорта.

Это системы, динамика которых описывается линейным дифференциальным уравнением с переменными во времени коэффициентами:

$$\begin{aligned} a_0(t) \frac{d^n y}{dt^n} + \dots + a_{n-1}(t) \frac{d y}{dt} + a_n(t) y(t) = \\ = b_0(t) \frac{d^m x}{dt^m} + \dots + b_m(t) x(t). \end{aligned} \quad (1)$$

Наиболее изученным является класс объектов с периодически изменяющимися параметрами или

периодически нестационарные объекты. Мало изученными являются системы с параметрами, изменяющимися по более сложным законам.

Пусть параметры $a_i(t)$ и $b_i(t)$ уравнения (1) в общем случае имеют вид

$$f(t) = \left\{ \sum_{s=-\infty}^{\infty} b_s e^{js\Omega t} \right\} \left\{ \sum_{m=0}^{\infty} g_m e^{-m\beta t} \right\}. \quad (2)$$

Применим аналогично [1;2] к уравнению (2) преобразование Лапласа.

В этом случае после применения преобразования Лапласа будем иметь неизвестные вида

$$Y(p + js\Omega + m\beta), \quad (3)$$

где s = от $-\infty$ до ∞ , m = от 0 до ∞ .

Здесь возникает проблема расположения неизвестных. Расположить их в строку не удастся, поэ-

Горелик Владимир Юдаевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Системы управления транспортной инфраструктурой» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: методы анализа систем автоматического управления и связи, аналоговых и цифровых систем с параметрами, изменяющимися во времени. Автор более 130 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.

Смыслов Алексей Владимирович, аспирант кафедры «Системы управления транспортной инфраструктурой» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: методы анализа железнодорожных систем автоматики, телемеханики и связи. Автор трех научных работ.

тому разместим их на плоскости, т.е. заменим строку определителя плоскостью (рисунок).

На рисунке пара цифр соответствует переменным $Y(p+j\Omega+m\beta)$, s от $-\infty$ до ∞ , m от 0 до ∞ , т.е. вместо, например, $Y(p+j2\Omega+3\beta)$ записано просто 2,3.

Заменив p на $p+jk\Omega+h\beta$, где k от $-\infty$ до ∞ , h от 0 до ∞ , получим четырехмерные бесконечные определители. Каждой паре значений k и h соответствует плоскость значений переменных.

Если зафиксировать значение k , т.е. считать $k=\text{const}$ и менять h от 0 до $+\infty$, то получим плоскость определителя, на которой все значения переменных, находящихся на строках плоскости $h < k$, будут равны нулю.

В итоге в качестве характеристического уравнения вместо четырехмерного бесконечного определителя получим бесконечный определитель, соответствующий дифференциальному уравнению с переменными вида

$$f(t) = \left\{ g_0 \sum_{s=-\infty}^{\infty} b_s e^{js\Omega t} \right\},$$

т.е. от второй скобки в выражении (2) останется только коэффициент g_0 .

Это означает, что характеристическое уравнение будет определяться только периодическими составляющими параметров дифференциального уравнения. Оно будет иметь вид, рассмотренный в [1].

Если обозначить корни характеристического уравнения

$$\gamma_i + jk\Omega,$$

$$i = \overline{1, r}; k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm \infty,$$

где r — порядок дифференциального уравнения, то решение самого уравнения будет иметь вид

$$Y(t) = \sum_{i=1}^r \sum_{k=-\infty}^{\infty} \sum_{m=0}^{\infty} b_{ikm} e^{+jk\Omega + m\beta}.$$

Определение коэффициентов b_{ikm} — отдельная задача, требующая своего решения. 

Литература

1. A method of investigating electrical systems with periodically changing parameters / A. V. Gorelik, V. Y. Gorelik, V. I. Apattsev, A. P. Baturin, V. A. Kobzev, I. A. Zhuravlev. - Текст : непосредственный // Russian Electrical Engineering. - 2017. - Т. 88, № 12. - С. 842-844.
2. Тафт, В. А. О частотных и временных характеристиках систем с переменными параметрами / В. А. Тафт, В. Ю. Горелик. - Текст : непосредственный // Докл. АН СССР. - 1969. - Т. 187, № 6. - С. 1251-1253.

m/s	4,0	3,0	2,0	1,0	0,0	-1,0	-2,0	-3,0	-4,0
	4,1	3,1	2,1	1,1	0,1	-1,1	-2,1	-3,1	-4,1
	4,2	3,2	2,2	1,2	0,2	-1,2	-2,2	-3,2	-4,2
	4,3	3,3	2,3	1,3	0,3	-1,3	-2,3	-3,3	-4,3
	4,4	3,4	2,4	1,4	0,4	-1,4	-2,4	-3,4	-4,4
	4,5	3,5	2,5	1,5	0,5	-1,5	-2,5	-3,5	-4,5
	4,6	3,6	2,6	1,6	0,6	-1,6	-2,6	-3,6	-4,6
	4,7	3,7	2,7	1,7	0,7	-1,7	-2,7	-3,7	-4,7
	4,8	3,8	2,8	1,8	0,8	-1,8	-2,8	-3,8	-4,8
	4,9	3,9	2,9	1,9	0,9	-1,9	-2,9	-3,9	-4,9
	...	...	...	...	...	...	...	...	...

Рисунок. Плоскость строки определителя

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ (ТЭД) ЭЛЕКТРОВОЗОВ, ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ НА СЕВЕРНОМ НАПРАВЛЕНИИ ВОСТОЧНОГО ПОЛИГОНА



Д.И. Бодриков



А.А. Тихонова

Приведен анализ безотказности тяговых электродвигателей электровозов Восточного полигона. Установлена пониженная безотказность изоляции ТЭД электровозов ВЛ85, 2ЭС5К, 3ЭС5К и 4ЭС5К. Выявлено, что причиной снижения безотказности ТЭД является переход от параллельной вентиляции, которая обеспечивает необходимую отдачу тепла от якоря, главных и дополнительных полюсов и компенсационных обмоток на не параллельную. Предлагается переход с не параллельной вентиляции на параллельную.

Ключевые слова: Восточный полигон РЖД, электровозы, тяговые электродвигатели, несовершенство вентиляции

EDN: AKNSHI

Проведен анализ безотказности тяговых электродвигателей НБ-514 электровозов трех депо Восточного полигона: депо Нижнеудинск, Улан-Удэ центрального направления Восточного полигона и Северобайкальск — северного направления.

Результаты анализа представлены на рис. 1–3. На изоляцию ТЭД приходится от 81 до 92 процентов отказов.

Данные [1] показывают, что это вызвано как пониженным качеством применяемой при изготовлении и ремонте двигателей изоляции, так и неэффективностью вентиляции ТЭД. При параллельной вентиляции

ТЭД НБ-412М электровозов ВЛ60 отказы изоляции якорных обмоток, обмоток главных полюсов (ГП) и дополнительных полюсов (ДП) составляли лишь малую часть отказов ТЭД НБ-412М.

В двигателе с параллельной вентиляцией охлаждающий воздух подается в коллекторную камеру. Затем двумя потоками поступает в ТЭД с двух сторон якоря, вентилирующими ГП, ДП, а также поверхность коллектора и третьим потоком подается в отверстия якоря для охлаждения сердечника якоря и якорной обмотки. После прохода якоря, ГП, ДП воздух выходит из ТЭД через отверстия в подшипниковом щите.

Бодриков Денис Игоревич, ассистент кафедры «Электропоезда и локомотивы» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)), начальник отдела электрических машин ПКБ ЦТ – филиала ОАО «РЖД». Область научных интересов: имитационное моделирование, оптимизация работы станции стыкования, организация системы эксплуатации и ремонта, повышение безотказности локомотивов. Автор 28 научных работ.

Тихонова Алена Андреевна, инженер 1-й категории отдела электрических машин ПКБ ЦТ – филиала ОАО «РЖД». Область научных интересов: повышение безотказности локомотивов.

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

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 439 научных работ, в том числе 27 монографий, одного учебника и 25 учебных пособий. Имеет 128 патентов РФ.

Смирнов Валентин Петрович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Тяговый подвижной состав» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: повышение безотказности локомотивов. Автор 167 научных работ. Имеет три патента на изобретения.

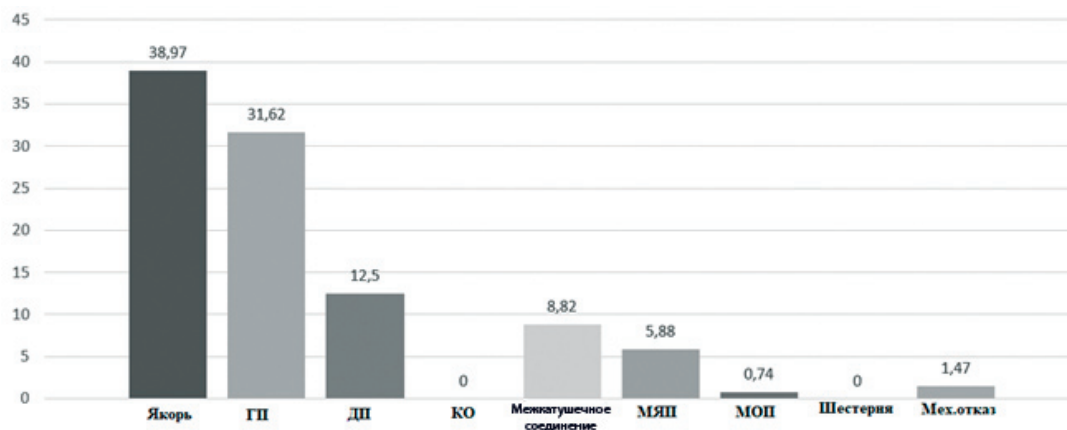


Рис. 1. Отказы ТЭД НБ-514 депо Нижнеудинск

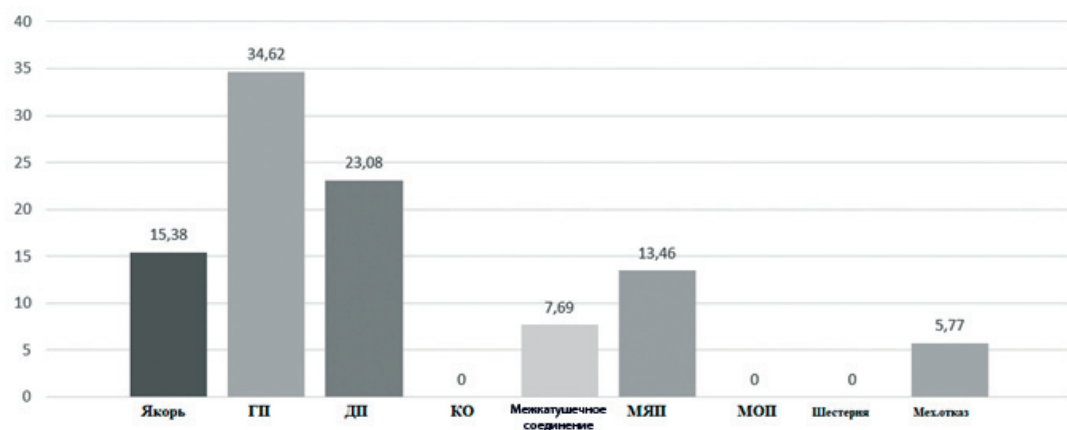


Рис. 2. Отказы ТЭД НБ-514 депо Улан-Удэ

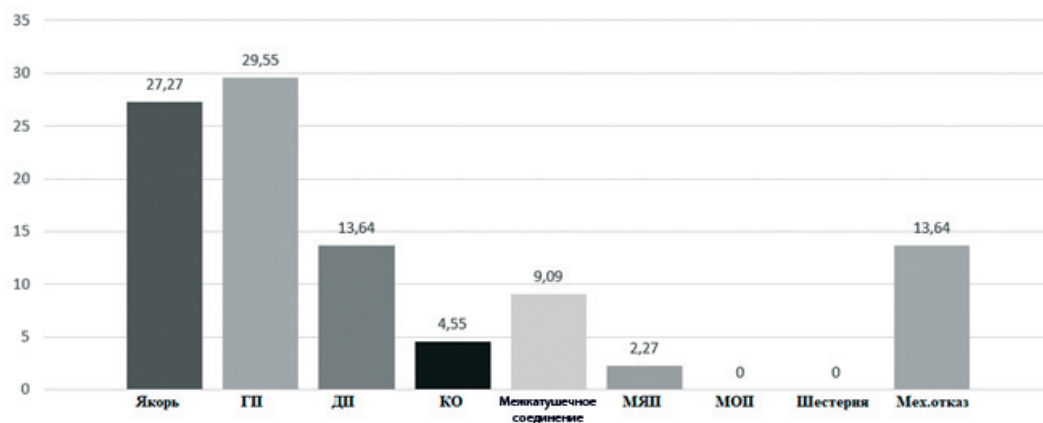


Рис. 3. Отказы ТЭД НБ-514 депо Северобайкальск

Вентиляция ТЭД НБ-514 непараллельная. Так же в ТЭД НБ-412М охлаждающий воздух поступает в коллекторную камеру и омывает коллектор, проходит по трем путям — 2 с двух сторон якоря, вентилирующие ГП, ДП и компенсационные обмотки (КО), а также поверхность якоря и третьим потоком, проходящим через отверстия якоря, охлаждающим якорь и якорную обмотку.

После прохода якоря, ГП, ДП, КО охлаждающий воздух не проходит через отверстия в подшипниковом щите, а поступает через специальный кожух, под корпус электровоза. В ТЭД НБ-514, поступивших на капитальный ремонт (КР) в Улан-Удэнский локомотиво-вагоноремонтный завод (УУЛВРЗ), вентилирующий воздух разделяется на два потока. Первый, наиболее сильный, проходит в верхнюю часть ТЭД, второй поток — слабый, проходит в нижней части ТЭД. Органолептический контроль большого количества двигателей, прошедших на КР, позволил установить, что изоляция ГП, ДП, КО в верхней части ТЭД высокого качества. Изоляция же ГП, ДП, КО в нижней части ослаблена, а в самом низу остова — осыпается.

Проведено определение характера движения вентилирующего воздуха в двигателе НБ-514 на электровозе ВЛ85 с использованием микроманометров ММН при снятом поворотном элементе специального кожуха, которое показало наличие воздуха, выходящего из двигателя в 2/3 сечения выходного окна вверх из двигателя, а в 1/3 сечения выходного окна воздуха, направленного вниз в двигатель.

Проанализированы труды известных ученых нашей страны, в которых рассмотрены тепловые режимы работы двигателей постоянного, пульсирующего и переменного тока, а также их вентиляция [1; 2–10]. В [7] показано, что при работе двух вентиляторов параллельно на общий приемник необходимы одинаковые производительности вентиляторов.

При разной производительности в более мощном вентиляторе (МВ) воздух идет в прямом нужном направлении, а в слабом вентиляторе (СВ) наблюдается воздействие потока МВ на СВ с изменением направления слабого воздушного потока в обратное направление. Это приводит к уменьшению общего объема охлаждающего воздуха и к существенному увеличению температуры обмоток якоря, ГП, ДП и КО.

Рост температуры при непараллельной вентиляции двигателя НБ-514 заставил конструкторов двигателя

искать пути снижения температуры ТЭД. Они применили в НБ-514 открытие задних лобовых соединений якорной обмотки (ЗЛС).

Ослабление ЗЛС якоря с устранением керамического конуса происходит в ТЭД грузового электровоза, в котором при вождении грузовых составов повышенной массы по крутым подъемам, достигающим 18‰, с предельным радиусом кривых часто возникает боксование колесных пар, причем не одной колесной пары, а до половины осей электровоза, а иногда и больше. Все это приводит к повышенной вибрации ЗЛС с повреждением изоляции их в местах выхода из сердечника якоря.

Установлено, что при эксплуатации электровозов ВЛ85 с ТЭД НБ-514 депо Нижнеудинск увеличились отказы якорей из-за повреждения ЗЛС более чем в два раза по сравнению с ТЭД НБ-418К6 электровозов ВЛ80 этого же депо.

Как отмечено выше, ослабление потока вентилирующего воздуха в нижней половине ТЭД НБ-514 привело к повышенной температуре двигателей и интенсивному тепловому старению изоляции якорных обмоток, ГП, ДП и КО с уменьшением пробега электровозов до капитального ремонта на одну треть.

В связи с аналогичностью конструкции ТЭД НБ-514 электровозов ВЛ85, 2ЭС5К, 3ЭС5К, 4ЭС5К с конструкциями ТЭД НБ-418К электровозов ВЛ80 желательно использовать переход на параллельную вентиляцию, которая применяется в ТЭД НБ-418К2 [9], в котором охлаждающий воздух выходит из двигателя в аксиальном направлении через вентиляционные отверстия в подшипниковом щите. Предпочтительно использовать ТЭД НБ-418К2 с усиленными якорными подшипниками.

Необходимо применять также и совершенствования, используемые в ТЭД с непараллельной вентиляцией: в НБ-418К6 — улучшенное уплотнение якорных подшипников для исключения попадания в них пыли от щеток; ТЭД НБ-514 унификация по ряду конструктивных элементов с ТЭД НБ-418К6; отличия:

- катушки ДП размещены ближе к якорю;
- уменьшен воздушный зазор под ГП;
- для обмотки якоря применена эпоксидная изоляция ЛСЭК-5;
- выполнена эпоксидная пропитка.

Рабочие характеристики ТЭД НБ-514 близки к характеристикам ТЭД НБ-418К6, что обеспечивает комплексную взаимозаменяемость двигателей. 

Литература

1. Вентиляция тяговых двигателей электровазов северного направления Восточного полигона РЖД / Д. И. Бодриков, Д. А. Акулов, И. А. Рыбкин, Р. С. Чубов, В. П. Смирнов. - Текст : непосредственный // Наука и техника транспорта. - 2023. - № 3. - С. 6 - 10.
2. Алексеев, А. Е. Конструкция электрических машин : учебное пособие для энергетических и электротехнических вузов и факультетов / А. Е. Алексеев. - 2-е изд., перераб. - Москва ; Ленинград : Госэнергоиздат, 1958. - 427 с. - Текст : непосредственный.
3. Иоффе, А. Б. Тяговые электрические машины (Теория, конструкция, проектирование) : учебное пособие для специальностей «Электрический транспорт» и «Электрификация железнодорожного транспорта» высших учебных заведений / А. Б. Иоффе. - Москва ; Ленинград : Госэнергоиздат, 1957. - 247 с. - Текст : непосредственный.
4. Проектирование тяговых электрических машин : учебное пособие для вузов железнодорожного транспорта / М. Д. Находкин, Г. В. Василенко, М. А. Козорезов, Д. М. Лупкин ; под общей редакцией доктора технических наук, профессора М. Д. Находкина. - Москва : Транспорт, 1967. - Текст : непосредственный.
5. Магистральные электровазы : в 3 кн. - Москва : Машиностроение, 1967 - 1969. Авторы книг : кн. 1: П. И. Аброскин, Д. Г. Белогорский, Б. Р. Бондаренко и др.; кн. 2: Б. К. Баранов, В. К. Калинин, М. А. Кацер и др.; кн. 3: В. И. Бочаров, П. А. Золотарев, М. Л. Козорезов и др. - Текст : непосредственный.
6. Кн. 2: Электрические машины и трансформаторное оборудование электровазов. - 1968. - 444 с. - Текст : непосредственный.
7. Электроваз ВЛ80Т: Руководство по эксплуатации / Под редакцией Б. Р. Бондаренко. - Москва : Транспорт, 1977. - 586 с. - Текст : непосредственный.
8. Виноградов, В. И. Вентиляторы электрических машин / В. И. Виноградов. - Ленинград : Энергоиздат : Ленинградское отделение, 1981. - 200 с. - Текст : непосредственный.
9. Курбасов, А. С. Проектирование тяговых электродвигателей : учебное пособие для вузов железнодорожного транспорта / А. С. Курбасов, В. И. Седов, Л. Н. Сорин; Под ред. А. С. Курбасова. - Москва : Транспорт, 1987. - 536 с. - Текст : непосредственный.
10. Дубровский, З. М. Грузовые электровазы 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.
11. Электроваз ВЛ85 : Руководство по эксплуатации / Всесоюз. н.-и., проект.-конструкт. и технол. ин-т электровазостроения, Новочерк. электровазостроит. з-д. - Москва : Транспорт, 1992. - 480 с. - Текст : непосредственный.

РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ОБЪЕКТОВ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ С УЧЕТОМ КАТЕГОРИИ ОТКАЗОВ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ОБ ОТКАЗАХ ТРЕТЬЕЙ КАТЕГОРИИ



А.В. Орлов



А.Н. Малых

В статье рассматривается вопрос инцидентов, возникающих в процессе эксплуатации железнодорожного транспорта и инфраструктуры. Инциденты, которые приводят к потере поездо-часов, называются отказами и подразделяются на три категории. Авторами предложена методика расчета показателей надежности по отказам третьей категории, которая позволяет оценивать качество функционирования объектов транспортной инфраструктуры.

Ключевые слова: отказ, объекты транспортной инфраструктуры, надежность, железнодорожная автоматика и телемеханика

EDN: OVTHMZ

Одной из актуальных проблем железнодорожной транспортной сети является задержка поездов, связанная с периодически возникающими отказами объектов транспортной инфраструктуры (ОТИ). Согласно отраслевым нормативным документам ОАО «Российские железные дороги» [1], такие отказы подразделяются на отказы первой, второй и третьей категорий. Отказы первой и второй категории (ОПВК) — это отказы, которые привели к задержкам поездов более 6 минут, а отказы третьей категории (ОТК) — менее 6 минут.

При этом следует учитывать, что соответствующую категорию отказ получает не в момент возникновения, а по характеру последствий, прежде всего — времени потерь поездо-часов (п.ч.), вызванных этим отказом. При этом причина отказа в данном случае не учитыва-

ется. Таким образом, на категорию отказа влияет множество различных факторов, таких как время и место его возникновения, загруженность линии в соответствующий период времени, время восстановления объекта после отказа и т.д. Получается, что отказы одного и того же ОТИ, случившиеся по одинаковым причинам, в различные периоды времени, могут категорироваться по-разному. Заметим, что лишь по случайной случайности или по причине высококвалифицированных действий персонала эти отказы не превратились в ОПВК. Так, исходя из [2] за 2023 год произошло 4231 ОПВК, которые вызвали 9133,5 п.ч. потерь и 5647 ОТК, которые привели лишь к 12,4 п.ч. потерь. На рис. 1 наглядно показано соотношение числа ОПВК и ОТК. На рис. 1 видно, что, как правило, количество ОТК превышает количество ОПВК.

Орлов Александр Валерьевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Системы управления транспортной инфраструктурой» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: оценка эффективности функционирования объектов транспортной инфраструктуры, data science. Автор 100 научных работ.

Малых Александр Николаевич, старший преподаватель кафедры «Системы управления транспортной инфраструктурой» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: влияние надежности и эффективности систем железнодорожной автоматики и телемеханики на перевозочный процесс. Автор 32 научных работ.

Астапенко Дмитрий Викторович, главный системный программист ООО «Диалог-транс». Область научных интересов: безопасность и надежность микропроцессорных систем железнодорожной автоматики. Автор четырех научных работ.

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

В данной статье предложена методика расчета показателей надежности ОТИ по ОТК.

К показателям надежности ОТИ по ОТК относятся:

- интенсивность ОТК — λ_3 (1/ч);
- среднее время устранения ОТК — $T_{в3}$ (ч);
- коэффициент готовности по ОТК — $K_{г3}$.

Для каждого из показателей требуется рассчитать два значения: допустимое и фактическое.

Допустимые значения показателей надежности по ОТК находят в результате обработки статистики о различных инцидентах по множеству объектов ОТИ в пределах сети железных дорог. Допустимо выполнять расчет для участков в границах производственной деятельности отдельных железных дорог. Статистические данные рекомендуется формировать по данным за три смежных календарных года.

Фактические значения показателей надежности по ОТК определяют на основе статистических данных, собранных по результатам функционирования конкретного ОТИ, как правило в течение одного года.

При расчете допустимых значений показателей надежности по ОТК сохраняется общая идеология, описываемая пирамидой Гейнриха, основанная на установлении количественных соотношений между событиями с разной тяжестью последствий: ОПВК, отказами в целом, инцидентами [3]. Необходимость использования ОПВК для нормирования ОТК вызвана тем, что в методологии управления ресурсами, рисками и анализа надежности УРРАН показатели надежности по ОПВК относятся к показателям функциональной надежности,

а показатели надежности по ОТК — к показателям структурной надежности [4]. При этом нормирование показателей надежности в первую очередь выполняют исходя из допустимой величины последствий в виде потерь п.ч., далее получают допустимые показатели функциональной надежности, которые необходимо масштабировать в допустимые показатели структурной надежности. Одним из применяемых на практике методов такого масштабирования является модель пирамиды Гейнриха.

Рассмотрим алгоритм расчета допустимых и фактических значений показателей надежности по отказам различных категорий на примере систем железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ).

В качестве исходных данных для расчета выступают допустимые значения интенсивности отказов систем ЖАТ первой и второй категории в пределах участка железных дорог. ОТК составляют часть общего потока отказов, в который входят также и ОПВК, поэтому могут быть выделены с использованием переводного коэффициента пропорциональности, вычисляемого по статистике о регистрируемом количестве событий с разным уровнем тяжести последствий. Разумеется, данный метод будет эффективен только в случае регистрации всех возникающих инцидентов

Переводные коэффициенты требуется вычислять отдельно для каждой из групп объектов ЖАТ в пределах участка железных дорог. Признаки принадлежности к одной группе: одинаковый класс и специализация железнодорожной линии, одинаковый объект ЖАТ (станция/перегон), наличие или отсутствие систем

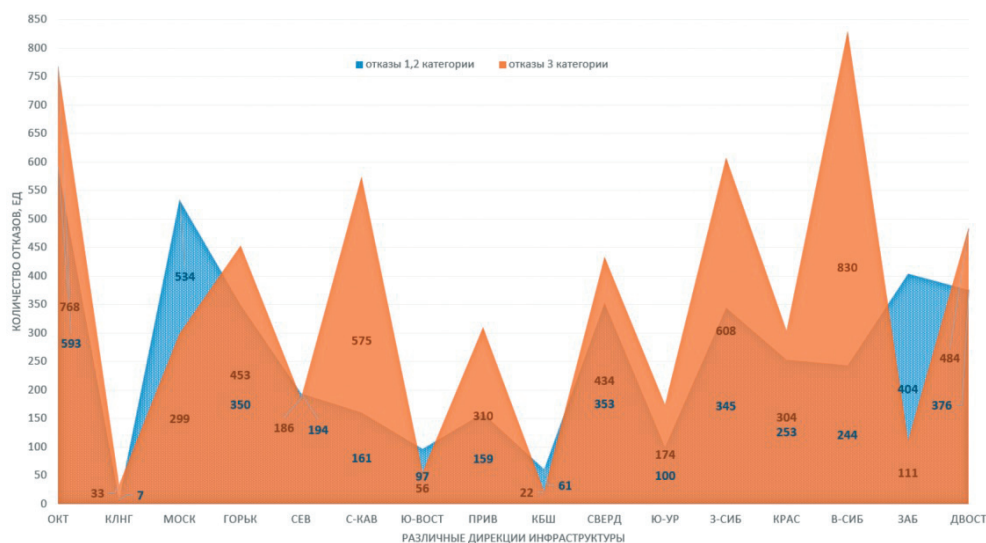


Рис. 1. Соотношение числа отказов первой, второй и третьей категории за 2023 год



Рис. 2. Пирамида Гейнриха при описании взаимосвязи между инцидентами и отказами ОТИ различных категорий

технической диагностики и мониторинга (СТДМ). Дополнительно может быть учтен размер объекта — системы ЖАТ, выраженный в количестве элементов, из которых он состоит (централизованных стрелок на станции, блок-участков на перегоне).

Так как на момент возникновения отказа категория у него отсутствует, то в качестве нормы времени для всех категорий при отсутствии иных данных может быть использована оценка в виде регламентного времени устранения отказов.

Переводной коэффициент, учитывающий соотношение между разными категориями отказов вычисляют после разбиения всей статистической совокупности об отказах по группам, сформированным по признакам: класс-специализация, станция/перегон, наличие или отсутствие СТДМ.

Расчет переводного коэффициента между количеством ОПВК и ОТК осуществляют по формуле:

$$k_{12 \rightarrow 3} = \frac{n_3}{n_{12}}. \quad (1)$$

Среднее количество элементов в системе находят по формуле:

$$k_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^m f_i}{m}, \quad (2)$$

где m — количество объектов ЖАТ в выделенной по приведенным ранее признакам группе;

f_i — количество элементов системы (стрелок/блок-участков).

Максимальное и минимальное расчетное значение коэффициента $k_{12 \rightarrow 3}$ ограничивают по формуле:

$$k_{12 \rightarrow 3} = \begin{cases} k_{12 \rightarrow 3 \max}, & \text{если } k_{12 \rightarrow 3} > k_{12 \rightarrow 3 \max}; \\ k_{12 \rightarrow 3}, & \text{если } k_{12 \rightarrow 3 \min} \leq k_{12 \rightarrow 3} \leq k_{12 \rightarrow 3 \max}; \\ k_{12 \rightarrow 3 \min}, & \text{если } k_{12 \rightarrow 3} < k_{12 \rightarrow 3 \min}. \end{cases} \quad (3)$$

Рекомендуемые предельные значения коэффициента: $k_{12 \rightarrow 3 \max} = 5$, $k_{12 \rightarrow 3 \min} = 0,5$.

Коэффициент учета количества элементов в системе ЖАТ находят по формуле:

$$k_3 = \frac{f}{k_{cp}}. \quad (4)$$

Коэффициент k_{cp} в формуле соответствует группе, к которой принадлежит объект ЖАТ. Его значение может быть дробным.

Для коэффициента k_3 выполняется процедура ограничения:

$$k'_3 = \begin{cases} k_3 > k_{3 \max} \rightarrow k_{3 \max}; \\ k_{3 \min} \leq k_3 \leq k_{3 \max} \rightarrow k_3; \\ k_3 < k_{3 \min} \rightarrow k_{3 \min}. \end{cases} \quad (5)$$

Рекомендуемые предельные значения коэффициента: $k_{3 \max} = 3$, $k_{12 \rightarrow 3 \min} = 0,3$.

В случае, если для коэффициентов k_3 выполнялась процедура ограничения (5), то необходимо произвести коррекцию по формуле:

$$k_{к3} = \frac{\sum_{j=1}^N k'_{3j}}{\sum_{j=1}^N k_{3j}}, \quad (6)$$

где N — общее количество систем ЖАТ на участке.

Величину, пропорциональную допустимому значению интенсивности отказов третьей категории находят по формуле:

$$l = \lambda_{12 \text{ доп}} \cdot k_{12 \rightarrow 3} \cdot k'_3 \cdot k_{к3}. \quad (7)$$

Расчет допустимого значения интенсивности ОТК j -й системы ЖАТ выполняют по формуле:

$$\lambda_{3 \text{ доп } j} = l_j \cdot \frac{\sum_{j=1}^N n_{3j}}{\sum_{j=1}^N n_{12j}} \cdot \frac{1}{\frac{\sum_{j=1}^N l_j}{\sum_{j=1}^N \lambda_{12 \text{ доп } j}}}, \quad 1/4 \quad (8)$$

Для отдельных объектов ЖАТ результат расчета приводят к целому количеству событий в год и к заданным единицам:

$$\lambda_{3\text{доп}j}^{\text{об}} = \frac{Z_{3j}}{365 \cdot 24 - Z_{3j} \cdot T_{\text{рег}}}, 1/\text{ч}, \quad (9)$$

где $Z_{3j} = \lceil 365 \cdot 24 \cdot \lambda_{3\text{доп}j} \rceil$.

[] — обозначение операции округления до ближайшего большего целого числа.

Результат расчета по формуле (8) может использоваться при вычислении интегральных и сетевых показателей надежности по ОТК, а результат, рассчитанный по формуле (9) — для расчетов у отдельных объектов ЖАТ.

Для отображения результата из формулы (9) его приводят к утвержденным единицам измерения:

$$\lambda_{3\text{доп}j}^{\text{об/}} = 30,5 \cdot 24 \cdot \lambda_{3\text{доп}j}^{\text{об}}, 1/\text{мес}. \quad (10)$$

Так как в качестве оценки среднего времени до восстановления принимается регламентное время устранения отказов $T_{\text{рег}j}$ для j -го объекта ЖАТ, то допустимое значение коэффициента готовности $K_{\text{Г}3\text{доп}j}$ для j -го объекта ЖАТ находят по формуле:

$$K_{\text{Г}3\text{доп}j} = \begin{cases} \frac{1}{1 + \lambda_{3\text{доп}j} \cdot T_{\text{рег}j}} - \text{для интегральных показателей,} \\ \frac{1}{1 + \lambda_{3\text{доп}j}^{\text{об/}} \cdot T_{\text{рег}j}} - \text{для отдельного объекта.} \end{cases} \quad (11)$$

Расчет фактических значений показателей надежности по ОТК выполняют по формулам, аналогичным формулам, используемым при расчете показателей надежности по ОПВК приведено в [3], но с использованием статистических данных об ОТК конкретного объекта ЖАТ за отчетный период (месяц, квартал, год).

Формула для расчета фактического значения интенсивности ОТК имеет вид:

$$\lambda_{3\text{факт}j}^{\text{об}} = \frac{m_{3j}}{365 \cdot 24 - T_{\text{в}3j}}, 1/\text{ч}, \quad (12)$$

где m_{3j} — количество ОТК для j -го объекта ЖАТ за отчетный период;

$T_{\text{в}3j}$ — суммарное время устранения ОТК для j -го объекта ЖАТ за отчетный период, ч.

Для отображения результата из формулы (12) его приводят к утвержденным единицам измерения:

$$\lambda_{3\text{факт}j}^{\text{об/}} = 30,5 \cdot 24 \cdot \lambda_{3\text{факт}j}^{\text{об}}, 1/\text{мес}. \quad (13)$$

Фактическое значение среднего времени устранения ОТК находят по формуле:

$$T_{3j} = \frac{T_{\text{в}3j}}{m_{3j}}. \quad (14)$$

Фактическое значение коэффициента готовности находят по формуле:

$$K_{\text{Г}3\text{факт}j} = \frac{1}{1 + \lambda_{3\text{факт}j}^{\text{об/}} \cdot T_{3j}}. \quad (15)$$

По результатам расчета допустимых и фактических значений показателей надежности по ОТК функционирование ОТИ признается удовлетворительным при выполнении следующих условий:

- фактическое значение интенсивности ОТК и фактическое значение времени устранения ОТК должны быть не более допустимого;

- фактическое значение коэффициента готовности по ОТК должно быть не менее допустимого.

Таким образом, приведенная методика позволяет оценивать качество функционирования ОТИ с учетом отказов различных категорий.



Литература

1. Методика классификации и специализации железнодорожных линий ОАО «РЖД» : утверждена Распоряжением ОАО «РЖД» от 23.12.2015 № 3048р. - 32 с. - Текст : непосредственный.
2. Анализ эксплуатационной деятельности хозяйства автоматики и телемеханики Центральной дирекции инфраструктуры за декабрь и 12 месяцев 2023 года. - Москва : ОАО «РЖД» : Управление автоматики и телемеханики Центральной дирекции инфраструктуры, 2023. - 86 с. - Текст : непосредственный.
3. Горелик, А. В. Нормирование, оценка и анализ показателей надежности систем железнодорожной автоматики и телемеханики на основе данных, представляемых информационными системами железнодорожного транспорта / А. В. Горелик, А. В. Орлов, Д. В. Солдатов. - Москва : РУТ (МИИТ). - Деп. в ВИНТИ. - № 136. - В2017. - 474 с. - Текст : непосредственный.
4. Методология управления рисками в хозяйстве автоматики и телемеханики / А. Е. Ёрж, А. В. Горелик, Д. В. Солдатов, А. В. Орлов. - Текст : непосредственный // Автоматика, связь, информатика. - 2017. - №7. - С. 2 - 6.

ПРИМЕНЕНИЕ УНИВЕРСАЛЬНОЙ МАГНИТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЛЯ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ТЕПЛОВОЗОВ

Рассмотрено применение безразмерной и универсальной магнитных характеристик тяговых электродвигателей тепловозов при расчете их тягово-экономических параметров.

Ключевые слова: тяговая передача мощности, безразмерная и универсальная магнитные характеристики

EDN: FTZWMR



Э.Х. Тасанг



О.В. Воронов

Качество современного подвижного состава железных дорог в значительной мере зависит от процессов и стадий преобразования энергии при формировании силы тяги локомотива и его тяговой характеристики.

На стадии проектирования современных локомотивов важно прогнозировать их тягово-экономические характеристики, а особенно параметры электрической передачи мощности. В настоящее время эта проблема решается, как правило,

с использованием электромеханических (ЭМХ) или же нагрузочных характеристик (НХ) тяговых электродвигателей (ТЭД). Однако зачастую эти характеристики отсутствуют, а их применение сопряжено с хранением большого цифрового материала.

Таким образом, применение универсальной магнитной характеристики и методики ее использования представляет собой весьма важную и актуальную научно-производственную задачу.

Тасанг Эрик Хельмутович, старший преподаватель кафедры железнодорожного транспорта ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля». Область научных интересов: математическое моделирование и САПР в локомотивостроении. Автор более 100 научных работ, в том числе семи учебных пособий, одной монографии и четырех учебников. Имеет 20 патентов на изобретения.

Воронов Олег Викторович, кандидат технических наук, доцент кафедры социально-гуманитарных естественно-научных и общепрофессиональных дисциплин филиала Ростовского государственного университета путей сообщения в г. Воронеж. Область научных интересов: экологическая безопасность на железнодорожном транспорте, в транспортном строительстве. Автор более 30 научных работ.

Быкадоров Вадим Викторович, кандидат технических наук, доцент кафедры железнодорожного транспорта, директор института транспорта и логистики ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля». Область научных интересов: теплотехника и конструкции локомотивов. Автор более 70 научных работ, в том числе пяти монографий, пяти учебных пособий и учебников. Имеет 34 патента на изобретения.

Клюев Александр Семенович, старший преподаватель кафедры железнодорожного транспорта ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля». Область научных интересов: электрооборудование и электрические передачи локомотивов. Автор более 80 научных работ, в том числе трех учебных пособий и учебников. Имеет 17 патентов на изобретения.

Ливцов Юрий Владимирович, кандидат технических наук, заведующий кафедрой железнодорожного транспорта ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля». Область научных интересов: техническое обслуживание подвижного состава, САПР в метрологии. Автор 24 научных работ.

Анализ последних исследований и публикаций

Расчетам тягово-экономических характеристик тепловозов посвящены публикации [1;2], а исследованиям, связанным с параметрами электрической передачи — [3–9].

На кафедре «Железнодорожный транспорт» ФГБОУ ВО «Луганский государственный университет имени Владимира Даля» разработан и в настоящее время совершенствуется программный пакет на алгоритмическом языке JavaScript в HTML для проектирования электрической передачи тепловозов. Программный пакет позволяет комплектовать структуру электрической передачи путем подбора ее элементов, как конструктор и получать результаты в виде графиков и цифрового материала для тяговой характеристики, внешней характеристики тягового генератора, НХ, с учетом сопротивления движению поезда и комплектации состава различного типа вагонами. Применение универсальной магнитной характеристики для ТЭД позволит как для разработанной программы, так и при других расчетах, упростить вычисления и уменьшит количество исходного цифрового материала.

Изложение основных материалов

С целью упрощения понимания материала его изложение в дальнейшем будет сопровождаться расчетными и графическими материалами, полученными посредством системы математических расчетов Mathcad.

Расчет тягово-экономических характеристик тепловозов предполагает выбор основных параметров тяговой передачи мощности [2], при котором предварительно определяются ее основные характеристики в точке длительного режима тяговой характеристики при движении тепловоза со сцепной массой $M_{\text{сц}}$ на расчетном подъеме 9‰. Это расчетные данные — касательная сила тяги $F_{\text{кр}}$, скорость локомотива v_p , номинальные значения токов якоря ТЭД $I_{\text{тэд.н}}$, напряжения $U_{\text{тэд.н}}$ и частота вращения вала $n_{\text{тэд.н}}$. Последние три параметра необходимы для использования универсальной магнитной характеристики.

Магнитная характеристика ТЭД постоянного тока представляет собой зависимость магнитного потока $\Phi_{\text{тэд}}$ от тока возбуждения $I_{\text{в}}$ [9]:

$$\Phi_{\text{тэд}} = f(I_{\text{в}}). \quad (1)$$

С другой стороны, для электродвигателя с последовательным возбуждением для полного поля при $I_{\text{тэд}} = I_{\text{в}}$, известно соотношение:

$$n_{\text{тэд}} = \frac{U_{\text{тэд}} - I_{\text{тэд}} \cdot R_{\Sigma} - U_{\text{щ}}}{C_e \cdot \Phi_{\text{тэд}}} = \frac{E_{\text{тэд}}}{C_e \cdot \Phi_{\text{тэд}}}. \quad (2)$$

Здесь $n_{\text{тэд}}$ — частота вращения вала двигателя, об/мин; $U_{\text{тэд}}$, $I_{\text{тэд}}$ — соответственно питающие двигатель напряжение и ток якоря; R_{Σ} — суммарное сопротивление нагретых обмоток двигателя; $U_{\text{щ}}$ — падение напряжения на щетках ТЭД; C_e — конструктивная постоянная. Числитель выражения представляет электродвижущую силу

$$E_{\text{тэд}} = U_{\text{тэд}} - I_{\text{тэд}} \cdot R_{\Sigma} - U_{\text{щ}}. \quad (3)$$

Эту зависимость можно представить как $C_e \cdot \Phi_{\text{тэд}} = E_{\text{тэд}} / n_{\text{тэд}}$, а характеристику намагничивания, при

$$(E/n) = E_{\text{тэд}} / n_{\text{тэд}}, \quad (4)$$

как

$$(E/n) = f(I_{\text{в}}), \quad (5)$$

аналогично с (1).

Авторами были рассмотрены ЭМХ мощностного ряда наиболее распространенных серий тепловозов: ТЭМ103, ТЭМ2, ТЭ3, ТЭМ7, ТЭ127, 2ТЭ116, 2ТЭ10М, 2ТЭ116А, 2ТЭ116УП, 2ТЭ121, ТЭП150, 2ТЭ126, ТЭ136 с установленными ТЭД: ЭД-118, ЭД-133У1, ЭДТ-200Б, ЭД-120АУ1, ЭД-129У1, ЭД-126У1, ЭД-150У1 и определены их характеристики (4) для полного и ослабленных полей и получена усредненная универсальная безразмерная характеристика (табл. 1).

Безразмерные величины относительного тока $I_{\text{во}} = I_{\text{тэд}} / I_{\text{тэд.н}}$ и $(E/n)_o = (E/n) / (E/n)_n$.

Для аппроксимации по узловым точкам можно применить как полиномиальную зависимость, так и

Таблица 1

Безразмерная характеристика

$I_{\text{во}}$	0	0.05	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	1	1.2	1.4	1.7	2.2
$(E/n)_o$	0	0.121	0.21	0.368	0.613	0.788	0.912	1.0	1.064	1.109	1.153	1.191

функцию в виде экспоненты. Полиномиальная зависимость представляет собой сумму значений функций различной степени в узловых точках. Точность аппроксимации определяется максимальной степенью полинома. Но даже при высокой степени точности ее значение будет выполняться только в диапазоне узловых токов. Вне диапазона кривая из полинома может значительно расходиться с предполагаемой характеристикой, которая должна изменяться монотонно. В результате таких выводов аппроксимацию выполним экспоненциальной функцией вида:

$$f(x) = a \cdot e^{b \cdot x} + c, \quad (6)$$

В Mathcad имеется стандартная функция $\text{expfit}(vx, vy, [vg])$. Эта функция возвращает вектор, содержащий три коэффициента для экспоненциальной кривой формы $a \cdot \exp(b \cdot x) + c$, которая наилучшим образом аппроксимирует данные в vx и vy . Функция expfit использует метод Левенберга-Марквардта для минимизации ошибок. При этом vx и vy это парные наборы токов $I_{\text{во}}$ и величин $(E/n)_o$. Массив $[vg]$ — необязательный трехэлементный вектор реальных предполагаемых значений параметров a , b и c в экспоненциальном уравнении. Применение данной функции к набору значений на рис. 1, при $vg = [-1 \ 1 \ 1]^T$ дает значения для $a = -1,196$, $b = -1,696$, $c = 1,22$, а аппроксимирующая функция для $(E/n)_o$ выглядит следующим образом:

$$\left(\frac{E}{n}\right)_o(I_{\text{во}}) = 1,22 - 1,196 \cdot e^{-1,696 \cdot I_{\text{во}}}. \quad (7)$$

График полученной характеристики приведен на рис. 1.

Приведем пример использования полученной характеристики намагничивания для тепловоза 2ТЭ116УП, для которого [1]: потребляемая мощность ТЭД типа ЭД-133 У1 $P_1 = 400,5$ кВт; мощность

на валу $P_2 = 365$ кВт; номинальное напряжение $U_{\text{ТЭД,н}} = 450$ В, ток $I_{\text{ТЭД,н}} = 890$ А и частота вращения вала $n_{\text{ТЭД,н}} = 532$ об/мин, суммарное сопротивление нагретых обмоток двигателя $R_{\Sigma} = 0,036$ Ом; падение напряжения на щетках ТЭД $U_{\text{щ}} = 2$ В; степени ослабления магнитного потока $\alpha = [1 \ 0,64 \ 0,41]^T$.

Используя номинальные значения параметров, определим:

$$E_{\text{ТЭД,н}} = U_{\text{ТЭД,н}} - I_{\text{ТЭД,н}} \cdot R_{\Sigma} - U_{\text{щ}} = 450 - 890 \cdot 0,036 - 2 = 416,3 \text{ В}, \quad (E/n)_n = E_{\text{ТЭД,н}} / n_{\text{ТЭД,н}} = 416,3 / 532 = 0,782 \text{ В/(об/мин)}.$$

Учитывая, что реальные значения $I_{\text{ТЭД}} = I_o \cdot I_{\text{ТЭД,н}}$ и $(E/n) = (E/n)_o \cdot (E/n)_n$, выражение (7) получим в следующем виде:

$$f(x) = (E/n)_n \cdot \left(a \cdot e^{b \cdot \frac{1}{I_{\text{ТЭД,н}}} \cdot x} + c \right), \quad (8)$$

или

$$(E/n)(I_{\text{в}}) = 416,3 \cdot (1,22 - 1,196 \cdot e^{-1,696890 \cdot I_{\text{в}}}) = k_1 - k_2 \cdot e^{k_3 \cdot I_{\text{во}}} = 0,955 - 0,936 \cdot e^{-0,0019 \cdot I_{\text{во}}}. \quad (9)$$

Для дальнейшего использования, учитывая, что при полном поле $I_{\text{ТЭД}} = I_{\text{в}}$ построим $(E/n)(I_{\text{в}}) = f(I_{\text{в}})$ для следующих величин токов (рис. 2 и табл. 2).

Покажем одно из возможных использований полученной универсальной магнитной характеристики. Для тепловоза 2ТЭ116УП известны рабочие ЭМХ [1; 2]. Приведем их в виде распечаток из Mathcad:

(500)	(801)	(1260 1745 2340)	(2.766 1.998 1.49)
533	751.407	1176 1555 2100	2.964 2.242 1.66
600	667.5	975 1310 1720	3.575 2.661 2.027
700	572.143	774 1010 1350	4.504 3.451 2.582
Id = 750	Ud = 534	nd = 690 900 1160	Id = 5.052 3.873 3.005
800	500.625	630 810 1005	5.533 4.303 3.468
890	450	532 675 825	6.552 5.164 4.225
1000	400.5	440 550 665	7.922 6.338 5.242
1100	(364.091)	(380 466 570)	(9.173 7.48 6.115)



Рис. 1. Безразмерная характеристика намагничивания

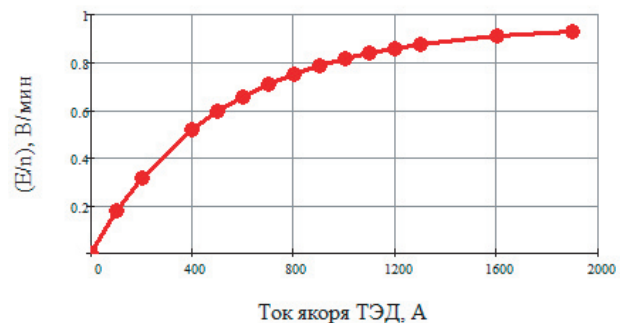


Рис. 2. Универсальная характеристика намагничивания

Таблица 2

Универсальная характеристика

$I_{\text{ТЭД}}, \text{ A}$	0	100	200	400	500	600	700	800	900
$(E/n), \text{ В} \cdot \text{мин}^{-1}$	0	0,181	0,315	0,518	0,594	0,656	0,708	0,751	0,786

Табл. 2. Продолжение

$I_{\text{ТЭД}}, \text{ A}$	1000	1100	1200	1300	1600	1900
$(E/n), \text{ В} \cdot \text{мин}^{-1}$	0,815	0,84	0,86	0,876	0,91	0,93

Здесь I_d , U_d , n_d , M_d – соответственно значения токов и напряжений якоря ТЭД типа ЭД-133, частоты вращения вала и момента на валу. По этим значениям вычислим электродвижущую силу $E_{\text{ТЭД}}$ и величины (E/n) по выражениям (3;4).

Распечатка из Mathcad:

$$E_d = \begin{pmatrix} 781.2 & 782.9 & 784 \\ 730.4 & 732.3 & 733.5 \\ 644.1 & 646.2 & 647.5 \\ 545.2 & 547.6 & 549.2 \\ 505.3 & 507.9 & 509.6 \\ 470.1 & 472.9 & 474.7 \\ 416.3 & 419.4 & 421.4 \\ 362.8 & 366.3 & 368.6 \\ 322.9 & 326.7 & 329.2 \end{pmatrix} \quad e_{nd} = \begin{pmatrix} 0.62 & 0.449 & 0.335 \\ 0.621 & 0.471 & 0.349 \\ 0.661 & 0.493 & 0.376 \\ 0.704 & 0.542 & 0.407 \\ 0.732 & 0.564 & 0.439 \\ 0.746 & 0.584 & 0.472 \\ 0.782 & 0.621 & 0.511 \\ 0.825 & 0.666 & 0.554 \\ 0.85 & 0.701 & 0.578 \end{pmatrix}$$

Аналогично, для токов I_d из ЭМХ определим значения $(E/n)=f(I_b)=f(I_d \cdot \alpha)$ (5) с помощью аппроксимированной кривой по табл. 3 и рис. 2. Получим:

$$e_{nd1} = \begin{pmatrix} 0.589 & 0.451 & 0.322 \\ 0.609 & 0.47 & 0.339 \\ 0.648 & 0.507 & 0.373 \\ 0.701 & 0.554 & 0.418 \\ 0.725 & 0.576 & 0.439 \\ 0.748 & 0.596 & 0.458 \\ 0.783 & 0.631 & 0.491 \\ 0.819 & 0.67 & 0.527 \\ 0.845 & 0.703 & 0.556 \end{pmatrix}$$

Для сравнения изобразим в одной системе координат графики зависимостей $(E/n)=f(I_b)$ по (5), рассчитанные с помощью универсальной характеристики (сплошные кривые) и по заданным ЭМХ (кружки) при различных степенях ослабления поля (рис. 3).

Для полной достоверности применения универсальной характеристики рассчитаем с ее помощью ЭМХ для приведенного выше ряда тепловозов (на рисунках в табл. 3 сплошными кривыми), сравним их с ЭМХ по [1;2] (обозначены символами) и определим максимальную относительную погрешность вычислений частоты вращения вала и момента $\delta_{\text{макс}}$ при значениях токов якоря и напряжений, приведенных в [1;2].

Для токов якоря, питающего напряжения и известных степенях возбуждения ТЭД, при которых сняты известные ЭМХ по выражениям (2;3;5), определим $E_{\text{ТЭД}}=U_{\text{ТЭД}}-I_{\text{ТЭД}} \cdot R_{\Sigma}-U_{\text{щ}}, C_e \cdot \Phi_{\text{ТЭД}}=(E/n)=f(I_b)=f(I_d \cdot \alpha)$, $n_{\text{ТЭД}}=E_{\text{ТЭД}}/(C_e \cdot \Phi_{\text{ТЭД}})$ и момент на валу ТЭД, $M_{\text{ТЭД}}$ по выражению

$$M_{\text{ТЭД}} = \frac{9,55 \cdot P_2}{n_{\text{ТЭД}}}, \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (10)$$

На рисунках в табл. 3 приведены зависимости частоты вращения вала ТЭД (спадающие сплошные и символы) и момента на валу (возрастающие сплошные и символы) от токов якоря при различных степенях ослабления поля (кружки – полное поле, ромб – 1-я ступень, квадрат – 2-я ступень ослабления поля).

Выводы

Предложена универсальная магнитная характеристика и методика ее использования, позволяющая при отсутствии ЭМХ или НХ ТЭД произвести расчет тягово-экономических характеристик тепловозов.

Сравнительный анализ ЭМХ, рассчитанных с применением универсальной магнитной характеристики с ЭМХ, приведенными в [1;2], для десяти тепловозов

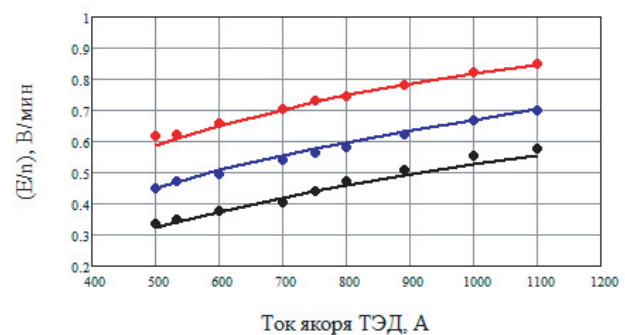
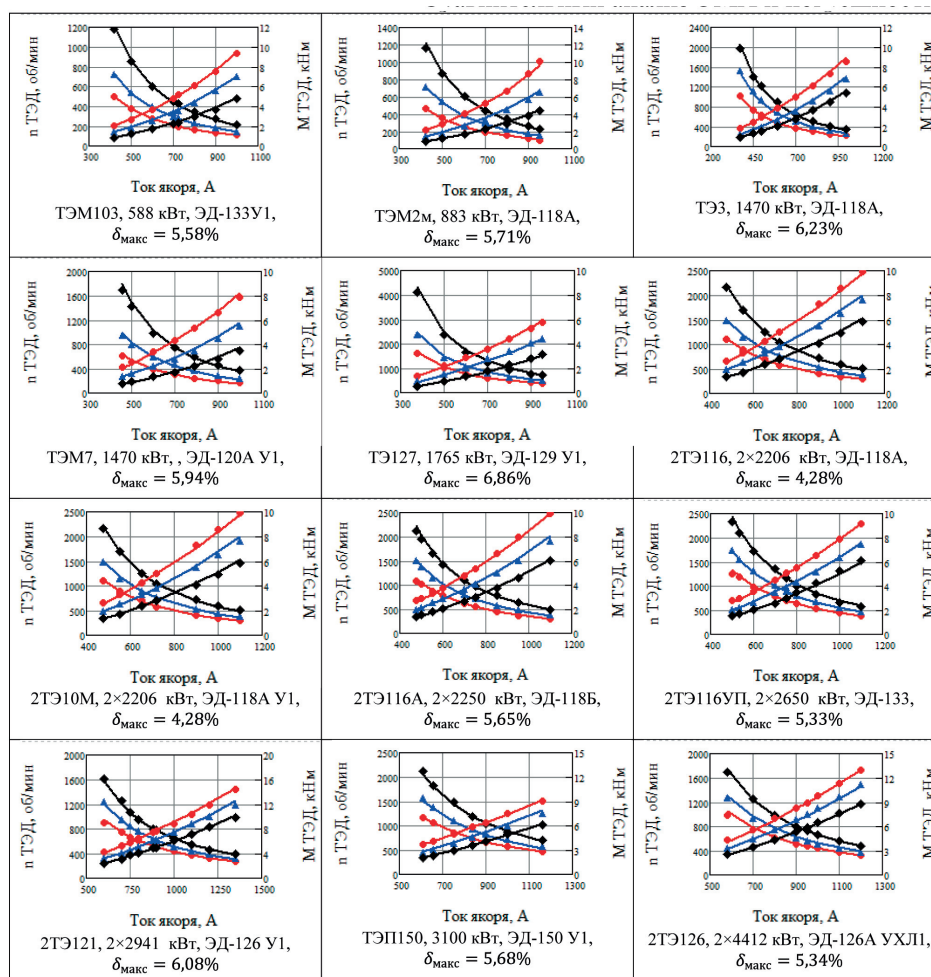


Рис. 3. Зависимости $(E/n)=f(I_{\text{ТЭД}})$ по ЭМХ [1;2] (точки) и с использованием универсальной характеристики (сплошные) для сравнения

Таблица 3

Сравнительный анализ ЭМХ и погрешности



различной мощности, показал, что максимальная относительная погрешность вычислений составила 6,86%.

Реальная погрешность на самом деле составляет меньшее значение, так как приведенные в [1;2] ЭМХ имеют зачастую значительное рассеивание значений и при этом нарушается монотонность зависимостей.

Приведенные результаты позволяют получить данные для рационального выбора конструктивных параметров тяговых передач при проектировании и модернизации тепловозов и в учебных целях.



Литература

1. Электрические передачи локомотивов / Э. Х. Тасанг, В. В. Быкадоров, О. В. Воронов, А. С. Ключев, Е. И. Иванова, О. В. Мокшина. - Изд. 3-е, перераб. и доп. - Воронеж: Изд-во филиала РГУПС в г. Воронеж, 2023. - 428 с. - Текст : непосредственный.
2. Расчёт тягово-энергетических характеристик тепловозов: учебник / В. В. Быкадоров, Э. Х. Тасанг, В. М. Новиков, О. В. Воронов, Ю. Э. Ладик. - Воронеж: Изд-во филиала РГУПС в г. Воронеж, 2019. - 366 с. - Текст : непосредственный.

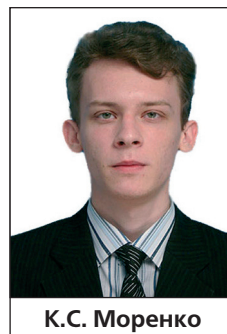
3. Гаккель, Е. Я. Проектирование и расчет электрической передачи тепловоза : учебное пособие для вузов железнодорожного транспорта / Е. Я. Гаккель, К. И. Рудая. - Москва : Транспорт, 1972. - 151 с. - Текст : непосредственный.
4. Конструкция и динамика тепловозов : учебник для вузов железнодорожного транспорта / В. В. Иванов, Н. И. Панов, А. П. Третьяков, В. Н. Иванов ; под ред. профессора, доктора технических наук В. Н. Иванова. - 2-е изд., доп. - Москва : Транспорт, 1974. - 336 с. - Текст : непосредственный.
5. Конструкция, расчет и проектирование локомотивов : учебник для вузов по специальности «Локомотивостроение» / А. А. Камаев, Н. Г. Апанович, В. А. Камаев [и др.]; под ред. А. А. Камаева. - Москва: Машиностроение, 1981. - 351 с. - Текст : непосредственный.
6. Луков Н. М. Передачи мощности тепловозов : учебник для вузов железнодорожного транспорта / Н. М. Луков, В. В. Стрекопытов, К. И. Рудая; под редакцией Н. М. Лукова. - Москва : Транспорт, 1987. - 279 с. - Текст : непосредственный.
7. Электрические передачи переменного тока тепловозов и газотурбовозов / А. Д. Степанов, В. И. Андерс, В. А. Пречисский, Ю. И. Гусевский. - Москва : Транспорт, 1982. - 254 с. - Текст : непосредственный.
8. Загорский, М. В., Никифоров Н. И. Прогнозирование тяговых качеств на стадии проектирования экипажной части локомотива / М. В. Загорский, Н. И. Никифоров. - Текст : непосредственный // Сборник научных трудов; Брянский государственный технический университет. - Брянск : Изд-во БГТУ. - 2000. - С. 16 - 22.
9. Вольдек, А. И. Электрические машины. Введение в электромеханику. Машины постоянного тока и трансформаторы : учебник для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки «Электротехника, электромеханика и электротехнологии» и «Электроэнергетика» / А. И. Вольдек, В. В. Попов. - Москва [и др.] : Питер : Питер Пресс, 2007. - 319 с. - Фактическая дата выхода в свет: 2006. - Текст : непосредственный.

ЭЛЕКТРОННЫЙ СЧЕТЧИК ВРЕМЕНИ НАРАБОТКИ

Обслуживание по наработке является более прогрессивным по сравнению с календарным обслуживанием. Для этого вида обслуживания необходимы простые и надежные электронные счетчики времени наработки. Один из вариантов такого простого и информативного счетчика приведен в статье. Практическая эксплуатация показала надежность и удобство использования таких счетчиков.

Ключевые слова: техническое обслуживание, счетчик, электроника, ремонт, сервис

EDN: LWJMDZ



К.С. Моренко



С.А. Моренко

Прогнозирование технического состояния технических средств имеет очень важное значение в инженерном деле. Отказы в работе технических средств могут приводить не только к экономическим потерям, но и к травмам персонала или даже к угрозе их жизни. Надежная и безотказная работа технических средств важна и в рыночной экономике, где каждая минута простоя грозит убытками и потерей доли на рынке. Очень важно поддерживать технические средства в рабочем состоянии.

В технике часто применяется техническое обслуживание по периодическим интервалам [1]. Такое обслуживание имеет свои преимущества: заранее известны потребность в персонале, загрузка по видам работ в течение года и потребность в запасных частях. Вместе с тем такой подход имеет и свои недостатки:

- для устройств, работающих в разных условиях окружающей среды, наблюдается неравномерный износ; некоторые из устройств не требуют обслуживания, что приводит к нерациональному расходованию ресурсов и времени персонала;

- предполагается среднестатистический износ, при этом для устройств в тяжелых условиях ремонт может потребоваться раньше, чем будет произведен по плановому методу, что требует введения дополнительных коэффициентов условий работы, приводит к снижению качества продукции и ускоренному износу.

В противовес этому подходу применяется обслуживание по фактической наработке. Такой подход имеет ряд преимуществ, особенно для техники и мобильно-транспортных машин, которые не имеют предсказуемого графика работы [2]:

Моренко Константин Сергеевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник Федерального научного агроинженерного центра ВИМ (ФГБНУ ФНАЦВИМ). Область научных интересов: возобновляемая энергетика, электроника. Автор 45 научных работ, в том числе одной монографии. Имеет три патента на изобретения.

Моренко Сергей Алексеевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Электрификация и электроснабжение» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: системы энергетика. Автор 25 научных работ, в том числе одной монографии. Имеет три патента на изобретения.

- сокращение затрат рабочего времени;
- сокращение затрат ресурсов на проведение обслуживания;
- своевременность технического обслуживания.

Вместе с тем, такой подход требует более совершенного управления техническим обслуживанием, чем календарный метод.

Для своевременного технического ремонта, тем более при использовании фактической наработки в качестве индикатора, решающее значение имеет качество прогнозирования технического состояния машины или агрегата [3–6].

На железнодорожном транспорте плановый ремонт подвижного состава выполняется по пробегу, то есть по фактической наработке. Система контроля и планирования ремонта исследуется очень широко [7]. Но в инфраструктуре железнодорожного транспорта очень много других установок, для которых пробег не имеет смысла. Примером может служить система водоснабжения отдельных объектов [8].

В сельском хозяйстве, как и на железнодорожном транспорте есть много рассредоточенных структурных объектов. Выезд обслуживающего или ремонтного персонала на такие объекты занимает длительное время. Экономии времени персонала (и повышения экономической эффективности) можно достигнуть качественным прогнозированием технического состояния машин и агрегатов и ремонтом по фактической наработке.

Росту использования такого типа обслуживания препятствуют два фактора. Во-первых, существующий низкий уровень автоматизации, особенно в традиционном сельском хозяйстве. Во многих отраслях такой автоматизации вовсе нет и многие работы выполняются вручную.

Во-вторых, чрезмерное желание руководства предприятий, если и внедрять автоматизацию, то «по полной». Переходить сразу от каменного топора к промышленной лазерной резке. Разумеется, инфраструктура и персонал предприятия оказываются не готовы к таким значительным переменам и они остаются лишь проектами.

В этом случае единственным реально действующим решением становится постепенное повышение уровня автоматизации с одновременным улучшением системы управления предприятием как с точки зрения автоматизации, так и с точки зрения принятия управленческих решений.

Одним из таких небольших шагов в области повышения качества эксплуатации оборудования становится внедрение технического обслуживания по наработке. Для контроля времени наработки оборудования необходим простой и надежный электронный счетчик.

Цель исследования

Сформулировать основные требования к электронному счетчику времени наработки и конкретную реализацию этих требований в реальном устройстве.

Материалы и методы

В первую очередь следует определить основные требования к такому электронному счетчику времени наработки.

Простота. Устройство должно быть максимально простым в двух аспектах. С точки зрения внутренней конструкции устройство должно содержать минимум деталей, поскольку каждая деталь снижает общую надежность. С точки зрения эксплуатации устройство должно быть необслуживаемым. Это позволит не увеличивать нагрузку на обслуживающий персонал, связанную с внедрением электронных счетчиков времени наработки.

Не следует забывать и о простоте с точки зрения эксплуатации — персонал должен прилагать минимум усилий по переходу с существующих счетчиков на электронные. Там же, где предполагается внедрение таких счетчиков, инструкция должна содержать минимальное количество информации, при этом полно описывая свойства и назначение устройства. Чем короче инструкция — тем вероятнее ее понимание персоналом.

Защищенность. Устройство должно иметь минимальное количество возможных мест проникновения пыли и воды внутрь. Несмотря на то, что для предотвращения попадания внутрь пыли и воды предусматриваются резиновые уплотнения и манжеты, каждый такой узел снижает защищенность устройства в целом. Уплотнение может износиться или быть неправильно установлено. Большее количество отдельных элементов требует большего объема регламентных работ, что в условиях массового внедрения устройств значительно увеличит нагрузку на обслуживающий персонал.

Информативность. Устройство должно обеспечивать пользователя максимальным количеством информации, при этом не перегружать его «лишней» информацией. Индикация должна быть возможно более простой и понятной без дополнительных разъяснений (или с их минимальным количеством).

Надежность. Устройство должно без отказов справляться с различными внешними факторами. Температурный диапазон работы электронных компонентов позволяет устанавливать эти счетчики в местах доступа персонала. Вибрационная и ударная стойкость достигается за счет отсутствия подвижных деталей в конструкции и надежным креплением инерционных элементов. Влияние изменений питающего

напряжения устраняется за счет внутреннего стабилизатора напряжения и электролитического конденсатора, выполняющего роль аварийного источника питания для сохранения информации при отключении питания.

Желательно, чтобы счетчик не имел кнопок управления, тогда индикация должна быть включена постоянно. Целесообразно использовать такой электронный счетчик там, где его собственное энергопотребление будет несоизмеримо мало по сравнению с энергопотреблением основной машины. Например, для контроля времени наработки погружных насосов.

Результаты и обсуждение

Конкретная реализация перечисленных требований может варьироваться. Далее рассмотрим один из вариантов реализации электронного счетчика (рисунок).

Простота устройства вместе с защищенностью требуют полного отказа от элементов управления устройством — клавиатур и отдельных кнопок. Это одновременно повышает защищенность и снижает требования к устройству и к обслуживающему персоналу.

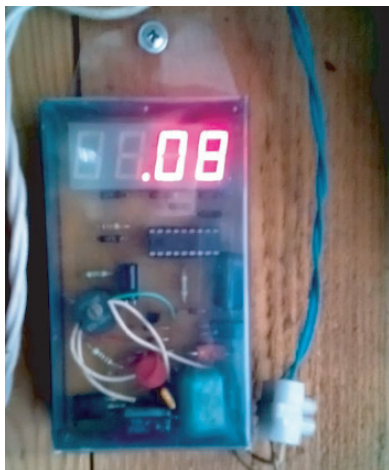


Рисунок. Электронный счетчик времени наработки отображает текущее время работы

В качестве контрольных параметров, регистрируемых счетчиком, используются общее время наработки и количество включений. Некоторые виды машин и аппаратов могут испытывать значительные перегрузки при включении. В ход идет каждое включение. В этом случае целесообразным может быть проведение технического обслуживания по количеству включений. В качестве дополнительной информации отображается время работы в текущем сеансе.

Индикация режимов работы осуществляется запятой:

- отсутствует — количество включений;
- постоянно светится в первом или втором разряде — общее время наработки в часах;
- мерцает с частотой 1 Гц в третьем разряде — текущее время работы.

Пояснение к режимам работы может быть размещено в виде мнемосхемы прямо на корпусе устройства под индикатором. Тогда дополнительных разъяснений в инструкции не потребуется.

Электронные счетчики времени наработки описанной конструкции были протестированы в условиях открытой установки на нескольких насосных станциях [8]. За почти десять лет эксплуатации ни один из счетчиков не отказал. Самый первый из установленных счетчиков (находящийся в работе с 2014 года) на текущий момент насчитал 1608 часов общего времени работы и 6619 включений погружного насоса.

В отдельных случаях может понадобиться отделить питание самого электронного счетчика от разрешения счета. Это может быть сделано с помощью отдельного входа разрешения счета. В случае, когда счетчик должен отсчитывать время лишь тогда, когда на него подано напряжение, между питанием счетчика и входом разрешения счета устанавливается перемычка.

Выводы

Простой электронный счетчик может значительно повысить эффективность технического обслуживания за счет проведения последнего только по необходимости. Простая конструкция, защищенность от воздействия факторов окружающей среды и информативность позволяют использовать его для контроля широкого диапазона машин и оборудования в разных отраслях народного хозяйства, включая сельское хозяйство и железнодорожный транспорт.



Литература

1. Петилава, Р. А. Автоматическая организация плановых видов ремонта грузовых вагонов / Р. А. Петилава. - Текст : непосредственный // Электроника и электрооборудование транспорта. - 2014. - №5. - С. 35 - 37. - EDN: SYTYPJ.
2. Москвичев, Д. А. Оценка периодичности технического обслуживания модульного транспортного средства по наработке / Д. А. Москвичев, О. В. Виноградов. - Текст : непосредственный // Вестник гражданских инженеров. - 2019. - № 4(75). - С. 134 - 137. - DOI: 10.23968/1999-5571-2019-16-4-134-137. - EDN OMJYZF.
3. Шпрехер, Д. М. Система нейросетевого контроля и прогнозирования технических состояний электромеханических систем / Д. М. Шпрехер, Г. И. Бабокин, Е. Б. Колесников. - Текст : непосредственный // Пром-Инжиниринг : труды II международной научно-технической конференции, Челябинск - Новочеркасск - Волгоград - Астана, 19–20 мая 2016 года ; ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет» (национальный исследовательский университет). - Челябинск - Новочеркасск - Волгоград - Астана: Издательский центр ЮУрГУ, 2016. - С. 328 - 332. - EDN: WFUMHD.
4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2018660971 Российская Федерация. Средство прогнозирования отказов технических средств : № 2018617923 : заявлено 26.07.2018 : опубл. 30.08.2018 / Шуневич Валерий Борисович. - EDN: YNHWCQ.
5. Духовный, Л. М. Методы прогнозирования остаточного ресурса элементов машин / Л. М. Духовный, А. А. Соломашкин. - Текст : непосредственный // Известия Московского государственного индустриального университета. - 2009. - № 3(16). - С. 2 - 7. - EDN: QZPLCZ.
6. Методы прогнозирования технического состояния судового энергетического оборудования / Ю. Н. Мясников, В. С. Никитин, А. А. Равин, О. В. Хруцкий. - Текст : непосредственный // Труды Крыловского государственного научного центра. - 2018. - № 4(386). - С. 117 - 132. - DOI: 10.24937/2542-2324-2018-4-386-117-132. - EDN: VNJZUU.
7. Патент № 2383458 С2 Российская Федерация, МПК В61F 99/00 (2006.01) . Автоматизированная система контроля ходовых частей пассажирских вагонов при плановых видах ремонта : № 2008118988/11 : заявлено 14.05.2008 : опубл. 10.03.2010 / Акмалов С. Г., Васев П. А., Иргер Г. Ю., Костоусов В. Б., Перевалов Д. С., Свердлов В. Б., Синюта А. Н., Шарф С. В. ; Открытое акционерное общество «Российские железные дороги». - 5 с.: ил. - Текст : непосредственный. - EDN: OAHVUZ.
8. Моренко, С. А. Практический опыт использования насоса малой системы водоснабжения / С. А. Моренко, К. С. Моренко. - Текст : непосредственный // Наука и техника транспорта. - 2021. - № 4. - С. 50 - 54. - DOI 10.53883/20749325_2021_04_50. - EDN: EBAGOE.

ГАРАНТИРОВАННОЕ КАЧЕСТВО ВОДЫ ОТ ВОДОЗАБОРА К ПОТРЕБИТЕЛЮ – ЭКОЛОГИЧНЫЙ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЙ ПУТЬ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ ВОДОТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ОТРАСЛИ

Проанализированы качество воды от водозабора к системам водотеплоснабжения, а также возможность уменьшения коррозионности жидкой среды и интенсивности ее накипеобразования путем применения размельченных активированных экологических кристаллов.



М.Н. Торопов

Ключевые слова: вторичное загрязнение, водозабор, ремонтные предприятия, подвижной состав, коррозионная активность жидкой среды, интенсивность накипеобразования, расход ТЭР

EDN: ERFGOR

Взаимосвязь качества воды с состоянием элементов систем водотеплоснабжения

Если говорить о качестве воды в трубопроводах, переносящих воду от источника водоснабжения к потребителю, то оно зависит от соответствия ее физико-химических и санитарно-бактериологических показателей на указанном маршруте нормативным документам. Для транспортного комплекса схема движения воды, к примеру, поставляемой Мосводоканалом, укрупненно представлена на рис. 1.

Схема подчеркивает роль вторичного загрязнения воды в изменении ее санитарно-эпидемиологических показателей в трубопроводных системах в конечной точке у потребителя.

Важным этапом в развитии указанной схемы является контроль качества воды на всех этапах ее движения.

Укрупненно можно представить и следующую схему взаимосвязи отдельных элементов системы водотеплоснабжения отрасли, объединенных качеством

воды в водозаборе, на ремонтных предприятиях, в подвижном составе и у пассажира (рис. 2).

Так, в водозаборе качество воды определяется ее физико-химическими и санитарно-бактериологическими показателями в соответствии с требованиями СанПиН 2.1.3684-21.

Но для увеличения ресурса эксплуатации трубопроводов, оборудования ремонтных предприятий и подвижного состава, а также сохранения физического здоровья пассажира этого недостаточно.

Кроме перечисленного целесообразно учитывать:

- коррозионную активность водной (жидкой) среды;

- интенсивность ее накипеобразования (по существу адгезионные свойства);

- спектральные показатели воды, определяющие размер частиц взвесей;

- окислительно-восстановительный потенциал (ОВП) воды, влияющий на жизнедеятельность человеческого организма.

Торопов Михаил Николаевич, кандидат технических наук, доцент, заведующий лабораторией кафедры «Электропоезда и локомотивы» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: прочность и надежность конструкций, улучшение качества воды. Автор более 170 научных работ.



Рис. 1. Укрупненная схема движения воды от источника водоснабжения к потребителю для транспортного комплекса (столичный регион)

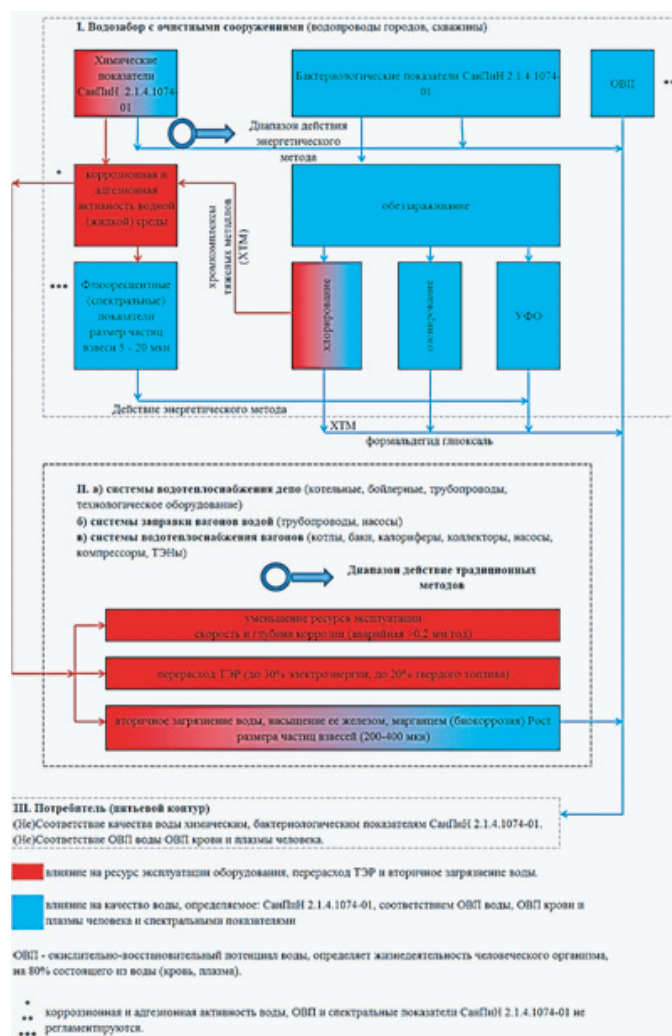


Рис. 2. Взаимосвязь отдельных элементов системы водотеплоснабжения, в том числе, ремонтных предприятий и подвижного состава

Всего этого в СанПиНе нет! Да и не может быть. К примеру, кальций и магний. Человек без них жить не может, а для труб — это злейшие враги. Такая многофакторность явлений усложняет проблему и настойчиво требует разработки и принятия нестандартных решений.

В схему, представленную на рис. 2, предлагаемые к учету показатели качества воды, введены. Введено и требуемое нормативами обеззараживание воды, а именно хлорирование, озонирование и ультрафиолетовое облучение. Учтены и особенности предлагаемых методов обеззараживания [1].

В частности, при использовании жидкого хлора, по мнению американских исследователей, в воде образуется более 260 канцерогенных галогенсодержащих соединений (ГСС). Использование гипохлорита натрия приводит в ряде случаев к интенсификации образования ГСС. Озонирование образует опасные для здоровья человека продукты, к тому же коррозионно активные, что требует применения дополнительных мероприятий [1].

Анализ взаимосвязи водозабора с системами водотеплоснабжения ремонтных предприятий (котлы, бойлеры, трубопроводы, технологическое оборудование), системами заправки вагонов водой (трубопроводы, насосы), системами водотеплоснабжения и калориферными ветвями пассажирских вагонов, системами охлаждения дизелей тепловозов свидетельствует о том, что в реальности без проведения специальных мероприятий в вышеуказанных системах происходит:

- уменьшение ресурса эксплуатации за счет процессов электрохимической и микробиологической коррозии при ее скоростях в 2–8 раз превышающих аварийные значения (0,2 мм/год);
- перерасход топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) (топлива, электроэнергии);
- вторичное загрязнение воды железом, марганцем, при увеличении размера частиц во взвесах (до 200–400 микрон).

В конечном пункте системы у потребителя суммирование вышеуказанных факторов определяет соответствие качества воды химическим и бактериологическим показателям согласно СанПиН 2.1.3684-21. При этом ОВП питьевой воды определяется его соответствием ОВП крови и плазмы человека. Именно этот фактор определяет усвоение питательных веществ на клеточном уровне организмом человека.

Для получения положительных, с точки зрения нормативных документов, результатов, на всех этапах представленной схемы целесообразно использовать технологии водоподготовки, способные уменьшить или устранить негативные факторы с минимально воз-

можными затратами. При разработке такого подхода к решению проблемы должны учитываться конструктивные, технологические, технико-экономические особенности систем водотеплоснабжения отрасли.

К примеру, в табл. 1 они приведены для систем водотеплоснабжения пассажирских вагонов при энергетическом методе водоподготовки (ЭМВ).

Кроме того, целесообразно учитывать реальное состояние систем (степень износа, химические и бактериологические анализы воды, класс потребляемой воды, расход ТЭР и т.д.). На рис. 3 приведены характерные примеры состояния систем водотеплоснабжения отрасли.

Должны учитываться также коррозионная активность и интенсивность накипеобразования воды на ремонтных предприятиях, системах заправки подвижного состава водой и в самом подвижном составе.

Отмечено, что на исследуемых объектах скорость коррозии превышает аварийные значения (0,2 мм/год) в 2–8 раз, интенсивность накипеобразования — в 2–6 раз. При этом толщина отложений варьируется от 2 до 12 мм [2].

Анализ воды проводился в Северном, Северо-Западном, Центральном-Черноземном, Центральном, Северо-Кавказском, Приволжском, Приуральском, Уральском, Восточно-Сибирском и Дальневосточном регионах РФ, а также за границей в пунктах заправки вагонов водой.

Состояние внутренних барабанов котлов и трубопроводов, определяющее в частности характер проблемы в отрасли, представлено на рис. 4.

При таком состоянии объектов теплоэнергетики наблюдается следующая зависимость перерасхода топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) от толщины накипно-коррозионных отложений (рис. 5).

Как видно из рис. 5, при толщине отложений, например, 5 миллиметров, перерасход ТЭР составит более 30%. К тому же в реальных условиях на пассажирском вагонном парке была установлена зависимость расхода ТЭР на отопление вагонов и интенсивности коррозионных процессов в трубопроводах от качества исходной воды [3]. Оно анализировалось в пунктах заправки вагонов водой на Северном направлении (Москва — Вологда, Воркута, Архангельск) и Восточном (Москва — Киров, Чита, Пекин, Улан-Батор). При этом учитывали и расход ТЭР на отопление и скорость коррозии в системах водотеплоснабжения самих вагонов, курсировавших по этим направлениям.

Перерасход ТЭР по Северному направлению составил 29,7%, скорость коррозии — 0,26 мм/год (при аварийной скорости 0,2 мм/год). Соответственно по Восточному направлению перерасход ТЭР — 10,6%,

Таблица 1

Конструктивные, технологические, технико-экономические особенности систем водотеплоснабжения пассажирских вагонов, учитываемые при ЭМВ

Конструктивные особенности	1	Взаимосвязанные калориферно-отопительный, питьевой контуры и контур ГВС. Объем контура теплоснабжения $\approx 1,0 \text{ м}^3$, питьевого $\approx 2 \text{ м}^3$	
	2	Отопление: а — высоковольтное 3000 В; б — электрическое 50–110 В; в — твердое топливо	
Технологические особенности	1	Требования к покрытиям	Малоцикловые вибрационные нагрузки исключают покрытия из хрупких материалов (стекло, керамика)
	2		Электропроводность и теплопроводность трубопроводов и ТЭНов не должны меняться при нанесении покрытий
	3		Геометрические размеры систем и оборудования не должны меняться при нанесении покрытий
	4	Ограниченные площади вагона исключают применение громоздкого дополнительного технологического оборудования	
	5	Фактическое состояние водной среды	Заправка вагонов водой в пунктах экипировки
	6		Двух-четырехкратное превышение ПДК ряда элементов в трубопроводах. Увеличенный размер взвесей (300–400 мкн вместо 5–20 мкн). Это уменьшает эффективность применения ультрафиолетового облучения, ультразвука, магнитных воздействий
	7		Высокая коррозионная активность воды в системе
Технико-экономические особенности*	1	Перерасход электроэнергии и топлива (10–30%) на отопление	
	2	Большие затраты материальных и трудовых ресурсов на деповской и капитальный ремонт	
	3	Применение основного и дополнительного технологического оборудования	
	4	Использование электроэнергии	
	5	Использование технической воды и других материальных ресурсов	
	6	Включение антикоррозионной и антиадгезионной обработки в технологический процесс деповского и капитального ремонта	
	7	Сброс солей со сточными водами в канализацию	

* Учитывают затраты энергетических, трудовых и других материальных ресурсов на достижение результата

скорость коррозии 0,12 мм/год. То есть на Северном направлении перерасход ТЭР на отопление и скорость коррозии в два раза выше, чем на Восточном. Полученный результат связан с различной интенсивностью накипеобразования и коррозионностью воды в пунктах заправки вагонов на указанных направлениях.

Интересно было проанализировать, на сколько учитывается фактор вторичного загрязнения в повышении энергоэффективности зданий, в том числе и жилых. По мнению специалистов, [4], в существующих нормативных документах экономически оптимально для всех регионов увеличить толщину имею-

щихся утеплителей в стенах примерно в полтора раза по отношению к базовому уровню. При этом ограждения по сопротивлению теплопередаче будут все еще ниже европейских, несмотря на большую суровость российских зим [4, стр. 15].

Но вопрос в том, как в существующих нормативных документах учитывается уменьшение теплопроводности трубопроводов при отоплении зданий с использованием воды с разной интенсивностью накипеобразования и коррозионной активностью?

В табл. 2 приведены численные значения коэффициентов теплопроводности различных видов накипи.



Рис. 3. Состояние объектов теплоэнергетики в транспортном комплексе

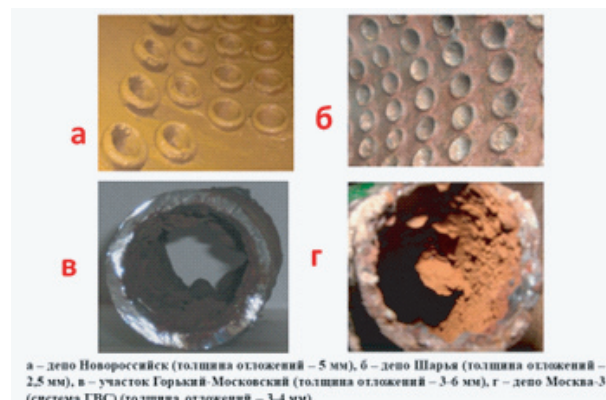


Рис. 4. Состояние внутренних барабанов котлов и трубопроводов

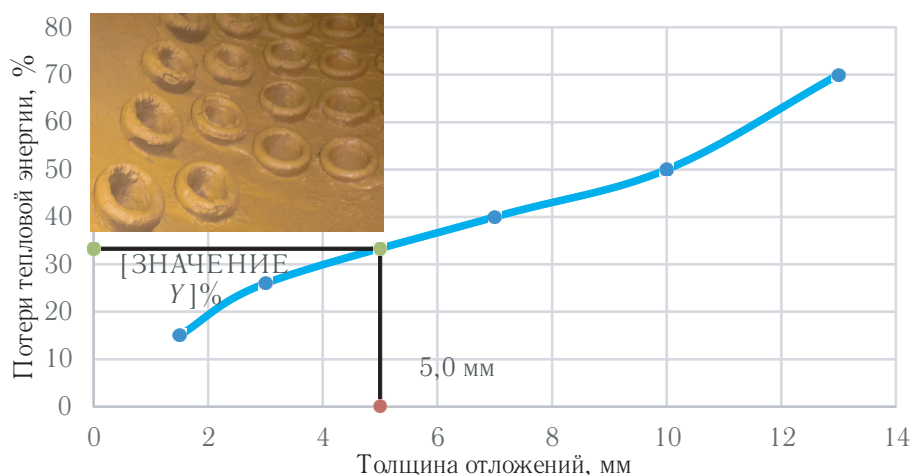


Рис. 5. Зависимость перерасхода ТЭР (потери мощности) от толщины накипно-коррозионных отложений (по данным фирмы «Lifescience Products LTD», Великобритания)

Как следует из табл. 2, коэффициент теплопроводности накипно-коррозионных отложений составляет от 0,1 до 3,0 Вт/(м·°С), при коэффициенте теплопроводности трубной стали 55 Вт/(м·°С). Коэффициент теплопроводности стали в 18,3–550 раз выше коэффициентов теплопроводности различных отложений. Таким образом, отложения приводят к перерасходу ТЭР и возникновению термических напряжений в конструкциях, значительно уменьшая их надежность и ресурс [6].

Основные причины увеличения затрат при ремонте и эксплуатации систем водотеплоснабжения — это высокие агрессивность среды (скорость коррозии в 2–8 раз выше аварийной) и интенсивность ее накипеобразования, повышенное содержание в воде железа (на некоторых объектах превышение ПДК в 10–13 раз), повышенная общая жесткость, солесодержание (табл. 3).

Причем устранить все основные причины, обуславливающие перерасход ТЭР и низкий ресурс систем в рамках единой технологии практически невозможно. Так, для уменьшения коррозионной активности воды необходимо использовать традиционные технологии антикоррозионной обработки. В случае высоких соле-содержания, жесткости, щелочности применяемой воды необходимо включить в сеть водоподготовки специализированное дорогостоящее оборудование и использовать существующие технологии умягчения.

В виду этого возникали следующие вопросы:

- как при таком состоянии систем привести в соответствие нормативам качество воды в питьевом контуре водопроводов, систем водоснабжения пассажирских вагонов? Туда не запустишь поверхностно активные вещества (ПАВ), комплексоны, химреагенты.
- как не повредить конструкции из цветных металлов, пластика, резины?

Таблица 2

Коэффициенты теплопроводности различных накипных отложений [5]

Вид накипи и ее химический состав	Характер накипи	Теплопроводность, Вт/м·°С
Накипь, пропитанная маслом	Твердая	0,10–0,15
Силикатная с содержанием кремнекислых соединений 20 % и выше	Твердая, плотная	0,25–0,50
Карбонатная с содержанием CaCO_3 и MgCO_3 до 70 %: • аморфного типа • твердого типа	Мягкая От аморфного порошка до твердого камня	0,20–1,00 0,50–5,50
Сульфатная (гипсовая) с содержанием гипса (CaSO_4) более 50 %	Твердая, плотная	0,50–2,50
Смешанная, состоящая из гипса, карбонатов кальция (CaCO_4), магния (MgCO_4), а также силикатов кальция (CaSiO_4) и магния (MgSiO_4 , окислов железа и алюминия	Твердая, плотная	0,80–3,00

• как быть с ограниченными площадями вагонов, на которых умещается весь дом и нет места для дополнительного технологического оборудования (дозаторов, магнитных, ультразвуковых систем и т.д.)?

• как повысить ресурс стальных водотеплотрасс, по крайней мере, до 50–70 лет?

• как все это выполнить в рамках единой технологии?

Выход один. Традиционные технологии действуют на следствие: они осуществляют очистку от накипно-коррозионных отложений, а надо воздействовать на причину, улучшая качество воды, уменьшая ее коррозионную активность и склонность к накипеобразованию, что СанПиНом не регламентируется.

При этом целесообразно применять либо механические, либо гидромеханические способы активации химических процессов в системах водотеплоснабжения, используя для этого природные вещества, разрешенные для введения в питьевую воду, в том числе в качестве катализаторов химических процессов. По существу, такие вещества должны быть изомерами, то есть имеющими один и тот же состав, но при определенных условиях обладающими различными физико-химическими свойствами.

Физическая сущность энергетического метода водоподготовки

Интерес к механическим методам ускорения химических реакций, особенно между твердыми телами, начал проявляться в конце позапрошлого века. Первым ученым, уделившим значительное внимание этим процессам был Д.И. Менделеев [7]. За прошедшие почти полтора столетия интерес к этой задаче не иссяк. Возникло целое научное направление, которое Менделеев окрестил как механохимия и обширная литературная база. Приведем некоторые источники из нее [8–11].

С помощью измельчения твердых тел могут быть решены самые разнообразные задачи, в частности, изменение структуры, ускорение твердофазных реакций и т.д. [9]. Установлено, что в результате активации часть механической энергии, подведенной к твердому телу, усваивается им в виде новой поверхности линейных и точечных дефектов [9]. Кроме того, известно, что химические свойства кристаллов определяются наличием в них дефектов, их природой и концентрацией. Все указанные процессы происходят на границе фаз. Но задача в случае использования вышеуказанных процессов в системах водотеплоснабжения

Таблица 3

**Причины увеличения затрат при эксплуатации и ремонте систем водотеплоснабжения
пассажирских вагонных депо и участков и методы их устранения**

№ п/п	Причины увеличения затрат	Допустимые, критические зна- чения, ПДК (нормативные доку- менты)	Фактические значения по ремонтным предприятиям ОАО «ФПК»	Статьи затрат	Методы устранения, «смягче- ния» проблемы
1	Коррозионность водной среды	1. 0,2 мм/год – аварийная $V_{кор}$. 2. 0,085 мм/год – допустимая $V_{кор}$. 3. Допустимая величина утонения трубопровода от коррозии – 20 %.	Из 31 объекта на 29 $V_{кор}$ превышает аварийную в 1,3–8,0 раз. На 2 объектах $V_{кор}$ в 2,0–2,5 раза больше допустимой	Уменьшение ресурса эксплу- атации. Замена трубопроводов при утонении до 20%. Перерасход ТЭР	Проведение периодиче- ской антикоррозийной обработки, постоянные затраты электроэнергии, материалов, воды, при- менение дополнительного оборудования при превы- шении допустимой $V_{кор}$
2	Склонность водной среды к накипееобразо- ванию	Удельная загрязненность отло- жениями к моменту остановки на чистку не превышает: 500 г/м ² – при работе на газо- образном и твердом топливе; 300 г/м ² – на жидком топливе; 1000 г/м ² – для водогрейных котлов Толщина отложений не должна превышать 0,5 мм при остановке на чистку	1. На 5 объектах до 200 г/м ² в год. 2. На 10 – до 400 г/м ² в год. 3. На 7 – до 600 г/м ² в год. 4. На 9 – от 1000 до 3000 г/м ² в год. 5. Толщина отложений от 0,4 до 7–10 мм	Уменьшение ресурса эксплуа- тации. Перерасход ТЭР до 20%	Проведение антиадгезион- ной обработки
3	Содержание железа, мг/л	ПДК=0,3 мг/л	На некоторых объектах пре- вышение ПДК в 10–13 раз	Уменьшение ресурса эксплуа- тации. Перерасход ТЭР	Обезжелезивающие уста- новки
4	Жесткость общая	До 5,0 мг-экв/л	На некоторых объектах 5,3–6,8 мг-экв/л	Уменьшение ресурса эксплуа- тации. Перерасход ТЭР	Умягчение воды
5	Солесодержание, мг/л	До 3000 мг/л	На 6 объектах от 3500 до 10000 мг/л.	Уменьшение ресур- са эксплуатации. Перерасход ТЭР	Уменьшение солесодер- жания

Энергетический метод. Одинократная обработка сроком на 5–7 лет

усложняется наличием жидкости и сам процесс идет на граница фаз «жидкость — поверхность». Отсюда и возникает более усложненная трактовка механизма действия метода.

Механизм работы основан на адсорбции активированного тонкодисперсного материала, что приводит к возникновению нескомпенсированных сил межмолекулярного воздействия на границе раздела твердой и жидкой фаз. В качестве механизма компенсации на разделе фаз образуется двойной электрический слой (ДЭС) [12]. Любое внешнее электрическое поле, направленное вдоль границы раздела фаз, вызывает смещение одного из ионных слоев, образующих ДЭС, по отношению к другому, что приводит к относительно перемещению фаз и к пространственному разделению зарядов (поляризация) в направлении движения и изменению вектора электрического потенциала (потенциал течения, потенциал оседания) [13]. Эти потенциалы отвечают за направленность реакций, диффузию, адсорбцию, хемосорбцию, сольватацию.

Если внести в слой раздела фаз кристаллические частицы с сильными дефектами кристаллических решеток (рис. 6), то есть имеющих в своей атомной структуре атомные и электронные вакансии, то при перемещении этих дефектных областей (дислокаций) по поверхности кристалла образуются дополнительные электрические поля, что позволяет при правильном подборе вещества кристаллов влиять не только на потенциал слоя скольжения, но и на потенциал диффузного слоя [11], то есть менять направленность и скорость реакций. Для этих целей нами применяются кристаллы инертных природных материалов (энергенты).

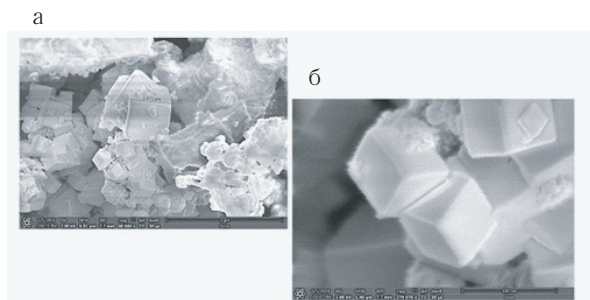


Рис. 6. Вид энергента при увеличении:
а – на 30 000; б – на 60 000

Кристалл при перемещении дислокаций по его объему или поверхности будет реагировать на это изменением своих линейных размеров (стрикция).

Вводимые нами в защищаемую систему деформированные кристаллы имеют большой избыток энергии, а ее минимизация протекает медленно. Как показала практика, мы можем рассчитывать на работоспособность кристалла в течение, по крайней мере, 5–7 лет.

Наличие блуждающих электрических полей от движения дислокаций и эффекта стрикции объясняет не только причину разрыхления и разрушения накипнокоррозионных отложений в области нахождения кристалла, но и причину и способ переноса кристалла по всей поверхности защищаемого объема, а также причину появления защитной пленки (рис. 7,8) с низкой адгезией к загрязнениям на очищаемой поверхности при инертности метода по отношению к любым конструкционным материалам.

В результате обработки под отложениями образуется защитная оксидная пленка, представляющая собой сложный оксид ряда металлов (рис. 7).

Известны, образующиеся при ряде технологий: магнетитная (Fe_3O_4), карбонатная пленка, пленка из поверхностно активных веществ (ПАВ), покрытия из алифатических аминов. Физико-механические свойства этих покрытий, значительно уступают свойствам сложного оксида. Кроме того, нанесение его на поверхность конструкций более экологично. Оно возможно и на питьевом контуре без прерывания технологического процесса.

Пример. В случае применения как ПАВ, так и ЭМВ на поверхности оборудования контактирующей



Рис. 7. Этапность технологического процесса обработки системы с толщиной отложений более 3 мм энергетическим методом

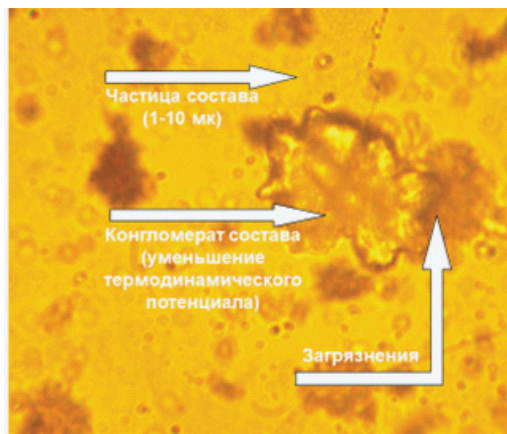


Рис. 8. Механизм воздействия ЭМВ на процессы удаления накипно-коррозионных отложений и формирование защитной пленки

с теплоносителем образуется гидрофобное покрытие (рис. 9). В первом случае она скатывается с поверхности, что свидетельствует о гидрофобности покрытия, во втором впитывается им (гидрофильность). Но в отличие от ЭМВ, ПАВ запрещены для сброса в канализацию.

Как показал опыт, при образовании такой пленки в результате ЭМВ даже при содержании взвесей в системе до 150 мг/л, последние не пристаю́т к металлу. И только после образования пленки начинается процесс очистки от отложений. Вначале удаляется поверхностный рыхлый слой, затем — плотный пристенный. Процентное соотношение этих слоев по толщине различно. Сделать вывод о законченности процесса обработки могут только специалисты на основании глубокого анализа данных. Визуальное наблюдение является недостаточным для принятия взвешенных решений при многообразии внешних и внутренних факторов, сопровождающих процессы формирования пленки и очистки системы [14].

Заключение

Энергоэффективность и экологичность эксплуатации объектов теплоэнергетики, систем водотеплоснабжения, калориферных ветвей систем водоохлаждения подвижного состава и промышленного оборудования зависят от качества воды в технологической цепочке — от водозабора до потребителя (ремонтные предприятия, подвижной состав, пассажир). Так в конечной точке отмечено увеличение показателей коррозионности водной среды по сравнению с допустимыми значениями в 25–30 раз, интенсивности накипеобразования — в 1,5–2 раза, содержания железа — в 10–13 раз. Это приводит к перерасходу ТЭР на объектах теплоэнергетики отрасли на 25–30%, в подвижном составе до 30%, резко снижая ресурс эксплуатации систем за счет запредельной скорости коррозии, ставя под угрозу здоровье пассажиров из-за некачественной воды в питьевом контуре.

Для решения указанной проблемы разработан новый подход, учитывающий ее многофакторность, а именно коррозионную активность жидкой (водной) среды, интенсивность ее накипеобразования; конструктивные, технологические, технико-экономические особенности систем, спектральные показатели, ОВП, класс исходной воды, степень износа, водно-химический режим (ВХР) в различных точках системы от водозабора до потребителя.

Такой подход позволяет экологично решить проблему и в питьевом контуре, не разрушая любые конструкционные материалы, на любой жидкости (пресная, соленая вода, низкотемпературные жидкости, химвещества, нефть и т.д.), повышая ресурс стальных трубопроводов по крайней мере до 50–70 лет. И все это в рамках единой технологии.

Механизм работы мелкодисперсных минералов, разрешенных Роспотребнадзором для водоподготовки на питьевом контуре, основан на возникновении на границе фаз «жидкость — поверхность» двойного

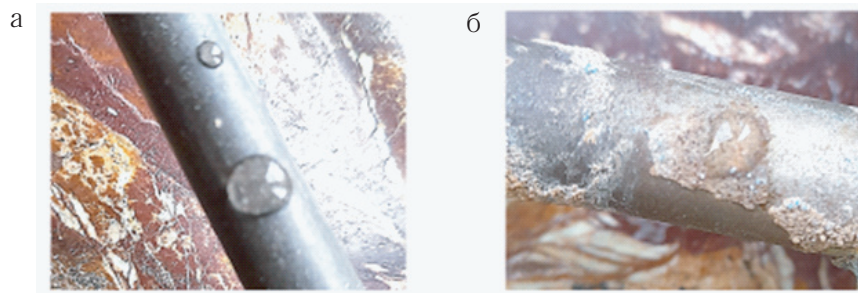


Рис. 9. Капля жидкости на образовавшейся после ЭМВ защитной пленке (а) и на отложениях (б)

электрического слоя. При введении в слой раздела фаз кристаллических частиц с дефектами кристаллических решеток (дислокация) возникает дополнительное электрическое поле, что позволяет при правильном подборе вещества кристалла влиять на потенциал диффузионного слоя, то есть менять направленность и скорость химических реакций. Это дает возможностькратно уменьшать скорость коррозии в системе и интенсивность напиеобразования. Вводимые в систему деформированные кристаллы имеют большой запас энергии, а ее минимизация происходит медленно. Как показал опыт, при образовании защитной пленки взвеси в системе, даже при их содержании до 150 мг/л, не пристаю к металлу.



Литература

1. Новиков, М.Г. Оценка эффективности обеззараживания воды для хозяйственно-питьевых целей различными реагентами / М.Г. Новиков, О.А. Продеус. - Текст : непосредственный // Инженерные системы. АВОК-Северо-Запад. - 2022. - № 2. - С. 28-34.
2. Продление ресурса эксплуатации и повышение энергоэффективности систем водотеплоснабжения и водоохлаждения / М.Н. Торопов, П.П. Бегунов, А.С. Селиванов, И.Е. Перков. - Текст : непосредственный // Инженерные системы. АВОК - Северо-Запад. - 2020. - № 1. - С. 60-67.
3. Торопов, М.Н. Взаимосвязь качества воды с экологичностью, безопасностью и энергоэффективностью при применении энергетического метода водоподготовки в системах водотеплоснабжения / М.Н. Торопов. - Текст : непосредственный // Инженерные системы. АВОК - Северо-Запад. - 2022. - № 2. - С. 36-45.
4. Ливчак, В.И. Повышение энергоэффективности зданий в России — гарантия ее устойчивого развития сейчас и потом / В.И. Ливчак. - Текст : непосредственный // Инженерные системы. АВОК-Северо-Запад. - 2022. - № 2. - С. 14-22.
5. Защита систем водотеплоснабжения от накипных и коррозионных отложений методом термодинамической активации воды / В.М. Круглов, М.Н. Торопов, В.Н. Жилин [и др.]. - Текст : непосредственный // Безопасность труда в промышленности. - 2004. - № 10. - С. 19-22.
6. Торопов, М.Н. Энергоэффективная, экологичная технология повышения надежности и ресурса систем водотеплоснабжения / М.Н. Торопов, И.Е. Перков, П.П. Бегунов. - Текст : непосредственный // Инженерные системы. АВОК-Северо-Запад. - 2019. - № 1. - С. 34-42.
7. Менделеев, Д.И. Основы химии. - 13-е издание (5-е посмертное) / Д.И. Менделеев. - Т.1. Москва; Ленинград : Государственное научно-техническое издание химической литературы, 1947. - 620 с. - Текст : непосредственный.
8. Болдырев, В.В. Механохимия твердых неорганических веществ / В.В. Болдырев, Е.Г. Аввакумов. - Текст : непосредственный // Успехи химии, 1971. - Т. XL. - Вып.10. - С. 1835-1856.
9. Аввакумов, Е.Г. Механические методы активации химических процессов / Е. Г. Аввакумов; Отв. ред. А. С. Колосов; АН СССР, Сиб. отд-ние, Ин-т химии твердого тела и перераб. минер. сырья. - 2-е изд., перераб. и доп. - Новосибирск : Наука : Сиб. отд-ние, 1986. - 305 с. - Текст : непосредственный.
10. Федоров, В.В. Термодинамические аспекты прочности и разрушения твердых тел. / В.В. Федоров. - Ташкент : Фан, 1979. - 168 с. - Текст : непосредственный.
11. Гегузин, Я.Е. Диффузионная зона / Я.Е. Гегузин. - Москва : Наука, 1979. - 343 с. - Текст : непосредственный.
12. Особенности процессов релаксации электретных зарядов в гидратированных силикатах / Я.В. Безрукова [и др.]. - Текст : непосредственный // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Наука и образование. - 3-2', 2012, - С. 51-56.
13. Киселёв В.Г. Влияние емкости двойного электрического слоя на скорость коррозии на границе раздела фаз / В.Г. Киселёв. - Текст : непосредственный // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Наука и образование. - 3-2', 2012, - С. 56-61.
14. Некоторые технико-экономические аспекты применения энергетического метода водоподготовки в системах водотеплоснабжения / М.Н. Торопов, П.П. Бегунов, А.С. Селиванов, Н.В. Васильев, И.Е. Перков. - Текст : непосредственный // Инженерные системы. - АВОК-Северо-Запад. - 2021. - № 1. - С. 46-54.



ПОДСИСТЕМА КОНТРОЛЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ЗАНЯТИЯ И ОСВОБОЖДЕНИЯ ИНДУКТИВНО-ПЕТЛЕВЫХ ДАТЧИКОВ В СИСТЕМЕ КОНТРОЛЯ ЗАНЯТОСТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПЕРЕЕЗДА

Данная работа посвящена созданию и описанию работы подсистемы контроля последовательного занятия и освобождения зоны действия индуктивно-петлевых датчиков автотранспортными средствами при их несанкционированном движении через железнодорожный переезд. Это позволит своевременно передавать соответствующую информацию членам локомотивных бригад приближающихся поездов и снизить вероятность аварийных ситуаций.

Ключевые слова: индуктивно-петлевой датчик, железнодорожный переезд, автотранспортное средство, подвижной состав

EDN: SKHWQV



П.В. Савченко



К.В. Менакер

С целью снижения числа ДТП на железнодорожных переездах авторами была предложена система контроля и удаленного информирования локомотивных бригад о несанкционированном занятии автотранспортными средствами зоны проезжей части [1]. Суть работы предлагаемой системы состоит в установке на переезде индуктивно-петлевых и микроволновых датчиков. При несанкционированном движении автотранспортного средства через закрытый переезд, или в случае падения с вагона поезда, с автотранспортного средства посторонних предметов происходит срабатывание соответствующих датчиков, в результате чего речевым информатором генерируется сообщение, передаваемое радиостанцией на частоте поездной радиосвязи членам локомотивных бригад

приближающихся поездов. Члены локомотивных бригад предпринимают все возможные действия для снижения скорости поездов и их остановки перед переездом, вследствие чего снижается вероятность ДТП. Одной из серьезных проблем при реализации системы контроля и удаленного информирования является распознавание аварийной ситуации. По статистике на неохранных железнодорожных переездах преимущественно наблюдается сквозной несанкционированный проезд автотранспортных средств, который зачастую не приводит к появлению аварийных ситуаций [2;3]. Значительно реже попытка несанкционированного проезда автотранспортного средства через закрытый переезд сопровождается неисправностью и остановкой транспортного средства в габаритах движения под-

Савченко Павел Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Системы управления транспортной инфраструктуры» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: безопасность и надежность станционных систем железнодорожной автоматики. Автор 34 научных работ. Имеет 17 патентов на изобретения.

Менакер Константин Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры электроснабжения Забайкальского института железнодорожного транспорта (ЗабИЖТ ИрГУПС), г. Чита. Область научных интересов: электропитание, устройства защиты от электрических помех станционных и перегонных устройств. Автор 31 научной работы. Имеет три патента на изобретения.

Ежиков Тимофей Валентинович, аспирант кафедры энергетики Забайкальского государственного университета (ЗабГУ), г. Чита. Область научных интересов: безопасность и надежность систем железнодорожной автоматики. Автор пяти научных работ.

Неугольников Павел Евгеньевич, аспирант кафедры энергетики Забайкальского государственного университета (ЗабГУ), г. Чита. Область научных интересов: безопасность и надежность систем железнодорожной автоматики. Автор четырех научных работ.

вижного состава и, как следствие, к ДТП. Вследствие этого по заданию службы автоматики и телемеханики Забайкальской железной дороги была разработана подсистема последовательного занятия и освобождения индуктивно-петлевых датчиков автотранспортными средствами с целью распознавания аварийной ситуации, связанной со сквозным их проездом и остановкой в габаритах движения подвижного состава. В зависимости от категории аварийной ситуации система контроля и информирования по радиоканалу передает сигнал «Тревога 1» или «Тревога 2» и члены локомотивных бригад по текущей ситуации принимают решение о дальнейшем режиме движения поездов.

Структурная схема системы контроля и информирования локомотивных бригад о занятости железнодорожного переезда

Структурная схема предлагаемой системы контроля и информирования локомотивных бригад о занятости железнодорожного переезда представлена на рис. 1. Система состоит из:

- датчиков петлевых индуктивных (ДПИ) — 1.1-1.6, штатно применяемых для фиксации подвижного состава на сортировочных станциях;

- блоков обработки сигналов с петлевых индуктивных датчиков (БДПИ) — 2.1-2.6;
- сверхвысокочастотных (микроволновых) датчиков (СВЧД) — 3.1, 3.2, 3.3, 3.4;
- блока управления микроволновыми датчиками (БУ СВЧД) — 4;
- блока контроля последовательного занятия и освобождения автотранспортными средствами зон действия петлевых индуктивных датчиков при закрытом переезде (БПЗО) — 5;
- модуля сбора данных (МСД) — 6;
- речевого информатора (РИ) — 7;
- передающего блока подсистемы беспроводной связи (БПБС) — 8;
- обогреваемого релейного шкафа — 9;
- релейного шкафа (РШ) штатных устройств автоматической переездной сигнализации (АПС) — 10;
- переездных светофоров А и Б — 11;
- электромеханических устройств заграждения (ЭУЗ) — 12 (при их наличии).

При отсутствии поездов на участках приближения переезд открыт для проезда автотранспортных средств. Дискретный сигнал об открытом переезде с РШ АПС поступает в МСД, блокируя выработку сигналов «Тревога» с его выхода на речевой инфор-

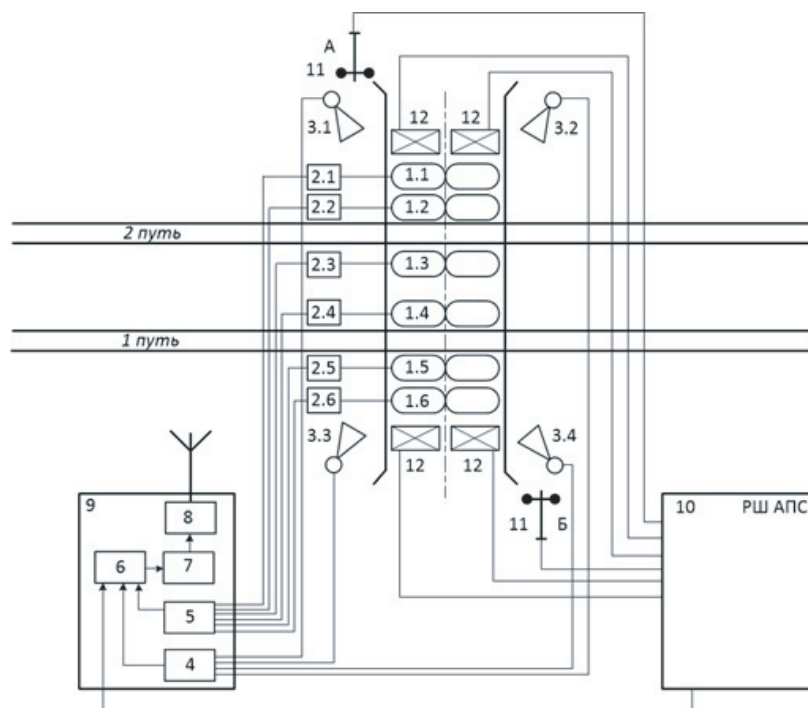


Рис. 1. Структурная схема системы контроля и информирования локомотивных бригад о занятости железнодорожного переезда

транспортного средства в зоне переезда), БПЗО выдает на вход МСД дискретный сигнал «Тревога 1», который аналогичным образом, посредством речевого информатора (РИ), преобразуется в соответствующее речевое сообщение и далее поступает на вход БПБС, в котором преобразуется в радиосигнал на частоте поездной радиосвязи.

Машинисты приближающихся к переезду поездов, посредством локомотивных устройств радиосвязи, фиксируют сигналы «Тревога 1» или «Тревога 2» и принимают решение о дальнейшем режиме движения, в зависимости от поездной обстановки (скорость движения поезда, масса, расстояние до переезда). В случае фиксации сигнала «Тревога 2» и достаточном расстоянии до переезда, возможно снижение скорости движения поезда. В случае фиксации «Тревога 1», локомотивная бригада принимает все возможные действия для остановки поезда перед внезапно возникшим препятствием, в соответствии с действующими инструкциями.

Назначение СВЧД в большей мере состоит в контроле в зоне переезда наличия посторонних крупногабаритных неметаллических предметов, упавших с автотранспортных средств или вагонов поезда.

Испытания уровня чувствительности ДПИ на автотранспортные средства были проведены на учебно-тренировочном полигоне Забайкальского института железнодорожного транспорта (ЗабИЖТ ИргУПС). Шлейф укладывался на проезжей части с различным числом витков. Производилась предварительная настройка ИПД (при свободном от автотран-

спортного средства шлейфе) путем нажатия кнопки «НАСТРОЙКА» и одновременного включения питания электронного блока. Результаты проведенных испытаний подробно представлены в работе [5].

Подсистема контроля последовательного занятия и освобождения индуктивно-петлевых датчиков

Подсистема контроля последовательного занятия и освобождения индуктивно-петлевых датчиков автотранспортными средствами выполнена аппаратно-программным способом. Принципиальная схема сопряжения одного комплекта БДПИ к блоку БПЗО представлена на рис. 3.

Помехозащищенная схема сопряжения выполнена на основе безопасного реле SHINMEI GS-SH-2XXT, устанавливаемого, в том числе, в устройствах АПК-ДК. Ток от источника постоянного напряжения 24 В протекает через фронтальный контакт интерфейсного реле ПД, далее через стабилизатор напряжения L7812C с номинальным напряжением стабилизации 12 В и обмотку безопасного промежуточного реле GS-SH-2XXT. Фронтальный контакт промежуточного реле включен в цепь второго источника постоянного напряжения 12 В. В этой цепи имеются стабилизатор напряжения L7805C с номинальным напряжением стабилизации 5 В и развязывающий диод D1. Промежуточное реле и стабилизаторы напряжения обеспечивают дополнительную гальваническую развязку и высокую помехозащищенность схемы, необходимые для устойчивой работы микроконтроллера. С фронтального контакта

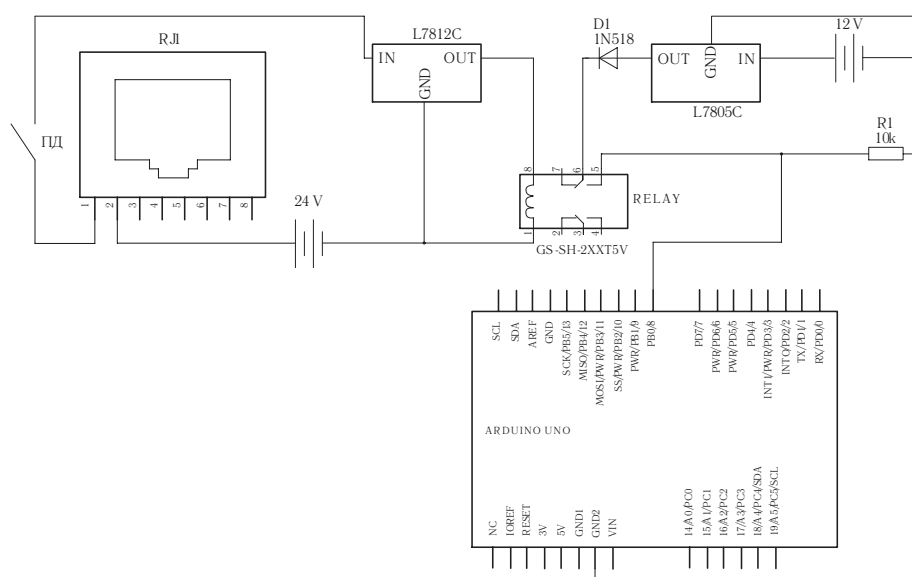


Рис. 3. Принципиальная схема сопряжения одного комплекта БДПИ к блоку БПЗО

промежуточного реле сигнал посредством делителя напряжения, выполненного на сопротивлении R1, подается на один из цифровых входов микроконтроллера. Блок БПЗО выполнен 12-канальным с целью возможного оборудования многопутных железнодорожных переездов (рис. 4).

Программное обеспечение блока БПЗО было разработано на языке C++. Предварительная сборка и отладка схемы блока производилась на платформе [1]. Имитационная модель 6-ти канальной схемы блока БПЗО представлена на рис. 5.

Сигналы с блоков БДПИ моделируются источниками электропитания, стоящими в верхнем ряду схемы. С помощью кнопок источников электропитания моделируется кратковременное или длительное занятие автотранспортным средством соответствующего датчика ПДИ. Интерфейсные реле РЭЛ, подключенные к блокам БДПИ, расположены в среднем ряду. В нижнем ряду схемы модели представлены промежуточные реле и стабилизаторы напряжения. На макетной плате в правом верхнем углу располагается кнопка имитации занятости переезда с соответствующей индикацией в виде красного светодиода. Однократное нажатие данной кнопки имитирует закрытие переезда с одновременным включением красного светодиода. Повторное нажатие кнопки приводит к открытию переезда и выключению светодиода. Слева на макетной плате расположены желтый и красный светодиоды, сигнализирующие соответственно сигналы «Тревога 2» и «Тревога 1».

В нижней части макетной платы расположены сопротивления делителей напряжения.

Алгоритм работы схемы БПЗО (рис. 6) состоит в следующем.

Первоначально производится циклический опрос свободности/занятости переезда. При свободности переезда опрос датчиков ДПИ не производится. При занятом переезде производится поочередный опрос датчиков ДПИ. При срабатывании первого по ходу движения датчика ДПИ в четном или нечетном направлении схема генерирует сигнал «Тревога 2» и начинается отсчет времени. Если за расчетный временной промежуток (расчет производился из учета минимальной скорости автотранспортного средства) освобождение данного датчика не происходит, генерируется сигнал «Тревога 1». При своевременном освобождении первого датчика и срабатывании следующего продолжается генерация сигнала «Тревога 2» и начинается отсчет времени, как и при работе алгоритма по отношению к первому датчику. Подобный поочередный опрос производится по отношению ко всем датчикам ДПИ. Кратковременное поочередное срабатывание датчиков ДПИ указывает на сквозной проезд автотранспортного средства через переезд. При срабатывании любого из датчиков с превышением заданного временного промежутка времени схема выдает сигнал «Тревога 1», который генерируется до тех пор, пока не произойдет освобождение всех датчиков или не откроется переезд.



Рис. 4. Внешний вид многоканального блока БПЗО

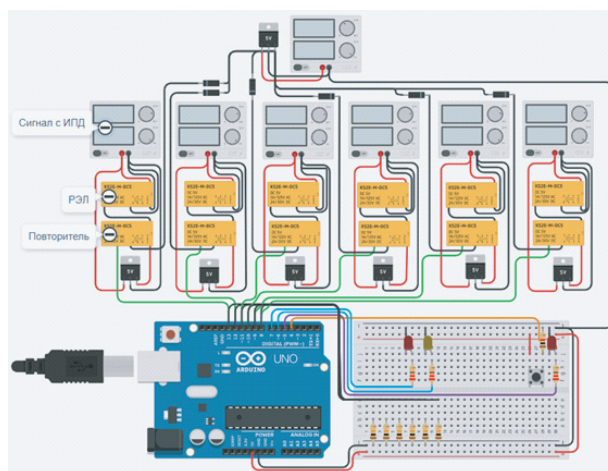


Рис. 5. Имитационная модель 6-ти канальной схемы блока БПЗО

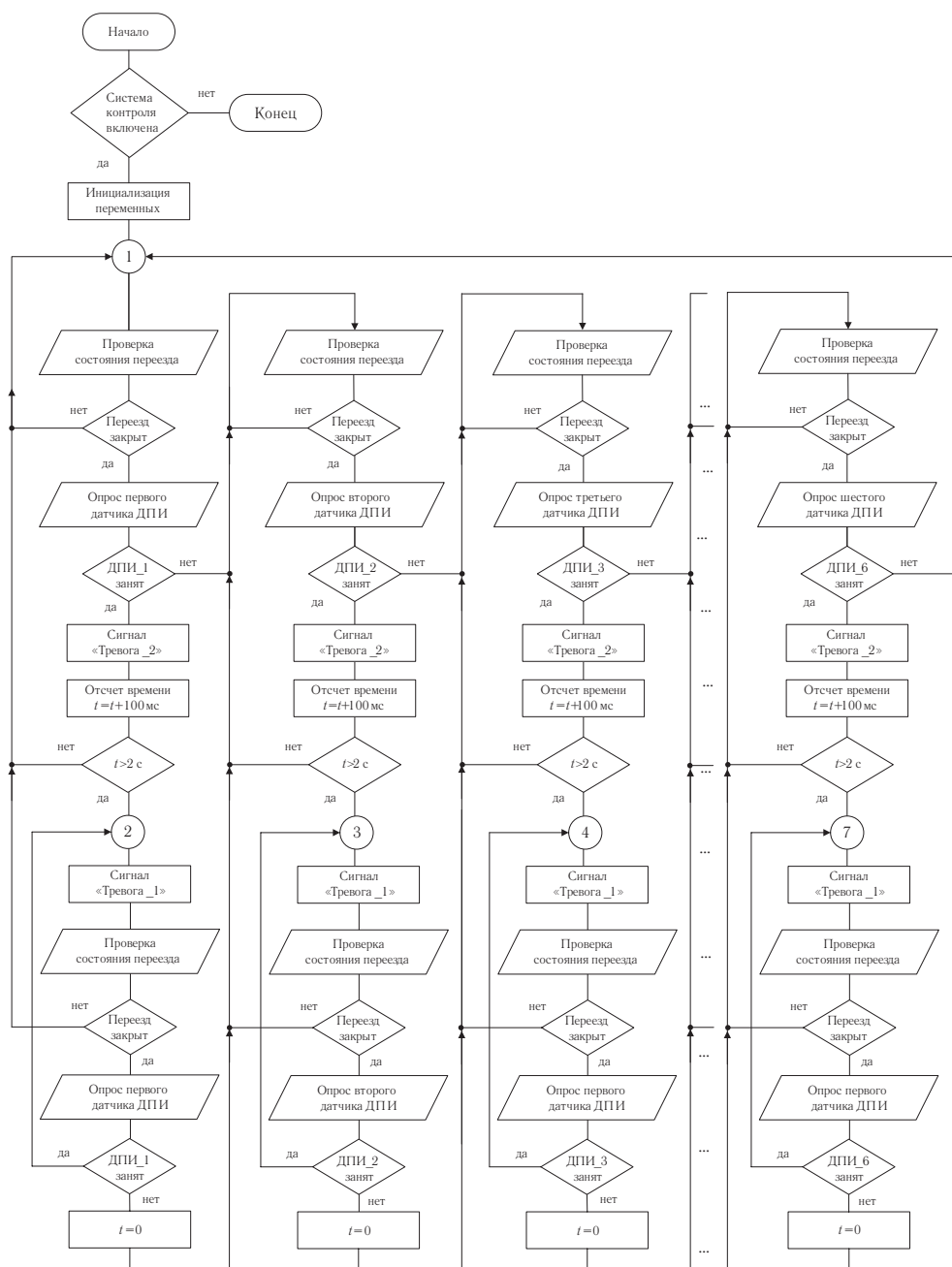


Рис. 6. Алгоритм работы шестиканальной схемы блока БПЗО

Заключение

В ходе работы была реализована аппаратно-программная подсистема контроля последовательного занятия и освобождения индуктивно-петлевых датчиков в системе контроля и удаленного информирования локомотивных бригад о занятости железнодорожного переезда. Технические и программные решения были направлены на работоспособность подсистемы в реальных условиях. Проведенные испытания подтвердили правильность выбранных технических решений. Создание подсистемы контроля последовательного занятия и освобождения индуктивно-петлевых датчиков явилось заключительным этапом создания системы контроля и удаленного информирования локомотивных бригад, которая при массовом внедрении на сети железных дорог РФ позволит снизить число ДТП на железнодорожных переездах и социально-экономические потери водителей и ОАО «РЖД».



Литература

1. Система контроля и информирования локомотивных бригад о занятости переезда / П. В. Савченко, К. В. Менакер, М. В. Востриков [и др.] . - Текст : непосредственный // Автоматика, связь, информатика. - 2023. - № 1. - С. 8 - 13. - EDN: OKNXUR.
2. Хашев, А. И. Социально-экономические потери от дорожно-транспортных происшествий на железнодорожных переездах / А. И. Хашев. - Текст : непосредственный // Транспорт и логистика: стратегические приоритеты, технологические платформы и решения в глобализованной цифровой экономике : сборник научных трудов III международной научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, 01-02 февраля 2019 года. - Ростов-на-Дону: Ростовский государственный университет путей сообщения, 2019. - С. 443 - 447. - EDN: FYBBIY.
3. Герус, В.Л. Временной и сезонный анализ происшествий на переездах / В.Л. Герус, А.Е. Тарасова. - Текст: непосредственный // Вестник транспорта Поволжья. - 2018. - № 1(54). - С. 75 - 82. - EDN: LXHENV.
4. Возможность применения индуктивно-петлевого датчика ИПД и речевого информатора РИ -1М в системе контроля занятости железнодорожного переезда / Т. В. Ежиков, П. Е. Неугольников, К. В. Менакер, П. В. Савченко. - Текст : непосредственный // Техника и технологии наземного транспорта : материалы IV Международной студенческой научно-практической конференции, Нижний Новгород, 14 декабря 2022 года. - Нижний Новгород: филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования « Самарский государственный университет путей сообщения » в г. Нижнем Новгороде, 2022. - С. 423 - 429. - EDN: YXLJEJ.
5. Менакер, К. В. Анализ использования индуктивно-петлевого датчика для фиксации автотранспортных средств на железнодорожных переездах / К. В. Менакер, Т. В. Ежиков, П. Е. Неугольников .- Текст : непосредственный // Образование - Наука - Производство : материалы VI Всероссийской научно-практической конференции (с международным участием). В 2 томах, Чита, 18 ноября 2022 года. - Т. 1. - Чита: Забайкальский институт железнодорожного транспорта - филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования « Иркутский университет путей сообщения», 2022. - С. 181-188. - EDN: MEMJSL.

МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РЕСУРСА УЗЛОВ И ДЕТАЛЕЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ПРИ ПОМОЩИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ. ПРОВЕРКА И ОБРАБОТКА ДАННЫХ



К.А. Сергеев



О.И. Мироненко

Данная статья освещает важный этап обработки данных с прибора Calipri-Ferberg CW-40 (CALIPRI), а именно проверку и предобработку. Этот этап критически влияет на качество машинного обучения, поскольку точность данных непосредственно влияет на аналитические и модельные результаты. Рассматриваются основные этапы проверки и предобработки данных.

Ключевые слова: разработки технологических процессов, ремонтное производство, оптимизация транспортных операций

EDN: NWDOIA

В статье «Методика прогнозирования ресурса узлов и деталей железнодорожного подвижного состава при помощи машинного обучения» [1] показана общая схема системы, выдающая оценку ожидаемого пробега колеса, показанная на рис. 1.

При обработке данных с прибора CALIPRI важным этапом является их проверка и предобработка. Этот этап играет ключевую роль в обеспечении высокого качества машинного обучения, так как точность и достоверность данных непосредственно влияют на результаты анализа и моделирования. В данной статье рассмотрены шаги проверки и предобработки данных с прибора CALIPRI, направленные на устране-

ние неточностей, выбросов и пропусков. Проверка и предобработка данных делится на следующие шаги.

Исследование и визуализация данных

Данные с прибора CALIPRI имеют следующий вид:

$$(x_i, y_i)_{i=1}^N,$$

где x_i — набор признаков;

y_i — набор целевых переменных;

N — фиксированное количество признаков и целевых переменных.

Сергеев Константин Александрович, доктор технических наук, доцент, доцент кафедры «Нетяговый подвижной состав» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: технологическая подготовка производства вагоноремонтных предприятий. Автор 141 научной работы, в том числе двух монографий.

Мироненко Олег Игоревич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Нетяговый подвижной состав» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: динамика систем, организация вагонной отрасли, дистанционные образовательные технологии. Автор 29 научных работ, в том числе четырех учебных пособий.

Кривич Ольга Юрьевна, кандидат технических наук, доцент, начальник Учебного отдела учебно-методического многофункционального центра Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: повышение эффективности технологической подготовки вагоноремонтного производства, оценка потребительских свойств продукции железнодорожного транспорта. Автор 66 научных работ.

Мироненко Никита Олегович, студент Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана (МГТУ им. Н.Э. Баумана). Область научных интересов: организация вагонной отрасли, искусственный интеллект, нейронные сети, предсказательное моделирование. Автор более 30 научных работ. Имеет один патент на изобретение.

Первым этапом при анализе данных является их исследование и визуализация. Это позволяет получить общее представление о структуре данных, их распределении и выявить наличие аномалий. Визуализация включает в себя построение гистограмм и диаграмм рассеяния, показанные на рис. 2. Эффективным инструментом для визуализации распределения данных является диаграмма размаха, которая широко используется для первичной оценки медианы, разброса данных через верхний и нижний квартили, а также для выявления возможных выбросов — аномальных значений [2].

Обработка пропусков

Пропуски данных возникают по разным причинам, таким как технические сбои, ошибки измерений или по другим факторам. Обработка пропусков включает в себя заполнение или удаление отсутствующих значений. Заполнение может быть выполнено с использованием статистических метрик: средних значений, медиан и т.д. Одним из методов заполнения пропусков в системе является линейная интерполяция, которая

позволяет заполнять пропущенные значения, если известны соседние значения.

Обработка выбросов

Выбросы представляют собой значения, сильно отличающиеся от остальных значений в выборке, которые могут быть результатом ошибок измерения, аномалий и т.д. [2]. Обработка выбросов включает в себя применение статистических методов для определения граничных значений, за пределами которых данные могут считаться аномальными. Выбросы удаляются, заменяются и преобразовываются таким образом, чтобы они не искажали результат анализа и прогнозирования. Для определения выбросов в системе используются статистические методы, такие как метод межквартильного размаха (IQR), стандартизированные значения (z-оценки) и др. Межквартильный размах выявляет выбросы путем вычисления разницы между третьим и первым квартилями выборки. Значения, находящиеся за пределами установленных граничных значений, считаются потенциальными выбросами. Обработка выбросов включает в себя различные под-



Рис. 1. Общая схема системы

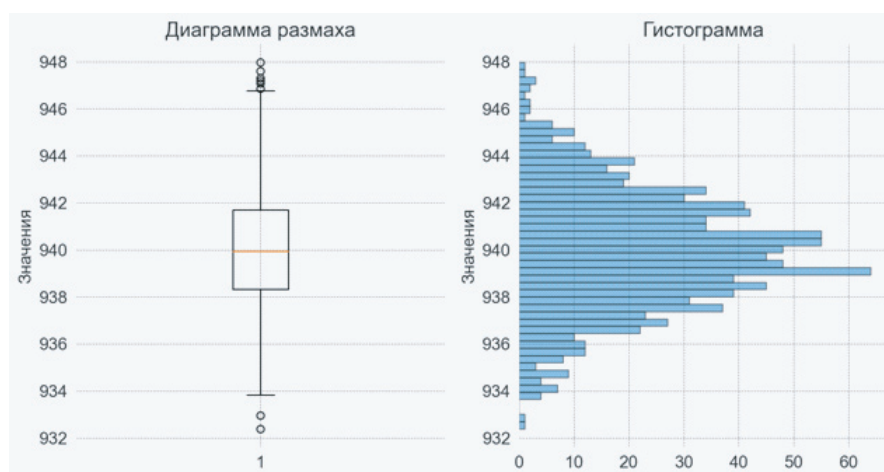


Рис. 2. Диаграмма размаха и гистограмма

ходы. Выбросы удаляются из выборки, если они являются результатом ошибок или аномалий и не имеют статистической значимости. Возможно преобразование данных, например, с использованием логарифмической шкалы, чтобы сделать выборку более нормально распределенной и уменьшить влияние выбросов на статистические оценки.

Нормализация и преобразование

Нормализация данных представляет собой процесс приведения признаков в наборе данных к стандартизированному диапазону значений, для получения наиболее точных результатов прогнозирования машинным обучением [3;4]. Цель нормализации заключается в обеспечении однородности масштабов признаков. На этапе нормализации данные преобразуются таким образом, что они располагаются в заданном интервале, позволяя избежать проблем, связанных с разнообразием масштабов признаков, обеспечивая при этом стабильность и эффективность работы алгоритмов машинного обучения [5]. Последовательное применение нормализации дает возможность достичь более стабильной сходимости алгоритмов, повышая качество и точность прогнозирования. В рассматриваемой системе используется следующая формула для нормализации значений:

$$x_{norm} = \frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}},$$

где x_{norm} — нормализованное значение;

x — исходное значение;

x_{min} — минимальное значение;

x_{max} — максимальное значение.

Дубликаты и уникальность

Наличие дубликатов в данных искажает результаты анализа и прогнозирования. Дубликаты возникают из-за ошибок ввода или технических сбоев и т.д. Удаление дубликатов позволяет сохранить только уникальные записи и предотвратить их влияние на обучение модели.

Выводы

Проверка и предобработка данных с прибора CALIPRI являются неотъемлемой частью перед применением алгоритмов машинного обучения. Правильность выполнения этих шагов влияет на качество и достоверность результатов анализа и прогнозирования. Эффективная обработка данных позволяет снизить влияние шума, улучшить стабильность моделей и повысить точность прогнозов, что в конечном итоге способствует более качественному и надежному прогнозированию. 

Литература

1. Методика прогнозирования ресурса узлов и деталей железнодорожного подвижного состава при помощи машинного обучения / К. А. Сергеев, О. И. Мироненко, М. В. Козлов, Н. О. Мироненко. - Текст : непосредственный // Транспортное машиностроение. - 2023. - № 11 (23). - С. 42-49.
2. Плас, Джейк Вандер. Python для сложных задач. Наука о данных и машинное обучение. Руководство / Плас Джейк Вандер. - Москва : Питер, 2018. - 759 с. - Текст : непосредственный.
3. Сальникова, К. В. Анализа массива данных с помощью инструмента визуализации «Ящик с усами» / К. В. Сальникова. - Текст : непосредственный // Universum: экономика и юриспруденция. - 2021. - №6(81). - С. 11-17. - DOI: 10.32743/UniLaw.2021.81.6.11778. - EDN: APSOIG.
4. T. Beysolow II. Applied Reinforcement Learning with Python: With OpenAI Gym, Tensorflow, and Keras. Apress, 2019. - ISBN 14842512615.
5. Шарден, Б. Крупномасштабное машинное обучение вместе с Python / Б. Шарден, Л. Массарон, А. Боскетти ; перевод А. В. Логунов. - Москва : ДМК Пресс, 2018. - 358 с. - ISBN 978-5-97060-506-6. - Текст: электронный. - URL: <https://www.iprbookshop.ru/124994.html> (дата обращения: 21.05.2024).

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ОРГАНИЗАЦИИ РЕГУЛЯРНОГО ГРУЗОВОГО ДВИЖЕНИЯ НА СЕТИ ОАО «РЖД» ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОНТЕЙНЕРНЫХ ПЕРЕВОЗОК

В статье рассматривается новая технология терминальной переработки контейнеропотока. Данная технология может применяться при организации контейнерных поездов в региональных распределительно-накопительных центрах. Обозначены основные проблемы и необходимость научного обоснования нового транспортного оборудования – съемных кузовов вагонов, сменных кузовов вагонов и сменных кузовов автомобилей.

Ключевые слова: контейнерные перевозки, козловой кран, переработка контейнеров, контейнерный терминал

EDN: DAZOAL



В.И. Апатцев



И.М. Басыров

Перевозки грузов в сегменте регулярного грузового движения осуществляются в двух видах. Это перевозки грузов контейнерными поездами и перевозки грузов грузовыми поездами. В технологическом отношении они имеют как общие черты, так и особенности. В части тарифного регулирования между ними общих черт меньше, чем различий. 22 февраля 2023 года на заседании Объединенного ученого совета ОАО «РЖД» были рассмотрены и одобрены технологические положения контейнерных перевозок, требующие научного обоснования и дальнейшего изучения, а именно [1]:

1. Так, в докладах В.И. Апатцева, И.М. Басырова и М.Ю. Иванова «Научно обоснованные предложения по выполнению научных исследований и разработок, обеспечивающих системное повышение эффективности и качества контейнерных перевозок в условиях

изменения структуры и направлений транспортно-логистических потоков» отмечено, что:

- потребность в контейнерных перевозках в настоящее время не удовлетворяется в полном объеме;
- существующий порядок планирования перевозок и нормирования передачи вагонопотоков по междорожным стыковым пунктам не учитывает специфику контейнерных перевозок, в результате чего возникает дисбаланс парков фитинговых платформ, и на одних железных дорогах скапливаются вагоны, а на других их недостаточно;
- технология перевозки контейнеров в полувагонах требует развития и определения направлений эффективного применения;
- в связи с ростом контейнерных перевозок на сети железных дорог, возникшими затруднениями в их реализации в условиях кардинальной перестройки логи-

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.

Басыров Ильмир Мансурович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Логистические транспортные системы и технологии» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: транспортные и транспортно-технологические системы страны, её регионов и городов, коммерческая работа в сфере грузовых перевозок, организация производства на транспорте. Автор 32 научных работ, в том числе двух монографий и пяти учебных пособий.

стики грузопотоков, возникает необходимость комплексного подхода к решению данной проблемы.

2. На основании доклада Объединенным ученым советом ОАО «РЖД» рекомендовано ЦЖД ОАО «РЖД», ЦТЕХ ОАО «РЖД», ЦД ОАО «РЖД», ЦФТО ОАО «РЖД», ЦКИ ОАО «РЖД»:

2.1. В развитие Концепции комплексного развития контейнерного бизнеса в холдинге «РЖД» (принята в 2011 г.) разработать Программу развития контейнерных перевозок на российских железных дорогах, которая бы включала в себя вопросы организационного, информационного, методического, технологического и правового обеспечения с учетом состояния цифровых технологий и современных мировых трендов.

2.2. В рамках развития новых технологий решить следующие взаимосвязанные задачи:

- разработка технологии планирования перевозок в интерактивном режиме, минуя подачу заявок формы ГУ-12 с предоставлением отправителям возможности «покупать» контейнеро-места в составах поездов регулярного обращения, и, исходя из принципа недискриминационного доступа, планировать перевозки с учетом плановой загрузки инфраструктуры;

- актуализация Методики расчета плана формирования вагонов с контейнерами государств – участников Соглашения и соответствующего программного обеспечения;

- разработка плана формирования контейнерных поездов в увязке с планом формирования грузовых поездов и маршрутов.

2.3. Рассмотреть вопрос создания виртуальных логистических центров управления контейнерными и контейнерными перевозками. Наличие развитой информационной базы ОАО «РЖД» позволяют уже сейчас создать единую общедоступную информационную площадку для планирования и организации перевозок грузов в контейнерах.

2.4. При модификации Динамической модели загрузки инфраструктуры учесть особенности формирования контейнерных поездов дифференцированной длины.

2.5. Проработать возможность перевозок контейнеров в два яруса на основных направлениях контейнеропотоков, в том числе в международном транспортном коридоре «Север – Юг».

2.6. Запланировать проведение НИР, предусматривающую проработку таких вопросов, как разработка классификации терминалов по территориальному статусу, определение полигонов внедрения инновационной технологии терминальной переработки контейнеров, которая предполагает прямую перегрузку контейнеров между группами вагонов вместо дополнительных маневровых операций по их подбору перед подачей и уборкой на погрузочно-выгрузочные пути.

Подробнее рассмотрим существующие наработки по инновационной технологии терминальной переработки контейнеров [2;3]. Проиллюстрируем их на схеме (рис. 1).

Суть рассматриваемой технологии заключается в минимизации маневровой работы по перемещению вагонов на погрузочно-выгрузочные пути и обратно. Вместо маневровых перемещений вагонов предлагается сортировать и подбирать контейнеры под погрузку. Этот подход предложен с учетом зарубежного опыта.

Для реализации данного подхода под пролет козлового крана вводится дополнительный погрузочно-выгрузочный путь, предназначенный для снятия прибывающих контейнеров козловым краном и перегрузки на поезд, формирующиеся в нужном направлении [2;3]. Технология может применяться при организации контейнерных поездов в региональных распределительно-накопительных центрах и при реализации сборных маршрутных контейнерных поездов с попутными погрузочно-выгрузочными операциями.

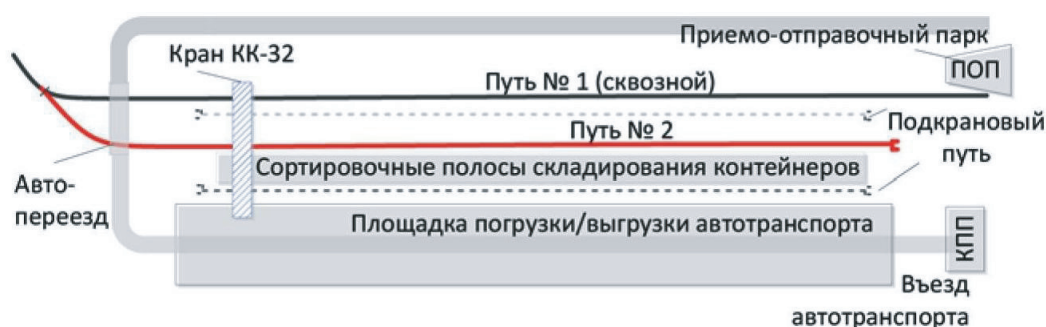


Рис. 1. Предлагаемая схема устройства контейнерного терминала в условиях инновационной технологии переработки контейнеров

На рис. 2 представлен алгоритм процесса перегрузки контейнеров при инновационной технологии терминальной переработки контейнеров. Время переработки при такой технологии зависит от величины перегружаемого контейнеропотока и порядка размещения в поезде контейнеров, подлежащих перегрузке [2;3].

Эффект инновационной технологии оценивается с позиции сокращения продолжительности обработки состава и, соответственно, снижения эксплуатационных затрат терминала [2].

Необходимо отметить, что эти практики сводятся к совершенствованию планирования терминальной работы и сокращению «терминального срока накопления» в пунктах консолидации контейнеропотоков. Это требование особенно актуально для блок-поездов, имеющих укороченную длину.

Основными факторами, определяющими предпринимательский успех контейнерного оператора на рынке

транспортных услуг, является возможность его непосредственного участия в формировании контейнерных потоков в местах их зарождения и погашения, а также продуманная и взвешенная тарифная политика, в той части предпринимательской деятельности, которая осуществляется непосредственно силами и средствами самого контейнерного оператора [4;5].

В этой связи требуется научная проработка проблемы нового транспортного оборудования — съемных кузовов вагонов, сменных кузовов вагонов и сменных кузовов автомобилей. Изначально разработчики предполагали использовать сменные, а не съемные кузова. То есть раз-два в год, по грузовой сезонности, переоборудовать лесовозы в зерновозы. При каком-то объеме и определенных направлениях грузопотока данный подход работает. Уже позднее вагоностроители пошли другим путем, рассматривая объемные (съемные) кузова, как аналог контейнера. При этом в кузовах для

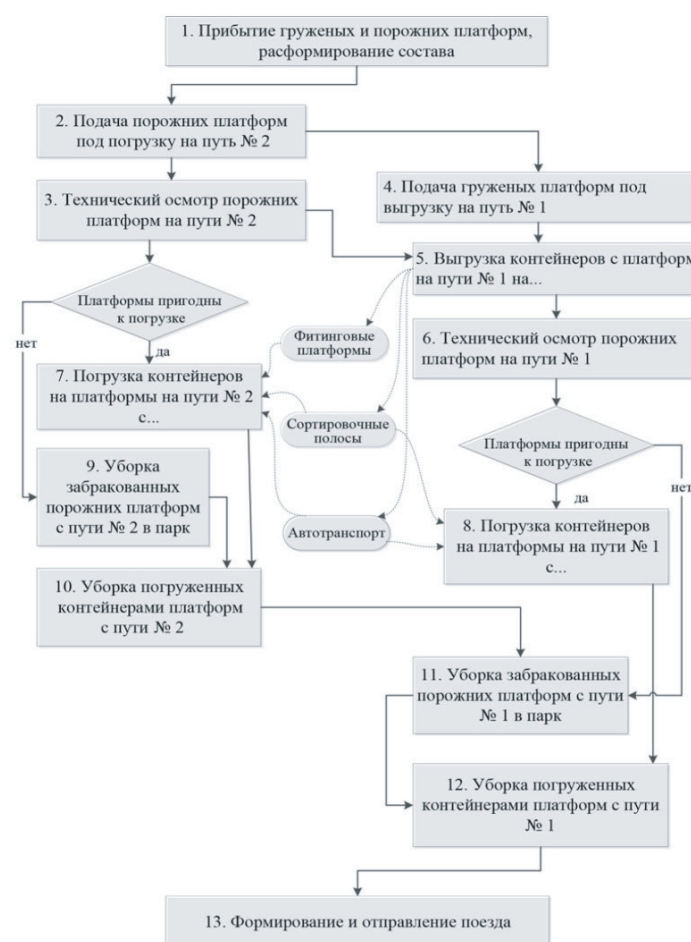


Рис. 2. Алгоритм процесса перегрузки контейнеров при инновационной технологии терминальной переработки контейнеров

насыпных грузов поставили фитинги сверху — заявка на «вход» в мир контейнеров. Внизу не фитинги, а другие крепежные средства. Как известно, контейнерный мир регламентируется своими стандартами и правилами, по которым грузоподъемное оборудование может перегружать только сертифицированные контейнеры ISO (Международной организации по стандартизации). Кроме того, в Мировой контейнерной транспортной системе есть еще два важнейших требования к транспортному оборудованию:

а — складирование многоярусное на морских причалах и контейнерных терминалах, а съемные кузова складироваться только в один ярус;

б — контейнеры массово перевозятся на морских судах-контейнеровозах. На этом контейнерный бизнес и основан — на массовых межконтинентальных перевозках. С кузовами это невозможно в принципе — если они не превратятся в контейнеры.

Еще один существенный недостаток съемных кузовов для насыпных грузов — у них изначально не было и сейчас нет технологии выгрузки. Наклон типа Laude часто работает не так эффективно, как от него ожидают.

На фоне популярности и наличия фитинговых платформ и множества типов контейнеров, полностью совместимых с контейнерной транспортной системой, появляется устойчивая потребность проведения научных исследований по разработке принципов совместимости разного транспортного оборудования с транспортными системами и средствами.

Это особенно актуально в части проектирования специализированных вагонов для перевозки съемных и сменных кузовов, так как сочлененные трехтележечные платформы (для перевозки съемных кузовов) тоже имеют серьезные недостатки:

- неравномерность нагрузки на тележки — на среднюю по сути полтора кузова, а на торцевые — по половине кузова;
- повышенный износ пары колесо — рельс при проходе кривых средней тележкой.

Заключение

Объединенным ученым советом ОАО «Российские железные дороги» поставлены технологические задачи контейнерных перевозок, требующие научного обоснования и дальнейшего изучения. В рамках данной статьи обозначены существующие наработки по инновационной технологии терминальной переработки контейнеров и проблеме нового транспортного оборудования — съемных кузовов вагонов, сменных кузовов вагонов и сменных кузовов автомобилей. 

Литература

1. Протокол Объединенного ученого совета ОАО «РЖД» № 145 от 22.02.2023 г. - Пункты 1.23, 1.24 : официальный текст. - 25 с. - Текст : непосредственный.
2. Басыров, И. М. Инновационная технология терминальной переработки контейнеров / И. М. Басыров, Д. И. Кочнева, Х. Чан .- Текст : непосредственный // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. - 2022. - № 2(54). - С. 108 - 116. - DOI: 10.20291/2079-0392-2022-2-108-116. - EDN: NSMHZI.
3. Басыров, И. М. О возможности внедрения инновационной технологии переработки контейнеров / И. М. Басыров .- Текст : непосредственный // Управление эксплуатационной работой на транспорте (УЭРТ—2022): сборник трудов Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 15-16 марта 2022 года ; под редакцией А. Ю. Панычева, Т. С. Титовой, О. Д. Покровской; отв. за выпуск А. В. Сугоровский, Г. И. Никифорова, Т. Г. Сергеева, М. А. Марченко. - Санкт-Петербург: ФГБОУ ВО ПГУПС, 2022. - С. 128 - 132. - EDN: LLLACC.
4. Басыров, И. М. Организация производства транспортной компании в условиях применения дифференцированных длин поездов : специальность 05.22.01 «Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Басыров Ильмир Мансурович. - Москва, 2020. - 204 с. - EDN: PSJLQB
5. Апатцев, В.И. Конкурентоспособность транспортной компании - контейнерного оператора: монография / В.И. Апатцев, И.М. Басыров; М-во транспорта Рос. Федерации, Рос. ун-т транспорта (МИИТ), Рос. открытая акад. транспорта. - Москва: РУТ (МИИТ): РОАТ, 2023. - 1 CD-ROM. - Систем. требования: ПК, дисковод CD-ROM; Windows XP SP3/Vista/7/8/10 или аналог; Adobe Acrobat Reader или аналог. - Загл. с титул. экрана. - Формат pdf, 140 с. - Текст : электронный.

ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМЫ ОБСЛУЖИВАНИЯ ПРИГОРОДНЫХ ПЕРЕВОЗОК СУБУРБАНИЗИРОВАННЫХ И НЕУРБАНИЗИРОВАННЫХ АГЛОМЕРАЦИЙ

В настоящее время формируются субурбанизированные структуры, которые имеют различные геометрические формы. В статье рассмотрены меры привлечения пассажиропотока по зонам невыраженных потоков. В этих зонах следует использовать специальные транспортные системы, гарантирующие с одной стороны, удобство и комфорт для пассажиров, а с другой – эффективное использование ресурсов и снижение затрат на обслуживание.

Ключевые слова: городской транспорт, железнодорожный транспорт, пригородные перевозки, пригородно-городские перевозки

EDN: NCMOVA



С.П. Вакуленко



Н.Ю. Евреенова

В настоящее время процессы интенсивного роста городов замедляются. Особенно выраженным вектором снижения темпов застроек выделяются сверхкомпактные районы мегаполисов и крупнейших городов. Предельная плотность социальной и транспортной инфраструктуры при запредельной плотности населения (до 10 чел/м²) приводит к значительному дискомфорту проживания, и, как следствие, стремлению людей выйти за пределы сформировавшейся сферы бытия. По некоторым экспертным данным, за последние 10 лет в городах с населением более 1 млн человек каждый третий житель стал проводить за городом на 1/3 времени больше, чем раньше. С каждым годом усиливается вектор так называемой

малой миграции, когда жители крупных городов стараются проводить все больше времени за пределами своих техно-сити, когда цивилизация вместе со своими благами преподносит и целый ряд негативных последствий. Усиление потоков малой миграции происходит по радиальным направлениям от центров проживания вдоль линий железных и автомобильных дорог, образуя своеобразную звездчатую форму расселения на субурбанизированных территориях (рис. 1).

Если город располагается в зоне плотного заселения, равномерного распределения крупных промышленных предприятий, развитой сети железных дорог, то эти условия обеспечивают формирование лучевой структуры тяготения пригородных пассажи-

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

Евреенова Надежда Юрьевна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Управление транспортным бизнесом и интеллектуальные системы» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: транспортно-пересадочные узлы и комплексы, качество транспортных услуг, моделирование и взаимодействие транспортных систем. Автор более 60 научных работ, в том числе трех монографий и 15 учебных пособий.

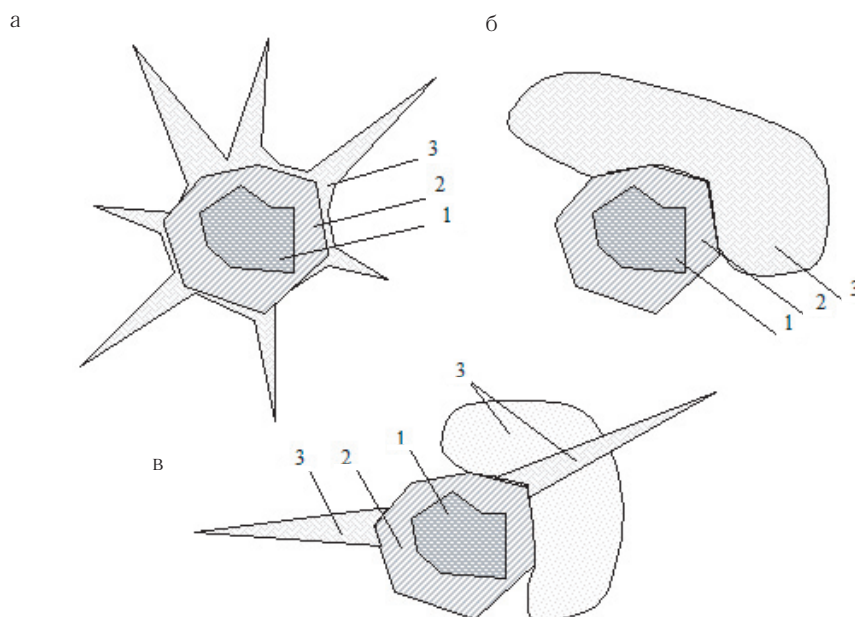


Рис. 1. Геометрия формирования субурбанизированных структур: а – правильных; б – асимметричных; в – интерференционных; 1 – ядро (город); 2 – микрорайон; 3 – зоны рекомбинации

ропотоков, устремляющих расширяющееся сечение к самому городу (рис. 1, а). Данная структура приобретает формы многолучевой звезды с вылетом отдельных звеньев до 120–150 км (плеча обращения пригородных поездов). В некоторых случаях пригородные пассажиропотоки имеют большую зону тяготения, используя для завершения поездки в основном автотранспорт. Такие пассажиры оказываются потерянными для железнодорожного транспорта и образуют так называемую потенциально пролонгированную категорию пригородных пассажиропотоков.

Асимметричная форма субурбанизированных ареалов (рис. 1, б) связывается с определенным свойством прилегающей к городу территории (исторически, экологически или климатически привлекательные, с особым экономическим статусом и др.). Особенностью данной формы является явная концентрация заселяемой области, слабо связанная (или совсем не связанная) с транспортными коммуникациями.

Интерференционная структура (рис. 1, в) определяется пересечением нескольких специфических условий благоприятного расселения городского и сельского населения в пригородной зоне (наличие железных и автомобильных дорог вместе с недорогими участками садово-огородных и дачных товариществ, интенсивное развитие новой промышленной зоны вместе с льготной политикой предоставления кредитов под застройку коттеджей и загородных домов).

Построение демограмм расселения жителей в пригородных зонах с накладкой на карту железных дорог позволяет отметить области, не охваченные транспортными связями и разработать соответствующие проектные решения по обеспечению жителей данных районов транспортом. Такие исследования начинают проводиться по целому ряду регионов Российской Федерации, а также стран СНГ. Особую важность представляют меры привлечения дополнительных пассажиров по зонам невыраженных потоков (ЗНП) — неустойчивых во времени, слабо фиксированных по своим минимумам, внезапно возникающих и так же внезапно уменьшающихся до нулевых величин. По некоторым экспертным оценкам, пассажиры ЗНП составляют до 20% от всего пригородного потока, обсуживаемого по зоне оборота подвижного состава. Следовательно, важно обеспечить соответствующие условия, которые рассматриваются пассажирами ЗНП как благоприятные в целях своих поездок.

В ЗНП следует использовать специальные транспортные системы, гарантирующие с одной стороны полный охват пассажиров, а с другой стороны, имеющие экономическую обоснованность своего применения. В этом отношении разумной альтернативой на неэлектрифицированных линиях является рельсовые автобусы, а на электрифицированных — электромотрисы. Рельсовый автобус (РА) эксплуатируется на участках неэлектрифицированных железных дорог с незначительным пассажиропотоком, где 6-и и 12-

вагонные электросекции заменяют один-три вагона с дизельным двигателем. В этом случае наблюдается аналогия с использованием автомотрисы (или электромтрисы при электрифицированной линии), только не для технических нужд, а с целью перевозки пригородных пассажиров. В европейских странах этот транспорт часто называют рельбусом.

Для эффективного использования рельсовых автобусов необходимо создать соответствующую инфраструктуру. Опыт показывает, что наиболее целесообразно РА работает при наличии остановочных пунктов на расстоянии 1–2 км друг от друга, что приближает его к режиму работы маршрута городского транспорта. Зоны активного использования рельсовых автобусов зависят от целого ряда факторов (количество проживающих в городе, планировка городских агломераций, существующая плотность застройки микрорайонов и их удаленность от центра города, промышленное развитие региона тяготения и др.). На рис. 2 приведена общая графическая зависимость системы организации пригородного движения от расстояния перевозки пассажиров в пригородном сообщении и размеров пассажиропотока.

Специфика обслуживания пассажиров в пригородном сообщении несколько изменяет смысл комфортности поездки, незначительной по времени и малыми ожиданиями в пунктах посадки и пересадки. Кратковременность нахождения в пути приводит к более вероятной потребности в достаточно простом сервисе железнодорожных услуг, приближающему к условиям городских поездок в общественном транспорте. Однако с безусловной категоричностью отмечать данный факт нельзя. Речь идет лишь о преобладании простого обслуживания в пути, ограни-

ченного ожиданием конечного пункта следования в течение 1–2 часов с занятием определенного места в вагоне. По длительности пригородные перевозки в своем большинстве начинаются там, где заканчиваются городские. И так как среднее время нахождения пассажира в пригородном поезде в 2–3 раза больше, чем время поездки в городском транспорте, то соответствующий дополнительный комфорт должен определенным образом пропорционально уменьшать неудобства длительного пути. Поэтому можно отметить необходимость действия компенсаторного механизма, обеспечивающего достаточно комфортные условия поездки в пригородном транспорте, удерживающие пассажиров от перехода на автомобильный транспорт. В этом отношении должны использоваться определенные правила, с высокой вероятностью гарантирующие устойчивое использование железнодорожного пригородного транспорта населением прилегающего региона — нормализующие компенсаторные воздействия (НКВ), либо увеличивающие пригородный пассажиропоток благодаря рекламированию и внедрению привлекательных для пассажиров услуг — развивающие компенсаторные воздействия (РКВ). Причем НКВ не являются подмножеством правил РКВ, так как механизм привлечения новой клиентуры психологически должен быть более тонким, аргументированным и уверенным, чем размеренный и устоявшийся механизм поддержания качества обслуживания постоянных пассажиров пригородного транспорта.

Таким образом, вся система организации и управления пригородными перевозками должна претерпеть существенные изменения. На основе глубокого анализа структуры пригородного пассажиропотока, демо-

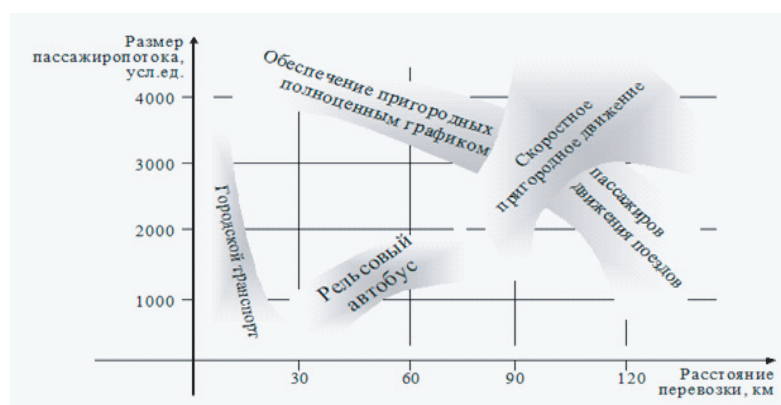


Рис. 2. Оценка зон эффективного использования различных систем организации пригородного движения

графических, социальных, культурных, экономических особенностей регионов тяготения к устойчивым и незначительным потокам пассажиров выстраивается система государственной политики защиты всех слоев населения в своем праве пользоваться услугами транспорта в соответствии со своими потребностями и возможностями.

Данная система должна базироваться на определенных объективных закономерностях, действующих среди случайностей и неопределенностей транспортного обслуживания вероятностно изменяющихся характеристик пригородного пассажиропотока. Осознание и использование этих правил позволит регулировать процесс перевозок в соответствии с внутренними устремлениями всей социально-технической системы, какой является выделенный ареал проживания групп населения, пользующихся услугами железнодорожного транспорта в пригородном сообщении. Мягкая, «пошерстная» схема управления всегда благоприятно сказывается на управляемом организме, каким является город вместе с транспортными коммуникациями. Сложность выяв-

ления таких правил заключается в их постулативном, декларативном содержании. Они практически невыводимы на основе логико-математических посылок и стройных аргументаций. Их нельзя доказать, исходя из некоторых исходных позиций. Они действуют только потому, что приняты объективным социумом клиентов, именующихся пригородными пассажирами. Но сила их велика, эти правила определенным образом количественно регламентируют основные характеристики, их знание позволяет легко и просто организационным порядком решать многие претенциозные, пограничные и открыто конфликтные проблемы. Латентность действия в гигантском потоке случайных событий только подчеркивает их значение. Бихевиористичность социотехнической системы означает прежде всего целеустремленность внутренних механизмов такого сложного и слаженного в своем функционировании образования как зона тяготения пригородного пассажиропотока. Поэтому знание этих движителей позволит поднять всю систему управления пригородными перевозками на новый уровень эвристического моделирования транспортных процессов. 

Литература

1. Сай, В. М. Этапы создания маршрута «Городская электричка» / В. М. Сай, Д. А. Бруснянин. - Текст : непосредственный // Экономика железных дорог. - 2014. - № 12. - С. 68 - 78.
2. Вакуленко, С. П. Организация транспортного сервиса на участках совмещённого движения / С. П. Вакуленко, А. В. Колин, Л. Р. Айсина. - Текст : непосредственный // Экономика железных дорог. - 2020. - № 1. - С. 54 - 60.
3. Вакуленко, С. П. Логистика пассажирских перевозок: особенности и основные понятия / С. П. Вакуленко, Е. В. Копылова. - Текст : непосредственный // Мир транспорта. - 2015. - № 3 (58). - С. 32 - 36.
4. Организация пассажирских перевозок : учебник / А. Г. Котенко, Е. А. Макарова, И. Н. Шутов, О. В. Котенко, А. А. Грачев, М. В. Стрелков, Ю. О. Пазойский, А. П. Бадеецкий, В. А. Кудрявцев ; под ред. А. Г. Котенко, Е. А. Макарова. - Москва : ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2017. - 136 с. - ISBN 978-5-89035-968-1. - Текст : электронный // УМЦ ЖДТ : электронная библиотека. - URL: <https://umczt.ru/books/1196/39297/> (дата обращения: 20.05.2024).
5. Пазойский, Ю. О. Специфика применения зонного параллельного графика движения пригородных поездов / Ю. О. Пазойский, М. Ю. Савельев, А. А. Сидраков. - Текст : непосредственный // Вестник Белорусского государственного университета транспорта: Наука и транспорт. - 2018. - № 2 (37). - С. 71 - 72.
6. Роменский, Д. Ю. Обоснование величины потребного интервала между транспортными средствами в пригородно-городских пассажирских перевозках на примере работы железнодорожных диаметров / Д. Ю. Роменский, К. А. Калинин. - Текст : непосредственный // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. - 2020. - № 3 (47). - С. 81 - 88.
7. Куренков, П. В. Научно-методические рекомендации по решению первоочередных задач для пассажирских перевозок в системе «Город — пригород» / П. В. Куренков, Ю. Н. Дранченко, С. А. Волкова. - Текст : непосредственный // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. - 2016. - № 1. - С. 4 - 12.

8. Вакуленко, С. П. Тактовые графики движения поездов на участках с интенсивным пассажирским движением на примере Московского железнодорожного узла / С. П. Вакуленко, Д. Ю. Роменский, А. В. Колин. - Текст : непосредственный // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. - 2020. - № 9. - С. 3 - 7.

9. Евреенова, Н. Ю. Совершенствование системы пропуска электропоездов на участках с интенсивным движением / Н. Ю. Евреенова, Д. Ю. Роменский, К. А. Калинин. - Текст : непосредственный // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. - 2021. - № 1(81). - С. 88-96. - DOI: 10.46-973/0201-727X_2021_1_88.

10. Вакуленко, С. П. Формирование транспортно-пересадочных узлов в зонах тяготения пассажиропотоков пригородных зон / С. П. Вакуленко, Н. Ю. Евреенова. - Текст : непосредственный // Транспорт: проблемы, цели, перспективы (transport 2021) : Материалы II Всероссийской научно-технической конференции с международным участием, Пермь, 12 февраля 2021 года / Под ред. Е.В. Чабановой. - Пермь: Пермский филиал Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Волжский государственный университет водного транспорта», 2021. - С. 549 - 552. - EDN: FHEYIN.

ОДИН ПОДХОД К КОНТРОЛЮ ЗАЕЗДА ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ НА БЛОК-УЧАСТОК



В.А. Бугреев



Р.М. Нигай

В статье рассматривается способ управления светофорными объектами, стоящими на заезде на блок-участок железнодорожного пути, которые фиксируют момент заезда поезда на этот блок-участок, если он электрифицирован. Авторы предлагают новое решение для фиксации момента заезда поезда на перегон путем замены рельсовой цепи как источника информации на электромагнитный датчик, расположенный рядом с контактным проводом в зоне начала блок-участка.

Ключевые слова: система центральной блокировки, блок-участок железнодорожного пути, железнодорожная автоматика

EDN: TCNDXX

Трудно в наше время переоценить роль транспорта в жизни страны. Особая роль в этой составляющей, несомненно, отводится железнодорожному транспорту. По сути являясь «кровенной» артерией для хозяйствующих объектов, железнодорожный транспорт немаловажную роль играет и в перевозке людей. Необходимо отметить, что последнее обстоятельство накладывает на железнодорожный транспорт высокую ответственность за безопасность жизни пассажиров. В последнее время, с учетом развития технологий, эта задача успешно решается. Однако, есть технологии, история которых ведется еще с 1872 года, к таким относится, например, задача по центральной блокировке и централизации. Она решается с помощью электрической рельсовой цепи. Основная задача

рельсовых цепей — определение момента заезда поезда на блок-участок. Известно, что все железнодорожные пути в мире разделены на блок-участки. Эти участки отделяются друг от друга с помощью изолирующего элемента, который помещен между торцами рельс в месте заезда поезда на блок-участок. Одновременно, в этом же месте ставится светофор, который своим сигналом информирует машиниста поезда о занятости или свободности блок-участка.

Эти два объекта размещены рядом и сигнал на светофор подается с рельсовой цепи, которая дополняет работу системы «изолирующий элемент-рельсы».

Рассмотрим работу рельсовой цепи подробнее. В основе работы рельсовой цепи положено использование рельсов для коммутации контактной группы путе-

Бугреев Виктор Алексеевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Электрификация и электроснабжение» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: надежность сложных технических систем. Автор более 80 научных работ, в том числе трех монографий. Имеет 16 патентов на изобретения.

Нигай Руслан Михайлович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электрификация и электроснабжение» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: надежность и безопасность технических систем. Автор 37 научных работ.

Чехов Антон Павлович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Электрификация и электроснабжение» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: электрические машины, информационные технологии в производстве. Автор 49 научных работ, в том числе двух монографий и семи учебных пособий. Имеет три патента на изобретения.

Новиков Евгений Владимирович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Электрификация и электроснабжение» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: надежность, информационные технологии. Автор 48 научных работ, в том числе пяти учебных пособий.

вых реле, которые в свою очередь подключают блок питания. Для обеспечения соединения этих путевых реле с блоками питания используются специальные кабели, которые могут обеспечивать надежный контакт при любой погоде. Пока поезд своей колесной парой не закоротил рельс, напряжение с блока питания по обратному кабелю поступает назад в источник питания. При «закорачивании» питание с блока начинает включать контакты управляющего реле с которого и идет управление светофором, показывающим факт заезда поезда на блок-участок. Далее, после выезда поезда с блок-участка, контакты реле, остаются без питающего напряжения и рельсовая цепь устанавливается в режим ожидания (на светофоре горит зеленый свет) [1;2].

Широко используемые в настоящее время в системе центральной блокировки рельсовые цепи к сожалению имеют отдельные недостатки, которые в силу технической реализации уменьшают их надежность, что в свою очередь снижает их безаварийную работу. К основным недостаткам можно отнести то, что работая на местности рельсовая цепь подвержена климатическим ударам. В качестве примера можно привести тот факт, что при ветре на рельсах оседает пыль, которая при осадках может накапливаться на стыках рельс и, скапливаясь там, срабатывать как проводник сигнала. Это, как следствие, ведет к неправильному срабатыванию цепи и светофора в частности. Нельзя не пропустить тот факт, что при загрязнении колесной пары, может не произойти хорошего контакта последней с рельсовым стыком, что приведет к несрабатыванию системы. Нельзя исключать и человеческий фактор, например, если вандал положит на рельсовый изолирующий стык металлический предмет, то произойдет переключение светофора на запрещающий (в этом случае ложный) сигнал, это происходит от того, что рельсовая цепь расположена на земле и находится в зоне доступности любого человека. Необходимо также отнести к недостаткам рельсовой цепи большие затраты на ее обслуживание. Приходится содержать целую службу, которая в плановом режиме обслуживает рельсовую цепь и периодически, по мере выхода из строя, заменяет аккумуляторы этой аппаратуры, которых в свою очередь достаточно много и стоят они недешево.

В настоящее время во всем мире проводятся различные модификации рельсовой цепи с целью уменьшения влияния вышеперечисленных недостатков, однако на практике это частичная модификация, которая не избавляет от принципиальных недостатков рельсовых цепей [3;4].

Как видится авторам, одним из путей «ухода» от использования рельсовых цепей как традиционного

поставщика информации в системе центральной блокировки может быть следующий подход.

Известно, что на железнодорожном транспорте доставка электроэнергии к поездам, работающим на электротяге, осуществляется по контактной сети [4]. Уровень напряжения в контактной сети значительно выше, чем в рельсовой цепи, причем ее уровень выше на несколько порядков. Исходя из этого, можно говорить о более высокой помехозащищенности контактной сети от различных факторов, в том числе и природных. К преимуществам контактной сети можно отнести и тот факт, что работа последней происходит на достаточно больших высотах, так высота подвеса контактного провода на перегонах и станциях достигает 5,6 метров, а на железнодорожных переездах доходит до 6 метров, что находится вне зоны свободного доступа человека. К тому же нахождение на таких высотах позволяет контактной сети иметь по отношению к земле очень высокое сопротивление, а работа с высокими напряжениями позволяет иметь хорошо изолированные компоненты, входящие в ее состав. В связи с тем, что контактная сеть имеет вышеописанные качества, авторы предлагают использовать ее в качестве поставщика информации о заезде на перегон поезда. Из свойств переходных процессов в электрических цепях известно, что в момент коммутации нагрузки к последним происходит скачок тока и соответственно электромагнитного поля, вызываемый переходным процессом [5]. Исходя из этого факта, авторами предлагается установить электромагнитный датчик в зоне контактного провода на заезде на блок-участок и использовать сигнал с него в момент прохождения токоъемника электропоезда как информирующий о заезде последнего на блок-участок.

Известно, что при определенных воздействиях на электрические цепи, таких как разкоммутация, ток холостого хода, коммутация, короткое замыкание, мы можем наблюдать переход системы из начального состояния в некоторое конечное состояние. Исходя из вышесказанного, время таких воздействий может быть достаточно быстрым (до нескольких наносекунд), а также медленным и занимать время до нескольких лет. Кроме того, на это время будут также влиять элементы, включенные в определенную электрическую цепь.

Рассмотрим работу предлагаемого авторами способа, схема которого показана на рисунке. Суть способа в том, чтобы в системе централизации сигнализации и блокировки, брать сигнал не с рельсовой цепи, как это делается в настоящее время, а использовать сигнал электромагнитного датчика. В штатном рабочем состоянии контактный провод 1 подключен к источнику питающего напряжения и вокруг него

находится электромагнитное поле. Когда при движении электропоезд производит забор электрической энергии из контактной сети, то его токосъемник в месте соприкосновения с контактной сетью образует скачкообразное увеличение электромагнитного поля так как электрическая схема электропоезда является нагрузкой для напряжения контактной сети. В это время установленный в месте заезда электропоезда на блок-участок электромагнитный датчик 4, который крепится на изолированный несущий элемент 3, фиксирует скачок электромагнитного поля, которое формируется от большой нагрузки электрической цепи электропоезда. Резкое изменение электромагнитного поля фиксируется электромагнитным датчиком, далее по контрольному проводу 5 передается в

блок управления 6, который и дает сигнал на переключение светофора. В целом, вся используемая аппаратура крепится на штатной несущей арматуре контактной сети 2. Использование электромагнитного датчика как основного элемента в предлагаемой схеме состоит в том, что эти датчики достаточно просты, недороги, обладают такими качествами как хорошая надежность, механическая прочность, возможность работы с сигналами с высокой амплитудой и к тому же могут быть представлены в различных климатических исполнениях. Отдельно можно указать, что в схеме возможно применение электромагнитных датчиков работающих на индукционных, магниторезистивных свойствах, а также возможно использование датчиков которые в своей работе используют эффект Холла [6].

Из практики известно, что помимо поездов на электрической тяге в жизни широко используются поезда (тепловозы), работающие на дизельных двигателях, которые изолированы от контактной сети. В этом случае можно ставить на тепловоз токосъемник и отбирать из контактной сети часть электрической энергии на собственные нужды тепловоза, с мощностью, достаточной для нормального срабатывания электромагнитного датчика системы управления светофором.

На способ, предлагаемый авторами, был получен патент [7], а для практической тестовой апробации с заменой рельсовых цепей в системе центральной блокировки на электромагнитный датчик было отправлено письмо в отдел инноваций ОАО «Российские железные дороги» с описанием предлагаемого подхода управления светофором на въезде на блок-участок железной дороги. 

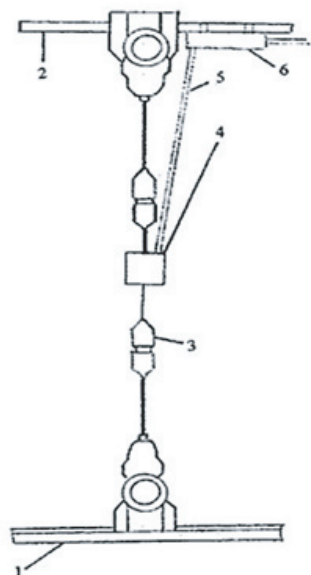


Рисунок. Несущая арматура и размещенная на ней система управления

Литература

1. Кондратьева, Л. А. Рельсовые цепи в устройствах СЦБ : учебное пособие / Л. А. Кондратьева. - Москва: Издательство « Маршрут », 2005. - 32 с. - ISBN 5-89035-266-0 // УМЦ ЖДТ. - URL: <https://umczdt.ru/books/1194/226126/> (дата обращения 27.05.2024) . - Текст : электронный.
2. Makasheva S., Pinchukov P., Kostin A. Increasing the Functional Stability of Distance Relay Protection for Various Types of Catenary Support Grounding // Advances in Intelligent Systems and Computing. - 2020. - T. 1115 AISC. - C. 155-166. DOI: 10.1007/978-3-030-37916-2_17.
3. Varentsov V. M. & Sorin B. P. Calculation technique of series compensation under given values of train traffic c [Metodika rascheta prodol'noy yemkostnoy kompensatsii pri zadannykh razmerakh dvizheniya poyezdov]. Bull. sci. res. res. [Byulleten rezultatov nauchnykh issledovaniy], 2016, no. 1 (18), pp. 37-45. (In Russian).

4. Sokolov D. A. The loss of power in cable wires of alternate current railroad catenary system in the process of landing gear installation in the middle of inter-substation zone, taking into account the movement of trains [Potery moshchnosty v provodakh kontaktnoy sety zheleznnykh dorog peremennogo toka pry ustanovke kompensiruyushchego ustroystva v seredine mezhpodstantsionnoy zony s uchetom dyzheniya po ney poyezdov]. Proc. Petersburg Transp. Univ. [Izvestiya PGUPS], 2017, vol. 14, is. 3 (52), pp. 471-480. (In Russian).
5. Немцов, М. В. Электротехника и электроника : учебник для вузов / М. В. Немцов. - Москва : Директ-Медиа, 2014. - 561 с. - ISBN 978-5-4475-0074-0. - Текст : непосредственный.
6. Тихонов, А. И. Датчики и измерительная техника в электроэнергетике : учебное пособие для вузов / А. И. Тихонов, С. В. Бирюков, А. А. Соловьев. - Москва : Издательство Юрайт, 2024. - 267 с. - URL: <https://urait.ru/bcode/544622>. - ISBN 978-5-534-15304-0. - Текст : электронный (дата обращения: 21.05.2024).
7. Патент № 2651534 С1 Российская Федерация МПК В61L 23/00(2006.01). Способ контроля свободного или занятого состояния участка железнодорожного пути на перегонах и станциях для электропоездов: № 2016144356 : заявлено 2016.11.11 : опубл. 2018.04.19 / Нигай Р. М., Нигай А. Р., Нигай Е. Р.; Нигай Руслан Михайлович. - 8 с: ил. - Текст : непосредственный.

СНИЖЕНИЕ ВИБРАЦИОННЫХ УСКОРЕНИЙ ШПАЛ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА КАК СПОСОБ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ



А.В. Сычева

Предлагается метод, повышающий безопасность взаимодействия подвижного состава за счет снижения основного тона частот колебаний. Приводится расчет вибраций железнодорожного пути при повышенных скоростях движения.

Ключевые слова: железнодорожный путь, подвижной состав, рельсы, вибрации, высокочастотная составляющая, способ, расчет

EDN: VRSSJA

Под воздействием подвижного состава на рельсы появляются высокочастотные вибрации пути, которые влияют на безопасность подвижного состава и комфорт пассажиров в нем [1;2]. От этого появляются ускорения во всех элементах верхнего строения пути и как следствие, рост инерционных сил, действующих на железнодорожный путь. На величину вибрационных ускорений шпал влияет жесткость узлов крепления [3]. Особенно опасны вибрационные ускорения перед искусственным сооружением, в частности, мостом, в силу резких ударов колеса об рельс при входе подвижного состава на мост, поскольку жесткость пути перед мостом и пути на мосту разная. При этом, если колесо имеет дефект, например ползун, то опасность излома рельса возрастает многократно, ибо колесо действует как ударник на мишень — рельс [4]. Кроме того, резко снижается комфорт пассажиров.

На первом этапе расчета введем допущение, что по идеально ровному рельсу движется пассажирский поезд, сформированный из n одинаковой конструкции

и веса вагонов. Под воздействием единичной вертикальной силы $Q=1$ при скорости движения экипажа V при движении за t секунд вертикальный прогиб точки рельса Z_p^0 определяется [5;6] как

$$Z_p^0(t) = \frac{\exp\{-\alpha V|t|\}}{4EI_y^0(\alpha^2 + \beta^2)\alpha\beta} (\alpha \sin \beta V|t| + \beta \cos \beta Vt), \quad (1)$$

где E — модуль упругости рельсовой стали, МПа; I_y^0 — момент инерции рельса относительно главной поперечной горизонтальной оси y , м⁴.

Коэффициенты α , β определяются по формулам:

$$\alpha = \sqrt{\sqrt{\frac{U_z^0}{4EI_y^0}} - \frac{m_z^0 V}{4EI_y^0}}; \quad \beta = \sqrt{\sqrt{\frac{U_z^0}{4EI_y^0}} + \frac{m_z^0 V}{4EI_y^0}}, \quad (2)$$

где m_z^0 — распределенная по длине приведенная масса рельса и подрельсового основания, кг/м; U_z^0 — модуль упругости подрельсового основания в вертикальной плоскости, МПа.

Сычева Анна Вячеславовна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Здания и сооружения на транспорте» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: инженерное обеспечение строительства, инженерная геология. Автор 59 научных работ.

Раскладывая (1) в спектр Фурье [7,8]:

$$\Phi_z(\omega) = \frac{1}{2EI_y^0(\alpha^2 + \beta^2)\alpha\beta} \left[\alpha \int_0^\infty e^{-\alpha Vt} \sin \beta Vt \cos \omega t dt + \beta \int_0^\infty e^{-\beta Vt} \cos \beta Vt \cos \omega t dt \right], V \neq 0. \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \Phi_z(\omega) &= \frac{1}{2EI_y^0(\alpha^2 + \beta^2)\alpha\beta} \left(\frac{\alpha(\beta V + \omega)}{2} [\alpha^2 V^2 + (\beta V + \omega)^2]^{-1} + \frac{\alpha(\beta V - \omega)}{2} [\alpha^2 V^2 + (\beta V - \omega)^2]^{-1} + \right. \\ &\quad \left. + \frac{\alpha\beta V}{2} \left\{ [\alpha^2 V^2 + (\beta V - \omega)^2]^{-1} + [\alpha^2 V^2 - (\beta V + \omega)^2]^{-1} \right\} \right) = \\ &= \frac{1}{4EI_y^0(\alpha^2 + \beta^2)\alpha\beta} \left\{ \frac{\alpha(2\beta V + \omega)}{\alpha^2 V^2 + (\beta V + \omega)^2} + \frac{\alpha(2\beta V - \omega)}{\alpha^2 V^2 - (\beta V - \omega)^2} \right\}, V \neq 0. \end{aligned} \quad (4)$$

Предположим, что рельс не идеален и тогда подвижной состав воздействует на рельс со случайной силой $Q(t)$, для которой средние значения $\langle Q \rangle$ и среднеквадратичные отклонения σ_Q определяются в подвижной, связанной с экипажем, системе координат [9], а спектральная плотность квадрата прогибов рельса с учетом (3) и (4) принимает вид:

$$S_z^0(\omega) = \frac{\langle Q^2 \rangle}{16E^2 I_y^{02} (\alpha^2 + \beta^2)^2 \alpha^2 \beta^2} \left[\frac{\alpha(2\beta V + \omega)}{\alpha^2 V^2 + (\beta V + \omega)^2} + \frac{\alpha(2\beta V - \omega)}{\alpha^2 V^2 - (\beta V - \omega)^2} \right]^2, V \neq 0. \quad (5)$$

Принимаем допущение — вертикальные силы, действующие на рельсы в фиксированных сечениях пути описываются одинаковыми статистическими характеристиками:

$$\langle Q \rangle = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \langle Q_j \rangle; \sigma_Q^2 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \sigma_{Q_j}^2. \quad (6)$$

где j — номер оси колесной пары; N — число осей в поезде.

Прогиб рельса есть сумма прогибов от сил, сдвинутых по фазе к первой по ходу движения колесной паре:

$$W(i\omega) = \sum_{j=1}^N \exp \left\{ i\omega \frac{a_j - a_N}{V} \right\}, a_1 = 0. \quad (7)$$

где $i\omega$ — мнимая частота.

В этом случае плотность спектра процесса $Z_p^0(t)$ при прохождении через сечения рельса одиночного экипажа определяется [10] как

$$S_z^*(\omega) = |W(i\omega)|^2 S_z^0(\omega). \quad (8)$$

Величина $|W(i\omega)|^2$ с учетом формулы (7) определится как

$$|W(i\omega)|^2 = \left(\sum_{j=1}^N \cos \frac{a_j - a_N}{V} \right)^2 + \left(\sum_{j=1}^N \sin \omega \frac{a_j - a_N}{V} \right)^2. \quad (9)$$

Предположим, что процессы взаимодействия колеса и рельса есть сумма неслучайных и случайных величин при отсутствии корреляции процессов [10] и тогда (8) будет рассчитываться по формуле

$$S_z^*(\omega) = \frac{\langle Q^2 \rangle \left[\left(\sum_{j=1}^N \cos \omega \frac{a_j - a_N}{V} \right)^2 + \left(\sum_{j=1}^N \sin \omega \frac{a_j - a_N}{V} \right)^2 \right]}{16E^2 I_y^{02} (\alpha^2 + \beta^2)^2 \alpha^2 \beta^2} \times \left[\frac{\alpha(2\beta V + \omega)}{\alpha^2 V^2 + (\beta V + \omega)^2} + \frac{\alpha(2\beta V - \omega)}{\alpha^2 V^2 - (\beta V - \omega)^2} \right]^2, V \neq 0. \quad (10)$$

Плотность спектра квадрата $Z_p^0(t)$ прогибов рельса под поездом представим как суперпозицию спектров прогибов рельса от прохода экипажа со сдвигами $j T_0$ в диапазоне от $-M$ до $+M$ с периодом прохождения экипажа T_0 по участку пути длиной l как

$$T_0 = \frac{l}{V}. \quad (11)$$

Тогда плотность спектра квадрата прогиба рельса

$$S_z(\omega) = S_z^*(\omega) \sum_{-M}^M \exp\{i\omega_j T_0\}. \quad (12)$$

Также (12) может быть описано как

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{-M}^M \exp\{i\omega_j T_0\} = \frac{2\pi}{T_0} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(\omega - \frac{2\pi n}{T_0}), \quad (13)$$

где $\delta(\omega)$ — дельта функция Дирака,

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{T_0} = \frac{2pV}{l}, \quad (14)$$

$$S_z(\omega) = S_z^*(\omega) \omega_0 \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(\omega - n\omega_0). \quad (15)$$

Тогда

$$\langle Z_p^0(t) \rangle = \int_0^{\infty} S_z(\omega) d\omega. \quad (16)$$

С учетом свойств дельта функции и на основании (10),(15),(16):

$$\begin{aligned} \langle Z_p^0(t) \rangle &= \frac{\langle Q^2 \rangle \omega_0}{16E^2 I_y^2 (\alpha^2 + \beta^2)^2 \alpha^2 \beta^2} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \left[\frac{\alpha(2\beta V + n\omega_0)}{\alpha^2 V^2 + (\beta V + n\omega_0)^2} + \frac{\alpha(2\beta V - n\omega_0)}{\alpha^2 V^2 + (\beta V - n\omega_0)^2} \right]^2 \times \\ &\times \left[\left(\sum_{j=1}^N \cos n\omega_0 \frac{a_j - a_N}{V} \right)^2 + \left(\sum_{j=1}^N \sin n\omega_0 \frac{a_j - a_N}{V} \right)^2 \right], \quad V \neq 0. \end{aligned} \quad (17)$$

Предположим, что подвижной состав не движется ($V=0$), тогда $n\omega_0 = \frac{2pn}{l}V=0$ и T_0 константа, то есть подвижной состав не вызывает колебаний пути. В этом случае (17) выглядит так [11]:

$$\langle Z_p^0(t) \rangle = \sum_{n=1}^{\infty} d_n^2, \quad (18)$$

где d_n^2 — дисперсия процесса на гармонике n .

$$Z_{pn}^0(t) = \cos n\omega_0. \quad (19)$$

Динамику шпалы описывают коэффициенты d_n , вычисляемые по формуле [12]:

$$\begin{aligned} d_n^2 &= \frac{\langle Q^2 \rangle \omega_0}{8E^2 I_y^2 (\alpha^2 + \beta^2)^2 \alpha^2 \beta^2} \left[\frac{\alpha(2\beta V + n\omega_0)}{\alpha^2 V^2 + (\beta V + n\omega_0)^2} + \frac{\alpha(2\beta V - n\omega_0)}{\alpha^2 V^2 + (\beta V - n\omega_0)^2} \right]^2 \times \\ &\times \left[\left(\sum_{j=1}^N \cos n\omega_0 \frac{a_j - a_N}{V} \right)^2 + \left(\sum_{j=1}^N \sin n\omega_0 \frac{a_j - a_N}{V} \right)^2 \right]. \end{aligned} \quad (20)$$

В этом случае колебания шпалы можно описать уравнением:

$$M_{ш} \ddot{Z}_{ш} + f_{ш} \dot{Z}_{ш} + C_{ш} Z_{ш} = C_{пр} (Z_p^0 - Z_{ш}), \quad (21)$$

где $M_{ш}=0,5$ от всей массы шпалы; $f_{ш}$ — демпфирование подшпального основания; $C_{ш}$ — жесткость подшпального основания; $C_{пр}$ — жесткость узла скрепления; $Z_{ш}$ — прогиб шпалы; Z_p^0 — прогиб рельса в сечении над шпалой.

Частотная характеристика прогибов шпал в вертикальной плоскости от $Z_p^0(t)$ [12;13]:

$$W_{zш}^z(i\omega) = \frac{C_{np}}{-\omega^2 M_{ш} + i\omega f_{ш} + C_{ш} + C_{np}}. \quad (22)$$

Тогда средний квадрат процесса $Z_{ш}(t)$ с учетом (22) и (18):

$$\langle Z_{ш}^2(t) \rangle = \sum_{n=1}^{\infty} d_n^2 |W_{zш}^z(in\omega_0)|^2. \quad (23)$$

Дисперсия процесса $Z_{шn}(t)$, приходящаяся на гармонику n :

$$d_{zшn}^2 = d_n^2 |W_{zш}^z(in\omega_0)|^2. \quad (24)$$

С учетом (24), дисперсия вибрационных ускорений шпалы, приходящаяся на гармонику n :

$$d_{zшn}^2 = \omega_0^4 n^4 d_n^2 |W_{zш}^z(in\omega_0)|^2. \quad (25)$$

Уровень вибрационных ускорений шпалы целесообразно записать в октавных полосах, выбор которых зависит от скорости подвижного состава, а частота основного тона колебаний ω_0 определяется равенством (12), при этом рассматриваем диапазон частот

$$16 < n\omega_0 < 16000 \quad (26)$$

с номером гармоники, соответствующей наименьшей из рассматриваемых частот:

$$n_1 = \frac{16}{\omega_0}. \quad (27)$$

Величина ω_1 является первым членом геометрической прогрессии:

$$\omega_m = \omega_1 \cdot 2^{m-1}, \quad (28)$$

где m — номер рассматриваемой октавы.

Число октав частоты вычисляется по (28), например: $\omega_1 = 16$ Гц; $\omega_m = 16000$ Гц, тогда $\lg 1000 = (m-1) \lg 2$ и m вычисляется как

$$m = \frac{3}{\lg 2} + 1 \approx 11. \quad (29)$$

Номер гармоники для наибольшей из рассматриваемых частот (26)

$$n_1 = \frac{16000}{\omega_0} + 1. \quad (30)$$

Частота может быть больше, чем 16000 Гц в зависимости от типа подвижного состава, проходящего по пути. Для наглядности распишем вибрационные ускорения шпал в октавной полосе частот:

$m_i \omega_0 \leq \omega \leq m_{i+1} \omega_0$, где m_i — номер рассматриваемой октавы в логарифмических единицах относительно ускорения силы тяжести $g = 9,81$ м/с²:

$$L \left(\sum_{n=m_i}^{n=m_{i+1}} d_{zшn}^2 \right) = 10 \lg \left(\frac{\sum_{n=m_i}^{n=m_{i+1}} d_{zшn}^2}{g^2} \right) = 20 \lg \left(\frac{\sum_{n=m_i}^{n=m_{i+1}} d_{zшn}}{g} \right), \quad (31)$$

где $d_{zшn}^2$ вычисляется по (25) как сумма дисперсии всех гармоник в выбранной полосе частот.

Для примера рассчитаем вибрационные ускорения шпалы от воздействия пассажирского поезда неограниченной длины из n вагонов [14].

Исходные данные

Для разных скоростей движения V , км/час, а именно: 160, 180, 200, 210, 220, 230, 240, 250.

База тележки $b_t=2,6$ м; база вагона $b_v=17,375$ м; длина вагона по автосцепкам (среднего в поезде) $l=24,175$ м;

Рассчитываемые коэффициенты и значения:

- вспомогательные значения: $a_1=0$; $a_2=b_t=2,6$ м; $a_3=b_v=17,375$ м; $a_4=b_v+b_t=19,975$ м;
- среднее значение силы воздействия колеса на рельс: Q : 90 кН, а $j=1, 2, 3, 4$;
- среднеквадратическое отклонение силы $\langle Q \rangle$ от среднего $\sigma_Q=14$ кН;

$U_z^0=100$ МПа;

$I_y^0=3,54 \cdot 10^{-5}$ м⁴; $E=2,1 \cdot 10^5$ МПа; $m_z^0=1013$ кг/м; $2M_{ш}=275$ кг; $C_{пр}=1,8 \cdot 10^7$ Н/м;

$C_{ш}=3 \cdot 10^7$ Н/м; $f_{ш}=10^5$ Н · с/м.

Результаты расчетов приведены в виде графиков (рис. 1–3).

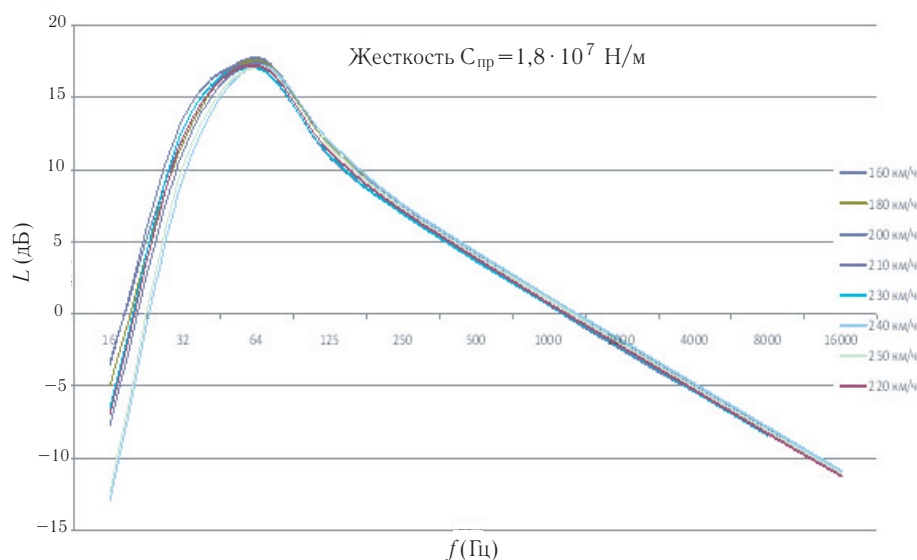


Рис. 1. Зависимость частотного воздействия поезда от скорости его движения

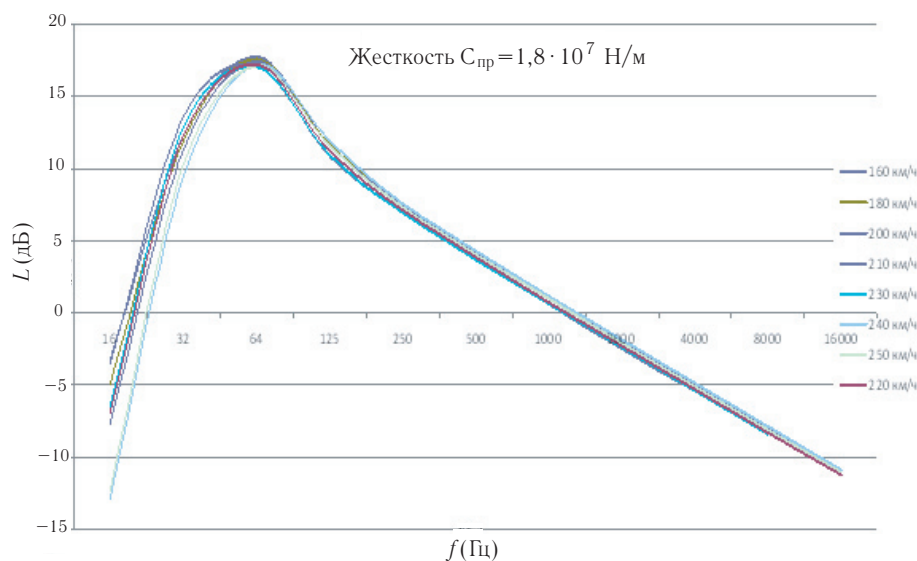


Рис. 2. Уровни вибраций в октавных полосах частот от жесткости узла скрепления рельса со шпалой

«СНИЖЕНИЕ ВИБРАЦИОННЫХ УСКОРЕНИЙ ШПАЛ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА КАК СПОСОБ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ»

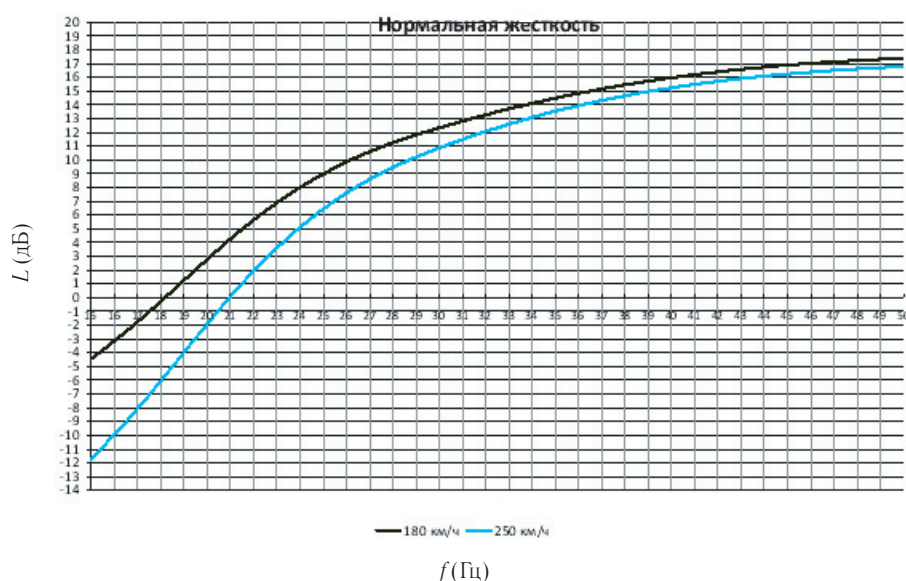


Рис. 3. График уровней вибрационных ускорений

Одним из способов борьбы с вибрационными ускорениями элементов железнодорожного пути под воздействием подвижного состава является укладка подбалластных матов для виброизоляции конструкции верхнего строения пути [15]. Однако наиболее эффективен следующий способ: под шпалу укладывать перфорированные оболочки, обеспечивающие, кроме демпфирования, равномерное распределение балласта [16;17]. Оболочка изготавливается из тканого износостойкого материала, перфорированного с размерами отверстий не меньше, чем фракция подсыпаемого балласта. При этом она заполняется наполовину и встряхивается перед укладкой таким образом, чтобы ее поверхность стала относительно ровной. Размеры отверстий в оболочке от минимального до максимального размеров фракции уложенного в путь балласта. Под давлением подвижного состава балласт выдавливается через отверстия в оболочке.

Колесо давит на рельс, шпала давит на оболочку, из оболочки выходит часть балласта, шпала приподнимается после прохождения по ней колеса, выдавленные из оболочки частицы балласта перетекают в свободную зону и уплотняются давлением следующего колеса.

Таким образом, укладка под шпалу перфорированных оболочек позволит снизить вибрационные ускорения шпал под воздействием подвижного состава. 

Литература

1. Расчет вибрационного воздействия на путь пассажирских поездов с повышенными скоростями для обеспечения безопасности и комфортности пассажиров и поездных бригад / В. П. Сычев, Н. Г. Шабалин, А. А. Локтев, Е. А. Сорокина, В. В. Самойлов. - Текст : непосредственный // Наука и техника транспорта. - 2020. - № 3. - С. 110-115.
2. Ralls life cycle evaluation depending on the operating conditions / V. P. Sychev; D. V. Ovchinnikov; A. Yu. Abdurashitov; V. A. Pokatsky; A. V. Sycheva AIP Conference Proceedings 2476, 020010 (2023) doi: <https://doi.org/10.1063/5.0104545>.
3. Локтев, А. А. Ударное взаимодействие твердого тела и упругой ортотропной пластинки / А. А. Локтев. - Текст : непосредственный // Механика композиционных материалов и конструкций. - 2005. - Т. 11, №4. - С. 478-492.

4. Сычева, А. В. Оценка удара колеса об рельс в виде вязкоупругой пластины с учетом сдвиговых деформаций / А. В. Сычева. - Текст : электронный // Современные проблемы совершенствования работы железнодорожного транспорта: межвузовский сборник научных трудов / под редакцией кандидата экономических наук, профессора Б. А. Соловьева; М-во транспорта Рос. Федерации, Рос. ун-т транспорта (МИИТ), Рос. открытая акад. транспорта. - Москва: РУТ (МИИТ): РОАТ, 2023. - 1 CD-ROM. - Систем. требования: ПК, дисковод CD-ROM; Windows XP SP3/Vista/7/8/10 или аналог; Adobe Acrobat Reader или аналог. - Загл. с титул. экрана. - Формат pdf, 403 с.
5. Ершков, О. П. Характеристики пространственной упругости рельсового пути / О. П. Ершков. - Текст: непосредственный // Труды ЦНИИ МПС. Выпуск 192. - Москва, 1960. - С. 59-101.
6. Коган, А. Я. Динамика пути и его взаимодействие с подвижным составом / А. Я. Коган. - Москва : Транспорт, 1997. - 326 с. - Текст : непосредственный.
7. Расчеты и проектирование железнодорожного пути: учебное пособие для студентов вузов железнодорожного транспорта / В. В. Виноградов [и др.]; под редакцией В. В. Виноградова, А. М. Никонова. - Москва: Маршрут, 2003. - 485 с. - Текст : непосредственный.
8. Диткин, В. А. Интегральные преобразования и операционное исчисление / В. А. Диткин, А. П. Прудников. - Москва : Физматгиз, 1961. - 524 с. - Текст : непосредственный.
9. Моделирование работы железнодорожного пути как системы квазиупругих ортотропных слоев / А. В. Сычева, В. П. Сычев, В. А. Бучкин, Ю. А. Быков. - Текст : непосредственный // Вестник МГСУ. - 2016. - № 3. - С. 37-46.
10. Loktev A., Sychev V., Gridasova E., Stepanov R. Mathematical modeling of railway track structure under changing rigidity parameters // Nonlinearity. Problems, Solutions and Applications. - Vol. 1. Theoretical and Applied Mathematics. - 2017. - P. 291-30.
11. Локтев, А. А. Распространение упругих волн в ортотропной пластинке от динамического воздействия колеса / А. А. Локтев, А. В. Залетдинов. - Текст : непосредственный // Динамика сложных систем. - 2010. - Т. 4, № 3. - С. 39-45.
12. Исследование особенностей динамической реакции верхнего строения железнодорожного пути от подвижного состава на основе модели трансверсально-изотропной пластины на деформируемом основании / А. А. Локтев, А. В. Сычева, Е. В. Запольнова, В. П. Сычев, В. Г. Дмитриев. - Текст : непосредственный // Проблемы машиностроения и автоматизации. - 2018. - № 2. - С. 55-65.
13. Моделирование системы мониторинга железнодорожного пути для повышения информативности оценки его содержания / В. П. Сычев, А. А. Локтев, Д. А. Локтев, К. А. Изотов. - Текст : непосредственный // Мобильный бизнес: перспективы развития и реализации систем радиосвязи в России и за рубежом : сборник материалов (тезисов) XXXVIII международной конференции РАЕН. - Москва, 2016. - С. 11-13.
14. Расчет высокочастотных вибраций железнодорожного пути под подвижным составом при скоростях 200-250 км/час / А. Ю. Абдурашитов, А. А. Локтев, А. В. Сычева, П. В. Сычев. - Текст : непосредственный // Вестник транспорта Поволжья. - 2018. - № 6(72). - С. 22-28.
15. ГОСТ Р 70258-2022. Маты подбалластные для виброизоляции конструкции верхнего строения пути. Методы испытаний = Sub ballast mats for railway superstructure vibration isolation. Test methods : национальный стандарт Российской Федерации : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 5 августа 2022 г. № 735-ст : введен впервые : дата введения 2022-09-01 / разработан Федеральным государственным бюджетным учреждением «Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук» (НИИСФ РААСН). - Москва : ФГБУ «РСТ», 2022. - 16 с. - Текст : непосредственный.
16. Патент № 2788986 Российская Федерация, МПК E 01B 27 / 18 (2006.01) : Устройство и способ выравнивания рельсовых нитей по уровню распределением балласта под шпалу : № 2022120187 : заявлено 22.07.2022; опубл. 26.01.2023 : Бюл. № 3 / Сычев В. П.; Сычев Вячеслав Петрович. - 6 с. - Текст : непосредственный.
17. Патент № 215860 Российская Федерация, МПК E01B 27/02(2006.01), E01B 27/18(2006.01). Устройство распределения балласта под шпалы : заявлено 21.10.2022 : опубл. 30.12.2022 : Бюл. № 1 / Сычев В. П.; Сычев Вячеслав Петрович. - 4 с. - Текст : непосредственный.

ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ И МОДИФИКАЦИИ ПРОЦЕССОВ ИНСПЕКТОРСКОГО КОНТРОЛЯ И ТЕХНИЧЕСКОГО АУДИТА ДЛЯ СОЗДАНИЯ БЕЗОПАСНОЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СРЕДЫ ПРОВОДНИКОВ И ЛОКОМОТИВНЫХ БРИГАД

В статье рассмотрены предпосылки для применения инспекторского контроля и технического аудита, как инструментов, обеспечивающих безопасность подвижного состава для работников, которые им управляют и его обслуживают. Определены направления по улучшению этих инструментов в условиях развития науки и номенклатуры применяемых материалов.

Ключевые слова: машинист, проводник, подвижной состав, производственная среда, инспекторский контроль, технический аудит

EDN: BYUXWE



С.Н. Аверкин



Д.В. Гречушникова

Современный подвижной состав — это сложная техническая система, которая проектируется так, чтобы надежность была максимально высокой. Для более полной картины в статье под словосочетанием «подвижной состав» понимаются пассажирские вагоны, моторвагонный подвижной состав и локомотивы, т.е. те виды железнодорожного транспорта, которые требуют для своего обслуживания и управления наличия специализированного работника или работников. Выверенные проектные решения и регламенты эксплуатации совместно могли бы гарантированно обеспечить наиболее качественную работу подвижного состава и безопасность людей, взаимодействующих с ним, если бы не дефекты при его изготовлении и отклонения от установленных режимов эксплуатации.

Таким образом, несоблюдение технологии при производстве и ремонте, произвольные отклонения от конструкторской документации вследствие конъюнктурных обстоятельств увеличивают риск выпуска в обращение потенциально небезопасного подвижного состава. Получаемая «небезопасность» прежде всего распространяется на железнодорожников — работников, чьей производственной средой и является подвижной состав. Как известно из научных исследований — дефекты механизмов приводят к повышенной вибрации и шуму [1;2], что является преобладающей причиной появления тугоухости у машинистов [3;4]. В салоне пассажирского вагона неисправности оборудования зачастую приводят к дополнительному стрессу у проводников, чья работа и так связана с повышенными психологическими нагрузками [5].

Аверкин Сергей Николаевич, эксперт АО «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (АО «ВНИИЖТ»), аспирант кафедры «Техносферная безопасность» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: железнодорожная гигиена, охрана труда, промышленная гигиена и санитария, железнодорожный транспорт. Автор четырех научных работ.

Гречушникова Дария Викторовна, старший научный сотрудник лаборатории коммунальной гигиены и эпидемиологии отдела медико-биологических исследований ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт гигиены транспорта» (ВНИИЖГ Роспотребнадзора). Область научных интересов: охрана труда, техносферная безопасность, санитарно-гигиенические исследования системы водоснабжения пассажирских вагонов локомотивной тяги. Автор 15 научных работ.

Попова Наталья Николаевна, главный инженер Центральной дирекции по тепловодоснабжению — филиал ОАО «РЖД» (ЦДТВ). Область научных интересов: безопасность труда. Автор двух научных работ.

Используя определения терминов, принятые в международной стандартизации, понятие «производственная среда», можно охарактеризовать как набор факторов и условий, в которых работником осуществляется профессиональная деятельность [6]. Обеспечение безопасности работника в производственной среде является обязанностью работодателя, зафиксированной в Трудовом кодексе Российской Федерации. Подавляющее большинство людей, для которых подвижной состав является производственной средой — это работники компаний, входящих в холдинг «РЖД», тем самым появляются предпосылки для управления безопасностью рассматриваемой производственной среды со стороны материнской компании. В той или иной мере это реализуется за счет приемки продукции представителем железнодорожной компании, которая проводится после всех операций по контролю качества изделия со стороны изготовителя.

В железнодорожной сфере контроль параметров изделия со стороны владельца железнодорожной инфраструктуры при приемке продукции проводился с начала XX века [7]. Изображение клейма, свидетельствующего об успешном прохождении контроля представлено на рис. 1.

Аналогичные подходы используют и в других областях промышленности. Родоначальником приемки со стороны заказчика следует считать институт военпредов, действующий в оборонной промышленности. Корни военной приемки уходят в середину XVII века, а с 1862 года лица, осуществляющие эту приемку получили официальное название «военные представители» [8;9]. В своей статье, посвященной развитию военной приемки на промышленных предприятиях кандидат исторических наук Маркевич И.И. приводит ряд примеров недопустимого нарушения качества при производстве вооружения в угоду плановым пока-

зателям выпуска. Причина была в тесной административной связи работников технического контроля (ОТК) с руководством предприятия, целью которого было выполнение плана любой ценой [9]. Приводятся факты, когда в период 30-х — 40-х годов XX века для сдачи продукции работникам ОТК несогласованно пересматривались технические нормы и упрощались технологические процессы, облегчающие прохождение контроля, не выписывались брак-карты, не велся учет бракованных изделий. В этих случаях последним рубежом на пути некачественной продукции становились военпреды. Очень схожая ситуация в сегменте строительства и ремонта подвижного состава, где существенным барьером для несоответствующей продукции есть и остается приемочная инспекция.

Стоит отметить, что проблемы с качеством и технологической дисциплиной актуальны не только для России. Другие крупные железнодорожные компании, такие как DB и SNCF также вынуждены заниматься контролем качества для исключения выпуска на линию небезопасного подвижного состава, являющегося также и небезопасной производственной средой для обслуживающих его работников.

К примеру, государственный железнодорожный оператор Германии Deutsche Bahn AG имеет систему оценки всех своих поставщиков, а также операторов, эксплуатирующих подвижной состав на инфраструктуре. Наиболее серьезный контроль проводится в отношении подвижного состава. Применяемая Deutsche Bahn AG система распространяется на этапы разработки, производство «первого» изделия, испытания, серийное производство, создание и контроль плана выпуска. Проверка подвижного состава представителями немецкой железнодорожной компании проводится по контрольным точкам [10]. Результаты контроля обрабатываются и учитываются с использованием специального программного обеспечения.

В свою очередь, французская государственная компания, осуществляющая железнодорожные перевозки во Франции Société Nationale des Chemins de fer Français (SNCF), также осуществляет контроль подвижного состава при его поставке [11]. Особенного это касается высокоскоростных поездов TGV (фр. Train à Grande Vitesse — высокоскоростной поезд), изготавливаемых компанией Alstom для SNCF [12].

Но эффективность не только и не столько в независимой проверке готового изделия после контроля со стороны изготовителя (контроль ОТК). Ведь контроль параметров, по окончании финишных операций сопряжен с риском пропуска несоответствий, влекущих уменьшение уровня безопасности. Для решения этих «скрытых» проблем необходимо воздействовать на саму производственную систему, продуктом которой



Рис. 1. Образец клейма 1916 г. для сложных изделий (паровоз, тендер, котел, колесные пары)

является подвижной состав. В статье, посвященной травматизму, доктор технических наук Сачкова О.С. и кандидат технических наук Шевченко В.Б. рассматривают практическое применение концепции Генриха Гелберта. Авторы статьи приводят формулировку концепции, которая гласит: «Возможность обнаружить и исправить условия, приводящие к аварии, задолго до того, как несчастный случай действительно произойдет» [13]. Эта концепция универсальна, т.е. ее можно и нужно применять без отсылки к статистике травм или несчастных случаев, исследовавшей Г.Гелбертом. Исправить до наступления негативных последствий — это есть цель, которая труднодостижима только при контроле конечного изделия, но выполнима через воздействие на производство.

Для своевременного обнаружения дефектов и несоответствий ОАО «РЖД» дополнило процессы приемки подвижного состава функциями контроля производственного процесса. При этом решение о приемке принимается с учетом данных о соблюдении технологической дисциплины и требований конструкторской документации в ходе производства. Подобное взаимодействие получило название инспекторский контроль, т.к. основная роль отводится инспекторам-приемщикам, входящих в состав приемочной инспекции. В свою очередь, в соответствии с ГОСТ 32894 «Продукция железнодорожного назначения. Инспекторский контроль. Общие положения» приемочные инспекции объединяются под руководством инспекторского центра, наделенного владельцем инфраструктуры полномочиями проводить инспекторский контроль.

С течением времени инспекторский контроль успешно прошёл интеграцию с техническим аудитом производственных систем. В настоящее время применяется инспекторский контроль как локаль-

ный инструмент для определенных видов продукции и технический аудит производственных систем, который, в свою очередь, является многофакторной проверкой всей цепочки — от склада материалов до процессов контроля готового изделия и работы с потребителем.

В табл. 1 приведены данные за 2022 год по инспекторскому контролю локомотивов, пассажирских вагонов и моторвагонного подвижного состава.

Приведенные данные свидетельствуют, что технологическая дисциплина в железнодорожном машиностроении не вышла на стабильно высокий уровень. Отчасти это объясняется освоением производства новых моделей подвижного состава, как следствие — отработка технологии путем проб и ошибок, также сказывается изменение логистических каналов при поставках комплектующих. Но эти причины не оправдывают общую ситуацию с технологической дисциплиной и несоответствиями, выявляемыми в производственном процессе. Количество выявляемых в 2022 году несоответствий приведено в табл. 2.

Подавляющее большинство несоответствий, выявляемых в ходе инспекторского контроля производственного процесса, так или иначе относятся к технологической дисциплине, к соблюдению технологических норм и требований конструкторской документации. В техническом аудите картина немного отличается из-за его области распространения, охватывающей всю систему управления качеством. Распределение по основным группам несоответствий представлено на рис. 2.

Принимая во внимание представленные данные, цели безопасной и надёжной эксплуатации подвижного состава требуют участия и независимой приемки в виде инспекторского контроля и многофакторных проверок посредством технических аудитов.

Таблица 1

Инспекторский контроль подвижного состава

Наименование	Новый подвижной состав		Отремонтированный подвижной состав	
	Предъявлено после контроля ОТК	Отклонено при инспекторском контроле на доработку (на повторное предъявление), %	Предъявлено после контроля ОТК	Отклонено при инспекторском контроле на доработку (на повторное предъявление), %
Локомотивы	497	70,6	2883	90,7
Пассажирские вагоны	679	31,7	922	83,4
Моторвагонный подвижной состав	675	36,0	730	100

Таблица 2

**Несоответствия, выявляемые при инспекторском контроле
производственного процесса и техническом аудите**

Показатель	Количество несоответствий
Технический аудит	7469
Инспекторский контроль производственного процесса	14078



Рис. 2. Группировка несоответствий, выявляемых при техническом аудите

Область распространения инспекторского контроля и технического аудита указана в перечнях продукции. Перечни содержат продукцию, влияющую на безопасность и стабильность железнодорожных перевозок. Подобные решения одобрены членами Совета по железнодорожному транспорту государств — участников Содружества, что стало развитием межгосударственного взаимодействия по вопросам инспекторского контроля. На 79-м заседании Совета по железнодорожному транспорту государств — участников Содружества был утвержден единый перечень по инспекторскому контролю, в который вошла 41 позиция железнодорожной продукции, включая все виды подвижного состава [14]. Признание процесса инспекторского контроля другими железнодорожными администрациями свидетельствует о его важной роли в деле обеспечения безопасности подвижного состава, являющегося в том числе производственной средой для работников железнодорожного транспорта.

И инспекторский контроль, и технический аудит позволяют оперативно воздействовать на производственную систему при появлении информации о небезопасности используемых конструктивных материалов [15]. В статье [15] сделан упор на реализацию аудиторских инструментов, которые также могут применяться при инспекторском контроле производственного процесса. Наиболее важна в этом контексте коммуникация с профильными научно-исследовательскими институтами, обладающими испытательным оборудованием и занятыми исследованием материалов и их влиянием на человека. Причем, если речь идет об оперативном взаимодействии, целью которого является обеспечение безопасности продукции, не следует полагаться только на договорные отношения. Решение этой задачи возможно с подготовкой одобренного на федеральном уровне регламента взаимодействия между научными организациями и владельцами железнодорожной инфра-

структуры, наделяющими полномочиями инспекторские центры.

В 2021 году опубликована статья, содержащая сравнительный анализ методов обеззараживания транспорта. По результатам масштабных исследований, проведенных в кабинах машинистов и в салонах вагонов с сидячими местами определен наиболее эффективный и безопасный метод дезинфекции, обеспечивающий безопасную производственную среду [16]. Скорость распространения COVID-19 показала, что результаты подобных исследований необходимо как можно быстрее реализовывать в конструкции подвижного состава. Кроме того, параметры работы данных систем в составе вагона или локомотива следует учитывать при прохождении инспекторского контроля подвижного состава, а к процессам изготовления самих систем обеззараживания применять технический аудит. Но без тесного взаимодействия научных, аудлирующих, разрабатывающих и изготавливающих организаций временной интервал на внедрение будет необоснованно увеличен, а контрольные процессы могут не охватить вновь введенные конструктивные усовершенствования.

Заключение

Таким образом, применение технического аудита и инспекторского контроля является комплексной мерой для обеспечения надежности и безопасности продукции. Помимо безопасности железнодорожных перевозок, эти процессы играют огромную роль в обеспечении безопасности производственной среды машинистов и проводников вагонов. Несоответствия, выявленные инспекторскими центрами, в том числе по недосмотру соответствующих служб изготовителей и ремонтных организаций, могли негативно сказаться на здоровье и безопасности работников железнодорожного транспорта и пассажиров. Поэтому применительно к производству подвижного состава, являющегося в итоге производственной средой для машинистов и проводников, целесообразно отойти от «ахиллесовой

пяты» в виде некоего периодического мониторинга технологии, принятого в угоду плановых показателей выпуска и использовать сплошной независимый контроль как изделия, так и процесса его производства. Через контроль изготовления подвижного состава может определяться соответствие комплектующих и материалов, используемых при постройке или капитальном ремонте этого подвижного состава, что ограничивает использование контрафакта или несогласованное изменение документации.

Работа инспекторских центров по различным видам подвижного состава и ряд научных трудов, направленных на безопасность работников железнодорожного транспорта позволяют сделать предположение о необходимости модификации контрольных процессов в части добавления устойчивого канала обмена данными с научными организациями транспортной направленности с привязкой к негативным факторам производственной среды.

В своих работах академик Легасов В.А. утверждал, что естественные тенденции научного-технического прогресса, связанные с быстрым обновлением техники, систем и структур управления, с максимальным ускорением всех технологических операций, объективно усложняют взаимодействие человека со всё увеличивающимся и быстро меняющимся парком техники [17;18]. Но, применяя инструменты управления качеством, такие как инспекторский контроль и технический аудит с опорой на научные исследования и одобрение материалов, независимые испытания узлов и механизмов, возможно обеспечить максимальную безопасность подвижного состава и впоследствии перераспределить ресурсы от реагирования к предупреждению, что является перспективной концепцией в сфере техносферной безопасности [18]. Подобная заявка имеет научную новизну, содержит несколько аспектов для рассмотрения и востребована в условиях обеспечения безопасности людей, находящихся внутри промышленных и логистических цепочек. 

Литература

1. Влияние неисправностей зубчатых механизмов на параметры их вибрации / Ю. А. Дакало, Н. Н. Ишин, А. М. Гоман, А. С. Скороходов. - Текст : непосредственный // Вестник Брестского государственного технического университета. - 2019. - № 4. - С. 13 - 17.
2. Колесников, И. В. Экспериментальные исследования шума и вибрации в кабинах локомотивов / И. В. Колесников, Ю. В. Пронников. - Текст : непосредственный // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. - 2011. - № 3(43). - С. 153 - 156.
3. Леванчук, Л. А. Перспективные направления улучшения условий труда работников локомотивных бригад / Л. А. Леванчук, В. А. Аксёнов. - Текст : непосредственный // Наука и техника транспорта. - 2021. - № 2. - С. 91 - 94.

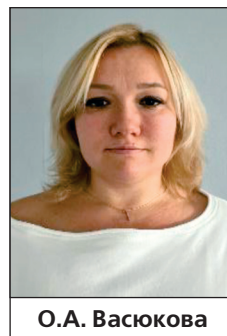
4. К вопросу учёта новых факторов в патогенезе профессиональной потери слуха (на примере работников транспорта) / М. Ф. Вильк, В. Б. Панкова, Е. В. Зибарев, И. Н. Федина. - Текст : непосредственный // Медицина труда и промышленная экология. - 2022. - Т. 62, № 8. - С. 488 - 500.
5. Коростелева, В. В. Проблемы, связанные с условиями труда проводников пассажирских вагонов и возможные пути их решения / В. В. Коростелева, В. А. Аксенов. - Текст : непосредственный // Проблемы безопасности российского общества. - 2022. - № 1(37). - С. 8 - 11.
6. Потрывайло, М. Н. Производственная среда организации / М. Н. Потрывайло. - Текст : непосредственный // Известия Иркутской государственной экономической академии (Байкальский государственный университет экономики и права). - 2011. - № 4. - С. 38.
7. Правила клеймения материалов и изделий, изготавливаемых на заводах для учреждений, подведомственных Министерству Путей Сообщения. Приказ по Министерству Путей Сообщения от 1 августа 1916 года. - Текст : непосредственный.
8. Кретинин, Г. В. От «дозорщиков» до военпредов Новая книга по истории военных представительств инженерных войск России / Г. В. Кретинин. - Текст : непосредственный // Военно-исторический журнал. - 2014. - № 7. - С. 73.
9. Маркевич, А. М. «Советское — значит надежное»: военпреды и проблема качества в советской оборонной промышленности / А. М. Маркевич. - Текст : непосредственный // Экономическая история: ежегодник. - 2005. - Т. 2005. - С. 364 - 408.
10. Официальный сайт Deutsche Bahn AG (DB), портал работы с поставщиками. - URL: <https://lieferanten.deutschebahn.com/lieferanten/Bedarfe-der-DB/Was-wir-brauchen/Qualitaetssicherung/Qualitaetssicherung-Schienenfahrzeuge-und-teile/Produktqualitaetssicherung-im-Herstellprozess-von-Schienenfahrzeugen-8715-748#8715748> (дата обращения: 16.01.2024). - Текст : электронный.
11. Официальный сайт Société Nationale des Chemins de fer Français (SNCF), портал работы с поставщиками. - URL: <https://www.sncf.com/fr/groupe/fournisseurs/organisation-entite-achats/materiel-roulant> (дата обращения: 16.01.2024). - Текст : электронный.
12. TGV - 30 лет. - Текст : непосредственный // Железные дороги мира. - 2011. - № 11. - С. 9 - 13.
13. Сачкова, О. С. Микротравмы. От теории к практике, спустя 90 лет / О. С. Сачкова, В. Б. Шевченко, Л. Н. Кошель. - Текст : непосредственный // Наука и техника транспорта. - 2022. - № 4. - С. 104 - 106.
14. Протокол семьдесят девятого заседания Совета по железнодорожному транспорту государств - участников Содружества. - С. 4. - Текст : непосредственный.
15. Аверкин, С. Н. Обеспечение безопасности и качества пассажирских вагонов в условиях статичности нормативных требований к конструкционным материалам / С. Н. Аверкин, В. А. Кочнев. - Текст : непосредственный // Наука и техника транспорта. - 2024. - № 1. - С. 82-87.
16. Копытенкова, О. И. Сравнительный анализ физических методов обеззараживания транспорта / О. И. Копытенкова, О. С. Сачкова, Л. А. Леванчук. - Текст : непосредственный // Медицина труда и промышленная экология. - 2021. - Т. 61, № 7. - С. 451 - 458.
17. Легасов, В. А. Проблемы безопасного развития техносферы / В. А. Легасов. - Текст : непосредственный // Коммунист. - 1987. - № 8. - С. 92 - 101.
18. Быков, А. А. О проблемах техногенного риска, безопасности техносферы и технологическом будущем: взгляды, идеи и мысли академика В.А. Легасова / А. А. Быков. - Текст : непосредственный // Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. - 2011. - Т. 1, № 1(1). - С. 73 - 89.

ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТРАНСПОРТНЫХ ОБЪЕКТОВ

В данной статье рассмотрены вопросы обеспечения экологической безопасности при проектировании транспортных объектов. Особое внимание уделено потенциальному загрязнению окружающей среды сточными водами и вопросам необходимости очистки сточных вод на железнодорожном транспорте в зависимости от источника их образования.

Ключевые слова: экологическая безопасность, транспортные объекты, сточные воды, загрязняющие вещества (ЗВ), ливневой сток

EDN: XYDCXF



О.А. Васюкова



М.В. Капустина

Развитие государства в целом, городских агломераций, отдельных видов промышленности невозможно без развития транспортной инфраструктуры — железных и автомобильных дорог, речного, морского и воздушного транспорта.

В настоящее время железнодорожные перевозки имеют особую социальную значимость. Железнодорожный транспорт активно развивается, строятся новые линии, ведутся масштабное развитие и реконструкция. При проектировании транспортных объектов, в том числе железнодорожных линий и объектов инфраструктуры, с каждым годом все большее внимание уделяется экологической безопасности. В составе проектной документации проводится сбор сведений о состоянии окружающей среды — инженерно-экологические изыскания. На основании полученных дан-

ных проводится оценка воздействия на все компоненты окружающей среды и обосновываются мероприятия, позволяющие минимизировать негативное воздействие и обеспечить допустимость намечаемой деятельности.

При разработке проектной документации доля затрат на природоохранные мероприятия неуклонно увеличивается.

Строительство железных дорог и их последующая эксплуатация могут оказывать негативное воздействие на различные компоненты окружающей среды. Можно выделить следующие виды воздействия, негативное влияние которых минимизируется или исключается при реализации природоохранных мероприятий:

- загрязнение и захламление территорий — утилизация отходов;

Васюкова Ольга Андреевна, главный инженер проекта АО «Мосгипротранс». Область научных интересов: железнодорожная гигиена, охрана труда, промышленная гигиена и санитария, железнодорожный транспорт. Автор пяти научных работ.

Капустина Мария Владимировна, главный инженер проекта АО «Мосгипротранс». Область научных интересов: железнодорожная гигиена, охрана труда, промышленная гигиена и санитария, железнодорожный транспорт. Автор пяти научных работ.

Пименова Юлия Владимировна, инженер лаборатории коммунальной гигиены и эпидемиологии отдела медико-биологических исследований ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт гигиены транспорта» (ВНИИЖГ Роспотребнадзора). Область научных интересов: железнодорожная гигиена, охрана труда, железнодорожный транспорт. Автор семи научных работ.

- деградация, порча и загрязнение земель — рекультивация территорий;
- загрязнение поверхностных и подземных вод — строительство локальных очистных сооружений;
- шумовое воздействие — строительство шумозащитных экранов и шумозащитное остекление.

Рассмотрим один из значительных видов воздействия — потенциальное загрязнение окружающей среды сточными водами, которое может привести к загрязнению почв прилегающих территорий, загрязнению поверхностных и подземных вод, а также привести к эрозии и заболачиванию на отдельных участках.

Источниками образования сточных вод на транспортных объектах, в том числе железнодорожного транспорта, являются как процесс строительства, так и процесс эксплуатации.

При строительстве образуются поверхностные — ливневые и талые сточные воды и хозяйственно-бытовые. В последнее время при разработке проектной документации предотвращению загрязнения окружающей среды уделяется достаточно внимания, технология обращения со сточными водами при строительстве весьма развита. Так, для предотвращения загрязнения ливневыми и талыми стоками на строительных площадках предусматривается установка непроницаемых емкостей или временных очистных сооружений, из которых в зависимости от расположения объекта и технической возможности, предусматривается выпуск в существующие сети или вывоз специализированными организациями, а также выпуск в водный объект очищенных стоков (рис. 1).

Для предотвращения загрязнения хозяйственно-бытовыми сточными водами строительные площадки

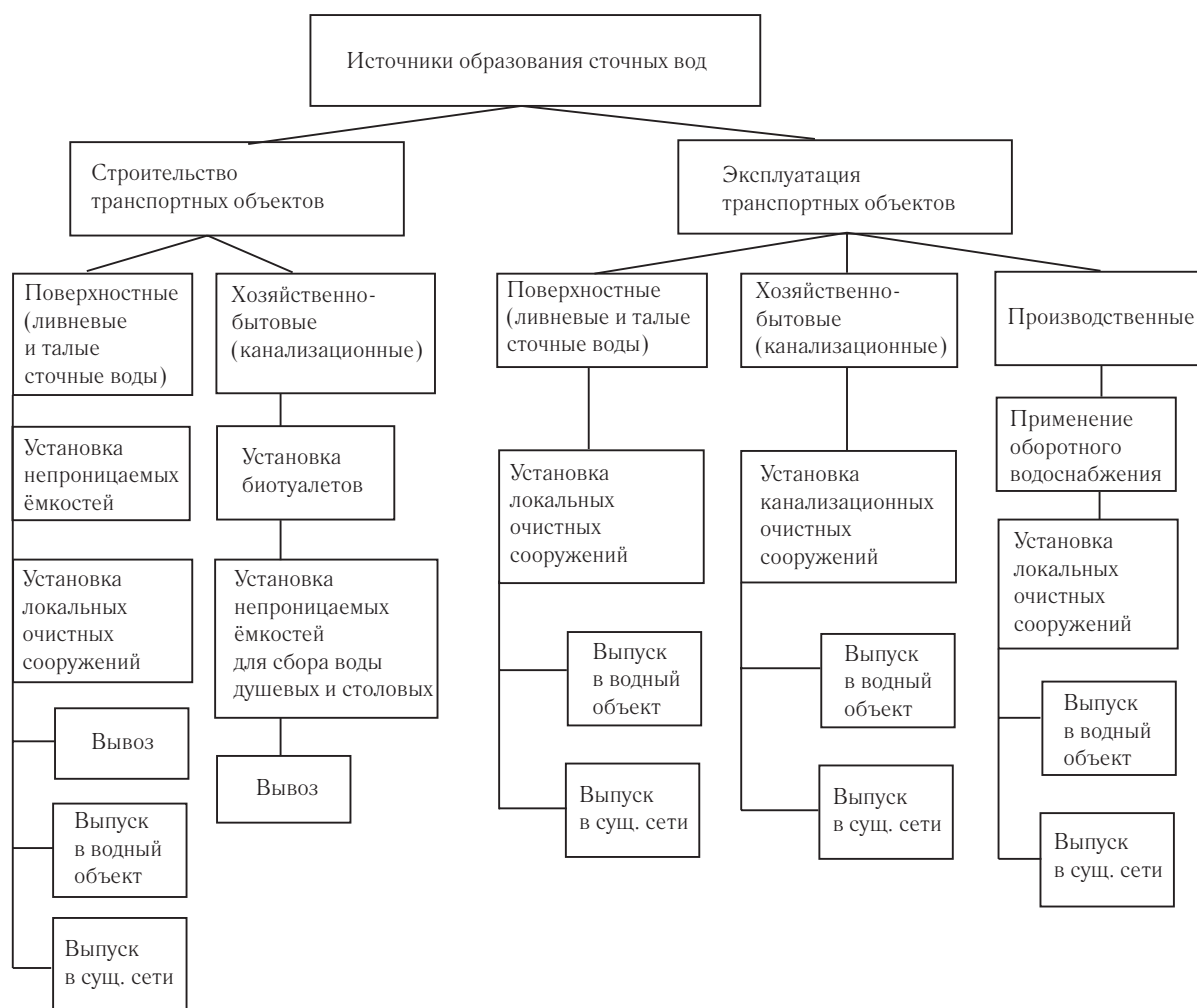


Рис. 1. Источники образования сточных вод

оборудуются биотуалетами, а вода душевых и столовых собирается в непроницаемые емкости, далее, как правило, осуществляется вывоз специализированными организациями.

При эксплуатации также образуются поверхностные, хозяйственно-бытовые и производственные сточные воды. Хозяйственно-бытовые сточные воды подключаются к существующим сетям канализования, а в случае расположения новых объектов на территориях с отсутствием существующих сетей — устанавливаются канализационные очистные сооружения с последующим выпуском в водные объекты.

В части производственных сточных вод на объектах железнодорожной инфраструктуры развито применение оборотного водоснабжения, последующая очистка и дальнейший выпуск в зависимости от возможности либо в существующие сети, либо в водные объекты.

В целом порядок обращения с хозяйственно-бытовыми и производственными сточными водами хорошо проработан, процессы налажены.

Ситуация по обращению с ливневыми и тальными стоками обстоит несколько сложнее.

Первый вопрос, возникающий при определении — есть ли вообще негативное воздействие от ливневых стоков, какие загрязняющие вещества и в каком количестве в них содержатся?

В настоящее время действующим документом, регламентирующим обращение со сточными водами, является СП 32.13330.2018. Свод правил. Канализация. Наружные сети и сооружения. Пересмотр СП 133-0.2012 «СНиП 2.04.03-85. Канализация. Наружные сети и сооружения», в соответствии с которым состав и концентрации загрязняющих веществ поверхностных сточных вод линейных объектов транспортной инфраструктуры следует принимать на основании ведомственных нормативных документов. Также в Своде правил приводится содержание загрязняющих веществ в зависимости от вида территории. Наиболее близкими для объектов железнодорожной инфраструктуры являются территории, прилегающие к промышленным зонам.

В соответствии с таблицей 15 «Примерные значения показателей загрязнения в поверхностных сточных водах с различных участков водосборных поверхностей жилых и общественно-деловых зон поселений» СП 32.13330.2018 в поверхностном стоке регламентируется содержание четырех показателей:

1. Нефтепродукты.
2. Взвешенные вещества.
3. БПК₅ (биохимическое потребление кислорода).
4. ХПК (химическое потребление кислорода).

Единственным ведомственным нормативным документом для железнодорожного транспорта 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» (утв. Распоряжением ОАО «РЖД» от 13.07.2017 № 1360р).

В соответствии с табл. 1 «Протоколы исследования сточных вод с железнодорожного полотна в рамках мониторинга РЖД или экологических изысканий (Московской производственной экологической лаборатории)» технических требований в поверхностном стоке регламентируется содержание уже десяти показателей: нефтепродукты, взвешенные вещества, азот, железо, медь, нитрит-ион, нитрат-ион, сульфаты, цинк, марганец.

Содержание взвешенных веществ и нефтепродуктов регламентируется и Сводом правил, и техническими требованиями, но технические требования регламентируют еще восемь веществ, но при этом не регламентируют такие показатели, как биологическое и химическое потребление кислорода.

Кроме того, Свод правил допускает использование фактических данных на действующих предприятиях или применение объектов-аналогов для проектируемых объектов.

В связи с явными противоречиями в федеральных и ведомственных нормах как по номенклатуре показателей, так и по количественному содержанию и руководствуясь вышеизложенным был проведен натурный отбор ливневых стоков на нескольких участках Октябрьской железной дороги для выявления приоритетных загрязнителей и необходимости очистки.

При этом лабораторные исследования проводились по перечню загрязняющих веществ, рекомендованному техническими требованиями, который содержит уже двадцать два показателя (рис. 2).

Результаты сравнения концентраций основных загрязняющих веществ по нормативным документам и фактически полученным измерениям показывают, что концентрации взвешенных веществ, в соответствии с техническими требованиями ОАО «РЖД» значительно ниже фактических, а содержание азота аммонийного, меди, цинка, железа, нитритов и сульфатов наоборот существенно выше, чем, полученные при исследованиях. Регламентируемые сводом правил концентрации взвешенных и нефтепродуктов

Таблица 1

Нормативные документы, определяющие качественный состав сточных вод

Наименование ЗВ	Положения таблицы 15 СП 32.13330.2018	Технические требования ОАО «РЖД»	Точка 1	Точка 2	Точка 3	Точка 4	Точка 5
Нефтепродукты	18	2,073	0,57	0,57	0,69	0,73	0,71
Взвешенные вещества	800	75,333	99	99	186	575	45
Азот аммоний- ный	—	6,703	0,460	0,460	0,440	0,130	0,460
Медь	—	0,13	0,002	0,002	0,006	0,004	0,004
Цинк	—	0,07	0,009	0,009	0,014	0,008	0,009
Никель	—	—	0,087	0,087	0,068	0,089	0,064
Хром (3-х валентный)	—	—	0,050	0,050	0,040	0,050	0,060
Барий	—	—	0,680	0,680	0,710	0,720	0,700
Свинец	—	—	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Алюминий	—	—	0,003	0,003	0,003	0,004	0,004
Марганец	—	—	0,084	0,084	0,097	0,081	0,099
Железо	—	0,1	0,002	0,002	0,004	0,003	0,078
Нитрит-ион	—	0,257	0,050	0,050	0,259	0,068	0,097
Нитрат-ион	—	0,217	0,008	0,008	0,013	0,012	0,019
Сульфаты	—	2,4	2,240	2,240	2,500	2,390	1,700
Хлориды	—	58,667	50,000	50,000	56,000	44,000	96,000
Фосфаты (по Р)	—	—	105,000	105,000	105,800	97,100	100,600
Фториды	—	—	0,041	0,041	0,036	0,035	0,049
ПАВ	—	—	0,190	0,190	0,190	0,190	0,190
Фенол	—	—	0,160	0,160	0,130	0,090	0,100
БПК _{полн}	120	—	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
ХПК	400	—	4,700	4,700	3,800	3,500	3,400

в 1,3 и 24,5 раза выше, чем результаты натурных измерений.

И только значения нитратов и сульфатов в технических требованиях ОАО «РЖД» и по лабораторным исследованиям имеют сопоставимые значения.

Таким образом, установлены явные противоречия между нормативными документами и результатами натурных исследований ливневого стока.

В работе также необходимо оценить влияние вышеприведенных данных на окружающую среду.

В табл. 2 представлено сравнение содержания загрязняющих веществ в ливневом стоке с предельно-допустимыми концентрациями рыбохозяйственного значения. Предельно-допустимые концентрации рыбохозяйственного значения выбраны для сравнения как наиболее

жесткие, установленные на территории Российской Федерации, а также как единственно возможные при выпуске ливневых стоков в водные объекты.

В соответствии с представленными результатами установлено, что если руководствоваться требованиями свода правил, то очистка требуется по всем четырем регламентированным показателям, если руководствоваться Техническими требованиями ОАО «РЖД», то очистка требуется по шести показателям, а если проанализировать результаты лабораторных исследований, то очистка необходима по одиннадцати показателям.

Таким образом, по результатам испытаний и анализа, проблема, заключающаяся в противоречии нормативных и фактических данных, которые могут

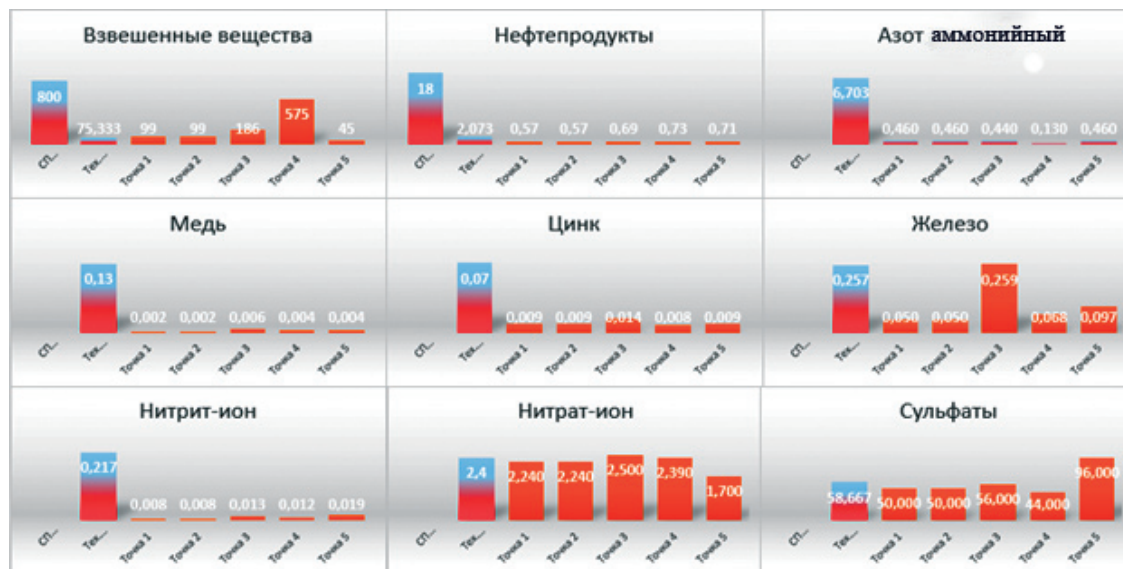


Рис. 2. Сравнение содержания загрязняющих веществ в ливневых сточных водах по нормативным документам и по фактическим измерениям

привести к неправильному назначению очистных сооружений, которые в штатных условиях эксплуатации не смогут обеспечить необходимую степень очистки, что впоследствии приведет к загрязнению водных объектов или прилегающих территорий.

Следует отметить, что проведенных исследований недостаточно для получения статистически достоверных данных. Для получения более верифицированных результатов необходимо проведение неоднократного опробования ливневых и талых стоков.

Кроме того, нельзя не отметить, что железнодорожный транспорт — это система, состоящая из множества разных объектов, и состав ливневых и талых стоков не может быть одинаков для всех объектов.

Таким образом, очень важно в каждом конкретном случае для выбора оптимального решения рассматривать совокупность всех составляющих, а именно:

- классификацию объектов железнодорожной инфраструктуры в зависимости от потенциальных источников загрязнения;
- определение приоритетных загрязняющих веществ в поверхностном ливневом (талом) стоке в зависимости от назначения территории;
- натурные исследования для получения статистически достоверных показателей содержания загрязняющих веществ;
- разработку методики по определению необходимости очистки и назначения очистных сооружений.

Таблица 2

**Сравнение содержания загрязняющих веществ с предельно-допустимыми
концентрациями и определение необходимости очистки**

Наименование ЗВ	Положения таблицы 15 СП 32.13330.2018	Технические требования ОАО «РЖД»	Точка 1	Точка 2	Точка 3	Точка 4	Точка 5	Необходимость очистки
Нефтепродукты	360,0	41,5	11,4	11,4	13,8	14,6	14,2	Да
Взвешенные вещества	80,0	7,5	9,9	9,9	18,6	57,5	4,5	Да
Азот аммоний- ный	0,0	16,8	1,2	1,2	1,1	0,3	1,2	Да
Медь	0,0	130,0	2,0	2,0	6,1	3,6	4,3	Да
Цинк	0,0	7,0	0,9	0,9	1,4	0,8	0,9	Нет
Никель	0,0	0,0	8,7	8,7	6,8	8,9	6,4	Да
Хром (3-х валентный)	0,0	0,0	0,7	0,7	0,6	0,7	0,9	Нет
Барий	0,0	0,0	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	Нет
Свинец	0,0	0,0	0,5	0,5	0,5	0,7	0,7	Нет
Алюминий	0,0	0,0	2,1	2,1	2,4	2,0	2,5	Да
Марганец	0,0	0,0	0,2	0,2	0,4	0,3	7,8	Нет
Железо	0,0	1,0	0,5	0,5	2,6	0,7	1,0	Нет
Нитрит-ион	0,0	12,9	0,4	0,4	0,7	0,6	1,0	Нет
Нитрат-ион	0,0	0,0	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	Нет
Сульфаты	0,0	0,0	0,5	0,5	0,6	0,4	1,0	Нет
Хлориды	0,0	0,2	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	Нет
Фосфаты (по Р)	0,0	0,0	0,8	0,8	0,7	0,7	1,0	Нет
Фториды	0,0	0,0	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	Нет
ПАВ	0,0	0,0	1,6	1,6	1,3	0,9	1,0	Да
Фенол	0,0	0,0	0,7	0,7	0,8	0,9	0,8	Нет
БПК _{полн}	57	0,0	2,2	2,2	1,8	1,7	1,6	Да
ХПК	8,0	0,0	6,4	6,4	6,5	6,5	6,5	Да

Литература

1. 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 : издание официальное : утвержден Главным государственным санитарным врачом РФ 28 января 2021 г. №3 : введен 29.01.2021. - Москва : АО «Кодекс». - 63 с. - Текст : непосредственный.
2. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания : издание официальное : утвержден Главным государственным санитарным врачом РФ 28 января 2021 г. №2 : введен 29.01.2021. - Москва, 2021. - 1142 с. - Текст : непосредственный.
3. 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» : утверждены распоряжением ОАО «РЖД» от 13.07.2017 №1360р. - Текст : непосредственный.
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 (Зарегистрировано в Минюсте России 13.01.2017 №45203) : Приказ Минсельхоза России от 13.12.2016 № 552 // Консорциум Кодекс : сайт. - URL : <https://docs.cntd.ru/document/420389-120?ysclid=ltproxnk3fg514882548>. - (дата обращения : 13.03.2024). - Текст : электронный.
5. СП 32.13330.2018. Свод правил. Канализация. Наружные сети и сооружения = Sewerage. Pipelines and wastewater treatment plants зарегистрирован Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт). Пересмотр СП 32.13330.2012 «СНиП 2.04.03-85. Канализация. Наружные сети и сооружения» : введен 26.06.2019//Консорциум Кодекс : сайт. - URL : <https://docs.cntd.ru/document/554-820821?ysclid=ltppablsew342576616>. - (дата обращения : 13.03.2024). - Текст : электронный.

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 — A4 (210x297 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 (Сур), 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 → Стил...**). 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 $A_r = B^2 + CD^2$ набирают прямо в строке MS Word; для вставки одиночных специальных символов, таких как $\leq$, $\geq$, $\pm$, ∞ , $\cup$, $\cap$, $\rightarrow$ 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'a 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;
 - количество патентов.
13. В отдельном файле в цифровом виде следует приложить качественные цветные фотографии первых двух авторов размером не менее 400x600 пикселей (см. требования к предоставляемым фото) или, при отсутствии цифровых, фотоснимки на глянцевого 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.