

НАУКА И ТЕХНИКА ТРАНСПОРТА



ISSN 2074-9325



● Транспорт

● Моделирование транспортных процессов

● Безопасность деятельности человека

2022 4

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.: (495) 649-19-00 доб. 385.

125315, Chasovaya Str., 22/2, Russia, Moscow

Тел.: (495) 649-19-00 ext: 385. Fax: (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.: (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 РОАТ РУТ (МИИТ):

125315, Москва, Часовая ул., 22/2

Подписано в печать 09.12.2022.

Усл. печ. л. 14,25

Формат 60×90^{1/8}.

Тираж 60 экз.

Тип. зак. 18



Редакционный совет:

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

Главный редактор

В.И. Апатцев

Ответственный редактор

В.А. Бугреев

Ответственный секретарь

В.А. Кочнев

Редакторы

Д.Н. Тихонычев, В.К. Тихонычева

Английский перевод

М.Л. Окулова

Транспорт



В.С. Кузьмин, А.К. Табунщиков, Р.О. Рядчиков

К вопросу о возникновении помех в канале индуктивной связи на метрополитене за счет асимметрии геометрического положения контактного рельса

8



О.О. Соколов, Д.И. Бодриков, Р.С. Чубов, В.П. Смирнов

Безотказность тяговых двигателей электровозов Восточного полигона

17



О.И. Садыкова, К.А. Сергеев

Методы определения закона распределения случайной величины при обработке геометрических параметров колес вагонов

20



С.П. Вакуленко, Д.Ю. Роменский, К.А. Калинин, М.В. Роменская

Компоновка железнодорожного хозяйства перспективных грузовых деревьев

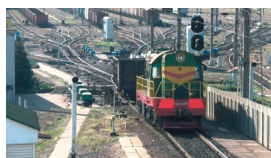
24



В.А. Бугреев, К.С. Моренко, С.А. Моренко, А.П. Чехов, П.А. Чехов

Исследование надежности электроснабжения потребителей

32



Г.И. Петров, С.В. Беспалько, И.К. Сергеев, Н.М. Курзина

Исследование аварийных режимов маневрового соударения сцепов вагонов

37



Л.А. Илларионова, А.А. Локтев

Разработка схемы армирования железобетонной плиты основания для городского транспорта с учетом анизотропных свойств и волновых процессов

44



В.В. Багинова, Д.В. Ушаков

Применение метода дерева решений при формировании парка транспортных средств для перевозки скоропортящихся грузов

49



И.С. Абдуллаев, В.Г. Саргсян

Алгоритм расчета оптимального развития инфраструктуры участка

55



А.С. Лимарев, И.Ю. Мезин, М.Ю. Воротников, С.В. Зотов

Улучшение динамической характеристики электромобиля за счет применения многоступенчатой коробки передач

61



Р.С. Трифонов, А.В. Роголёв, О.С. Соловьёва

Исследование распределения параметров системы тягового электроснабжения, контролируемых релейной защитой фидеров контактной сети на примере тяговой подстанции «Сохондо» Забайкальской железной дороги

68

Моделирование транспортных процессов



М.И. Муконина, В.Д. Швалов

Принципы построения интеллектуальной системы обнаружения и предотвращения правонарушений на объектах транспортной инфраструктуры

76

Безопасность деятельности человека



В.А. Аксенов, Г.М. Биленко, А.М. Завьялов, Е.С. Власова

Анализ случаев транспортных нарушений, влияющих на техносферную безопасность на железнодорожном транспорте

81



А.Р. Закирова

Исследование электромагнитных полей
по энергетическим характеристикам

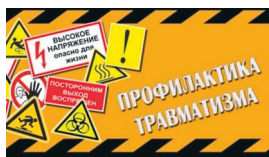
87



**А.И. Шевченко, А.А. Шарапов, В.В. Денисов,
В.Л. Шетилов**

Риск-менеджмент состояния пожарной безопасности
на объектах и подвижном составе ОАО «РЖД»
в 2021 году

92



О.С. Сачкова, В.Б. Шевченко, Л.Н. Кошель

Микротравмы. От теории к практике, спустя 90 лет

104



Е.А. Арсентьева, О.В. Канунников, Д.В. Климова

Воздействие транспортного шума
на городское население

107

Transport

V.S. Kuz'min, A.K. Tabunshchikov, R.O. Ryadchikov

On Issue of Interference Generation in Inductive Coupling Link in Underground due to Geometric Position Asymmetry of Third Rail.

8

The article considers the influence of the mutual geometric position of the third and track rails on the operation of on-board equipment of automatic locomotive signalling in the underground. A model for calculating the asymmetry coefficient at the input of a locomotive receiver is described. The simulated results of for a single-track subway tunnel are appended.

Key words: automatic locomotive signalling, underground, asymmetry, inductive coupling circuit, third rail

O.O. Sokolov, D.I. Bodrikov, R.S. Chubov, V.P. Smirnov

Reliability of Electric Locomotive Traction Motors at Eastern Polygon

17

The authors have established the intensive nature of the reducing the reliability of traction electric motors of VL80 and VL85 freight electric locomotives long-term operated on the railways of the Eastern Polygon and 2,3,4ES5K electric locomotives recently received from the manufacturing plant. This makes it possible to identify the weakest units of traction electric motors, the dominant cause for reducing their reliability, and to rationally manage the provision process of their maximum possible failure-free operation.

Key words: Eastern Polygon of Russian Railways, AC electric locomotives, reliability (failure-free operation), traction motors, insulation

O.I. Sadykova, K.A. Sergeev

Methods for Determination of Random Distribution Law when Processing Geometric Parameters of Railway Car Wheels

20

The authors present the research results with the probabilistic and statistical methods making possible to determine the distribution law for the geometric parameters of the car wheels. The expediency of determining the random distribution law is substantiated. A number of conditions the sample volume depends on are listed. The practical significance of the study is justified.

Key words: railway car, statistics, wheel set, sampling, distribution law, sample average, corrected variance

S.P. Vakulenko, D.Yu. Romensky, K.A. Kalinin, M.V. Romenskaya

Component Arrangement of Railway Facilities of Promising Freight Villages

24

The article considers the best practices of the most progressive format for the transport and logistics infrastructure development - the implementation of complex development projects of industrial areas as a freight village. The authors have developed a typical master plan of a freight village with the definition of promising component solutions for its railway infrastructure.

Key words: transport and logistics centre, logistics centre, container terminal, spur track, freight village

V.A. Bugreev, K.S. Morenko, S.A. Morenko, A.P. Chekhov, P.A. Chekhov

Reliability Study of Power Supply for Consumers

32

The authors analysed directions of existing studies in the field of reliability of main and distribution electric networks. Technical and organizational-technical aspects of power supply reliability improvement are considered. The classification of means of reliability improving the power supply for consumers is given. The factors affecting the reliability of power supply and the provision of resources at the enterprise have been studied.

Key words: reliability of power supply, consumers of electric power, quality of electric power

G.I. Petrov, S.V. Beshpal'ko, I.K. Sergeev, N.M. Kurzina Emergency Mode Investigation of Shunting Collision of Car Couplings **37**

The article examines the process of car humping in various modes. Mathematical and computer models have been developed. An experiment of the simulation has been carried out. The authors give the recommendations to improve the safety of technological operations on humps.

Key words: car dynamics, shunting collision, emergency mode, simulation, automatic coupler

L.A. Illarionova, A.A. Loktev Reinforcement Scheme Development of Reinforced Concrete Base Plate for Urban Transport taking into account Anisotropic Properties and Wave Processes **44**

The behaviour of the base plate of the ballastless track under dynamic impact has been simulated. It is this design that is currently one of the most promising. For this construction, a plate segment reinforcement scheme is being developed consisting of local meshes with circular rods under the rail support zone on an under rail base and a common volumetric frame calculated by traditional methods.

Key words: railway track, ballastless base, ballast track, elastic wave, mathematical model

V.V. Baginova, D.V. Ushakov Application of Decision Tree Method when Forming Fleet for Perishable Freight Transportation . . **49**

The article proposes the use of the decision tree method in the process of organizing of perishable freight transportation by land transport. The estimation of the technological potential of various types of isothermal vehicles was given. The authors justify and give arguments of the sequence of steps in the process of choosing the fleet composition of isothermal vehicles in the format of the decision tree method.

Key words: perishable freight (cargo), refrigerated transportation, decision tree, refrigerated containers

I.S. Abdullaev, V.G. Sargsyan Algorithm for Calculating Optimal Development of Section Infrastructure **55**

The authors consider the issue of efficiency increasing of finance investment in the railway infrastructure development. A new approach to the formation of an optimal list of measures for the infrastructure development and the selection of technical parameters of a new facility with the introduction of an algorithm for its implementation tested at a specific section is proposed.

Key words: efficiency increasing of infrastructure development, construction cost calculating, microsimulation

A.S. Limarev, I.Yu. Mezin, M.Yu. Vorotnikov, S.V. Zotov Improving Dynamic Performance of Electric Vehicle by Using Multiple-Speed Gearbox **61**

Most vehicles are equipped with internal combustion engines which negatively affects the environmental situation. An alternative solution to this problem is the use of electric vehicles (EV). As a result, it becomes relevant to conduct studies to improve the EV operational properties. The paper considers the influence of the use of the gearbox in the EV transmission on its dynamic characteristic.

Key words: electric vehicle, electric motor, gearbox, dynamic characteristic

R.S. Trifonov, A.V. Rogalyov, O.S. Solovyova Parametrization Study of Traction Power Supply System Parameters Controlled with Relay Protection of Contact Network Feeders on Example of Sokhondo Traction Substation of Trans-Baikal Railway **68**

The article considers the issue of the reliability improvement of traction power supply systems from the position of relay protection operation. The authors carried out the analysis and have presented statistical data of the relay protection operation of the contact network feeders on the example of the Sokhondo traction substation of the Trans-Baikal Railway, a branch of JSC «Russian Railways». The most typical types of actuations have been identified.

Key words: traction power supply, relay protection, heavy freight movement, contact network feeders

Modelling of transport processes

M.I. Mukonina, V.D. Shvalov

Principles of Intelligent System Building for Detecting and Preventing Offences at Transport Infrastructure Facilities.

76

The article justifies the need to develop and implement an intellectual system carrying out control and supervision activities at transport infrastructure facilities. The advantage of the proposed system is the ability to continuously analyse the events and the information output to specialists in real time.

Key words: transport system, artificial intelligence, machine learning, video surveillance system

Safety of human activity

V.A. Aksyonov, G.M. Bilenko, A.M. Zavyalov, E.S. Vlasova

Analysis of Cases of Transport Violations Affecting Technospheric Safety in Railway Transport . . .

81

The article presents the detailed analysis of the amount and causes of transport violations brought traffic safety violations as a result of professional activities of operational personnel for 2017-2021; the relevant classification has been performed.

Key words: transport violation, analysis of violations, transportation safety, technospheric safety

A.R. Zakirova

Study of Electromagnetic Fields by Energy Characteristics

87

The article discusses the problems of electromagnetic safety of personnel serving the electric rolling stock. It was established that the total power load levels in the cabins of the mainline electric rolling stock of direct current do not adversely affect the electrical personnel. The necessity to use the control devices of electric and magnetic fields of direct and alternating current in the electric rolling stock of alternating current is justified.

Key words: electromagnetic safety, electrical personnel, occupational safety, magnetic fields, electric fields

A.I. Shevchenko, A.A. Sharapov, V.V. Denisov, V.L. Shetilov

Risk Management of Fire Safety State at Facilities and Rolling Stock of JSC «Russian Railways» in 2021

92

The article contains an analysis and assessment of the fire safety state at facilities and rolling stock of JSC «Russian Railways» in 2021.

Key words: fire safety, transportation process stability, fire hazards

O.S. Sachkova, V.B. Shevchenko, L.N. Koshel'

Microtrauma. From Theory to Practice, 90 Years Later

104

The paper has explored the relevance of Heinrich Herbert's Law that there is a direct link between accidents, minor injuries and dangerous situations. The necessity to investigate the microtrauma as one of the fundamental areas of prevention of occupational injuries in order to ensure the priority of preserving the life and health of workers is shown.

Key words: microtrauma, occupational injury prevention, occupational risk, Heinrich Herbert's theory

E.A. Arsentieva, O.V. Kanunnikov, D.V. Klimova

Impact of Traffic Noise on Urban Population

107

Parameters of traffic noise analysis are considered. The authors present the summarised analytical data of the research results of the noise pollution impact on public health are provided.

Key words: transport system, traffic noise, noise pollution, public health

К ВОПРОСУ О ВОЗНИКНОВЕНИИ ПОМЕХ В КАНАЛЕ ИНДУКТИВНОЙ СВЯЗИ НА МЕТРОПОЛИТЕНЕ ЗА СЧЕТ АСИММЕТРИИ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО ПОЛОЖЕНИЯ КОНТАКТНОГО РЕЛЬСА



В.С. Кузьмин



А.К. Табунщиков

В статье рассмотрено влияние на работу бортовой аппаратуры автоматической локомотивной сигнализации на метрополитене взаимного геометрического положения контактного и ходовых рельсов. Описана модель для расчета коэффициента асимметрии на входе локомотивного приемника. Приведены результаты моделирования для однопутного тоннеля метрополитена.

Ключевые слова: автоматическая локомотивная сигнализация, метрополитен, асимметрия, линия индуктивной связи, контактный рельс

EDN: CQXEID

Изменение электромагнитной обстановки на магистральных железных дорогах, связанное с внедрением современного электрического подвижного состава, заставило по-новому взглянуть на причины сбоев в работе устройств безопасности [1;2]. Разработан ряд математических моделей [3;4], описывающих индуктивную связь приемных катушек с рельсовой линией и технических решений [5–7], направленных на снижение влияния аддитивных помех, вызванных асимметрией тягового тока в канале «путь—локомотив» в системах регулирования движения поездов на сети железных дорог ОАО «РЖД». Кроме того, на основе сформулированных направлений работ по

снижению числа сбоев в работе устройств безопасности [8], были проведены исследования, результатами которых стало совершенствование нормативной и технической документации по обслуживанию устройств безопасности [9].

При этом, за исключением разве что [10], в отечественной литературе практически отсутствуют работы, посвященные вопросам анализа электромагнитной обстановки, характерной для условий эксплуатации каналов «путь—локомотив» на метрополитенах. Отсутствуют работы, посвященные вопросам влияния геометрического положения контактного рельса на работу бортовой аппаратуры автоматиче-

Кузьмин Владислав Сергеевич, ассистент, аспирант кафедры «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте» Института транспортной техники и систем управления Российского университета транспорта (ИТТСУ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: исследование и разработка технических и организационных мер для повышения качества технического обслуживания и ремонта локомотивных устройств безопасности. Автор 43 научных работ. Имеет 20 патентов на изобретения.

Табунщиков Александр Константинович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте» Института транспортной техники и систем управления Российского университета транспорта (ИТТСУ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: исследование и разработка элементов индуктивной связи систем регулирования движения поездов. Автор 67 научных работ. Имеет 61 патент на изобретения.

Рядчиков Руслан Олегович, студент кафедры «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте» Института транспортной техники и систем управления Российского университета транспорта (ИТТСУ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: исследование каналов связи систем регулирования движения поездов. Автор одной научной работы.

ской локомотивной сигнализации на метрополитене, т.е. асимметрии в канале автоматической локомотивной сигнализации.

В соответствии с этим цель настоящей работы — определение степени влияния асимметрии в канале автоматической локомотивной сигнализации на метрополитене, возникающей в связи с геометрическим положением контактного рельса. Объект исследования — функционирование системы автоматической локомотивной сигнализации с индуктивным каналом передачи информации на метрополитене. Предмет исследования — асимметрия в канале автоматической локомотивной сигнализации на метрополитене. В рамках работы ставится задача разработать модель для описания влияния геометрического положения точки пересечения осей приемных катушек и асимметрии в линии индуктивной связи на коэффициент асимметрии на входе локомотивного приемника для однопутных участков метрополитенов и проанализировать результаты, полученные с ее помощью.

Следует отметить, что при разработке модели необходимо учитывать данные о геометрических размерах ходовых железнодорожных рельсов [11], контактного рельса, а также данные о расположении контактного рельса относительно ходовых рельсов [12]. Также необходимо учитывать сведения о местоположении в пространстве центров силовых магнитных линий, формируемых вокруг ходовых рельсов и контактного рельса при протекании по ним электрического тока. Для ходовых рельсов в зависимости от их типов такой размер далее принимался равным высоте прокладки испытательного шлейфа, формирующего электромагнитное поле, эквивалентное рельсовой нити, согласно действующим нормативным документам [13].

Разработка модели

Разрабатываемая модель должна будет описывать зависимость коэффициента асимметрии K_{ac} на входе локомотивного приемника. Модель предназначается для оценки влияния геометрического положения контактного рельса на коэффициент асимметрии на входе локомотивного приемника. В разрабатываемой модели присутствуют следующие элементы: первый ходовой рельс; второй ходовой рельс; третий контактный рельс; первая приемная катушка, расположенная над первым ходовым рельсом; вторая приемная катушка, расположенная над вторым ходовым рельсом. Будем полагать, что первый ходовой рельс расположен дальше от третьего контактного рельса, чем второй ходовой рельс.

На первом этапе построения модели определим перечень параметров модели. К параметрам модели относятся:

- высота подвеса относительно уровня головки первого ходового рельса (точнее проекция на ось первого ходового рельса расстояния от уровня его головки до точки пересечения осей первой приемной катушки) h_1 ;

- разность высот подвеса первой и второй приемных катушек Δh ;

- расстояние от оси соответствующего ходового рельса до точки пересечения осей соответствующей приемной катушки (для первой $l_{1,1}$ и второй $l_{2,2}$ приемных катушек);

- величина асимметрии токов помех в рельсовой линии K_{RL} с учетом номера ходового рельса, величина тока в котором больше;

- сумма токов, протекающих в первом и втором ходовых рельсах, равная силе тока, протекающего в контактном рельсе I_3 ;

- направления токов в ходовых и контактном рельсах;

- разность высот уровней головки первого и второго рельсов $h_{1,2}^e$;

- тип рельса (Р50, Р65, Р75 и др.);

- расстояние для данного типа рельса между уровнем головки рельса и центром силовых магнитных линий, формируемых вокруг данного рельса протекающим по нему током h_m ;

- высота относительно уровня головки одного из ходовых рельсов центра силовых магнитных линий, формируемых током вокруг контактного рельса $h_{1,3}^e$;

- расстояние между осями ходовых рельсов $l_{2,1}^l$;

- расстояние между осью первого ходового рельса и осью контактного рельса $l_{3,1}^l$;

- площадь сечения рамки, образованной одним витком k -й приемной катушки S_k ;

- магнитная проницаемость материала сердечника k -й приемной катушки μ_k ;

- число витков k -й приемной катушки n_k .

При построении модели воспользуемся следующими допущениями.

1. Ходовые и контактный рельсы будем считать тонкими бесконечно длинными прямолинейными проводниками с током.

2. Бесконечно длинные тонкие проводники, имитирующие ходовые рельсы, расположим на осях соответствующих ходовых рельсов на расстоянии h_m ниже уровня их головок, что соответствует центрам силовых магнитных линий рельсов.

3. Бесконечно длинный тонкий проводник, имитирующий контактный рельс, расположим на оси контактного рельса в точке — центре силовых магнитных линий, формируемых вокруг контактного рельса.

4. При построении модели будем полагать, что соответствующие несущественные параметры для первой и второй приемных катушек одинаковы.

Для того, чтобы понять взаимное соотношение между существенными геометрическими параметрами, рассмотрим схему, приведенную на рис. 1.

Центры силовых магнитных линий первого, второго и третьего рельсов, а также точки пересечения осей первой и второй приемных катушек показаны точками. При этом параметры $l_{1,1}$ и $l_{2,2}$ далее будем принимать положительными при смещении точки пересечения осей приемной катушки от соответствующей оси ходового рельса в сторону контактного рельса и отрицательными в противоположную сторону. Параметр $h_{1,2}^e$ будем принимать положительным в случае, когда УГР2 оказывается выше УГР1 и отрицательным в противоположной ситуации. Параметр Δh будем принимать положительным в случае, когда точка пересечения осей второй приемной катушки окажется выше точки пересечения осей первой приемной катушки и отрицательным в противоположной ситуации.

На втором этапе сформулируем в общем виде необходимые аналитические выражения. Воспользовавшись законом Био-Савара-Лапласа в отношении бесконечно длинного прямолинейного тонкого проводника r с током и k -й приемной катушки, расположенной на расстоянии $A_{r,k}$ от центра силовых магнитных линий проводника r с током, и формулой для расчета пото-

ко сцепления однородного поля через плоскую поверхность, где $\alpha_{r,k}$ — угол между нормалью рамки, образованной одним витком приемной катушки и вектором индукции магнитного поля, опишем потокосцепление приемной катушки k с рельсом r (1):

$$\Psi_{r,k} = n_k \frac{\mu_0 I_r}{2\pi A_{r,k}} S_k \cos \alpha_{r,k}. \quad (1)$$

Учитывая, что габариты приемной катушки, число витков, геометрическое положение приемной катушки относительно любого из проводников неизменно, величину ЭДС, наведенную от тока рельса r в приемной катушке k можно вычислить по формуле (2):

$$E_{r,k}(t) = -n_k \cdot \frac{\mu_0 S_k \cos \alpha_{r,k}}{2\pi A_{r,k}} \cdot \frac{dI_r(t)}{dt}. \quad (2)$$

После незначительных преобразований, полагая, что ток описывается синусоидальной функцией с круговой частотой ω , нулевой начальной фазой и амплитудным значением I_r^{MAX} , получим выражение (3):

$$E_{r,k}^{\text{MAX}} = -\omega \cdot \frac{\mu_0 n_k S_k \cos \alpha_{r,k}}{2\pi A_{r,k}} \cdot I_r^{\text{MAX}}. \quad (3)$$

Коэффициент асимметрии на входе локомотивного приемника может быть выражен в форме (4):

$$K_{AC} = \frac{|E_{\text{MAX}}^1 - E_{\text{MAX}}^2|}{E_{\text{MAX}}^1 - E_{\text{MAX}}^2} 100\%, \quad (4)$$

где E_{MAX}^i — суммарная ЭДС, наведенная в i -й прием-

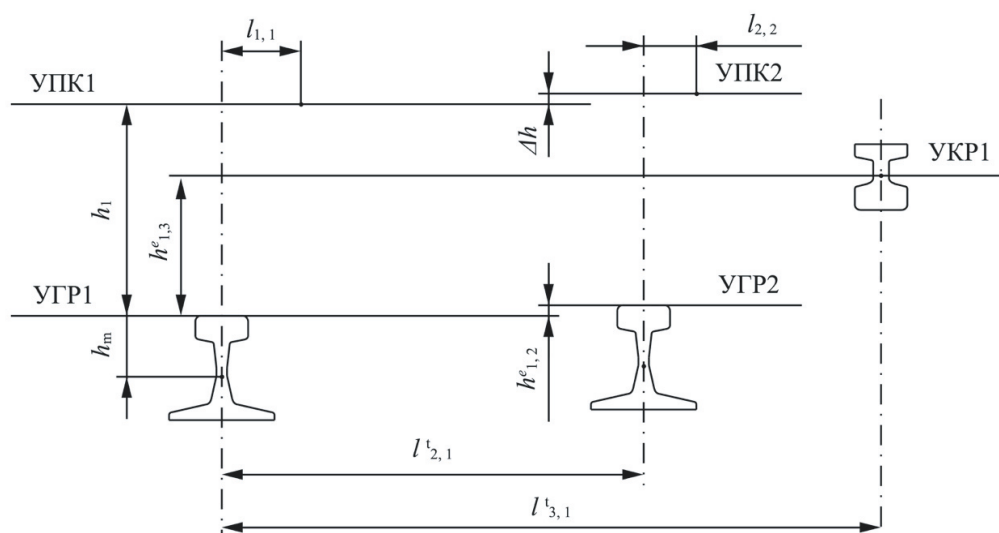


Рис. 1. Существенные геометрические параметры: УГР1 – уровень головки первого ходового рельса; УГР2 – уровень головки второго ходового рельса; УКР1 – уровень центра силовых магнитных линий третьего контактного рельса; УПК1 – уровень первой приемной катушки; УПК2 – уровень второй приемной катушки

ной катушке от всех источников сигналов и помех. В дальнейших рассуждениях можно перейти от амплитудных значений к действующим, тогда полученные результаты будут представлены в более удобной для анализа форме. После подстановки (3) в (4), учитывая дополнительное допущение 4 и необходимость учета направлений токов, которое можно реализовать за счет умножения величины тока на соответствующий коэффициент k_r , который принимает значение, равное 1, если ток направлен от наблюдателя (см. рис. 1), и -1 , если ток направлен к наблюдателю, коэффициент асимметрии можно записать в виде (5):

$$K_{AC} = \frac{\sum_{r=1}^N I_r \cdot \left[\frac{k_r \cos \alpha_{r,1}}{A_{r,1}} - \frac{k_r \cos \alpha_{r,2}}{A_{r,2}} \right]}{\sum_{r=1}^N \sum_{k=1}^2 \left[\frac{I_{r,k} k_r \alpha_{r,k}}{A_{r,k}} \right]}. \quad (5)$$

Как мы видим, все собственные параметры приемных катушек были исключены из рассмотрения. Проанализируем более подробно геометрическое положение точки пересечения осей приемной катушки и центра силовых магнитных линий ходовых рельсов (рис. 2,а) или центра силовых магнитных линий контактного рельса (рис. 2,б).

В зависимости от направления тока в ходовом рельсе возможно два варианта угла между нормалью витка приемной катушки и вектором индукции магнитного поля соответствующего рельса, в частности

для первого ходового рельса: $\alpha_{1,1}$ и $\alpha'_{1,1}$. В соответствии с формулами приведения $\cos \alpha_{1,1} = -\cos \alpha'_{1,1}$. Для учета этого знака авторами ранее уже введен коэффициент k_r .

Если рассматривать ходовой рельс, то угол $\alpha_{1,1}$ равен углу, образованному ОР1 и линией, соединяющей центры силовых магнитных линий ходового рельса и точки пересечения осей приемной катушки. Доказательство этого может быть построено исходя из положений о том, что сумма острых углов в прямоугольном треугольнике равна 90 градусам, а развернутый угол (на линии УПК1) равен 180 градусам. В соответствии с определением косинуса угла получим итоговое выражение, описывающее зависимость коэффициента асимметрии на входе локомотивного приемника для выбранных существенных параметров (6):

$$K_{AC} = \frac{\sum_{r=1}^N I_r \cdot \left[\frac{k_r h_{r,1}}{h_{r,k}^2 + l_{r,k}^2} - \frac{k_r h_{r,2}}{h_{r,k}^2 + l_{r,k}^2} \right]}{\sum_{r=1}^N \sum_{k=1}^2 \left[\frac{I_{r,k} k_r h_{r,k}}{h_{r,k}^2 + l_{r,k}^2} \right]}. \quad (6)$$

Для завершения построения модели, исходя из анализа схемы, приведенной на рис. 1, составим выражения, описывающие величины $h_{r,k}$, $l_{r,k}$.

Для первой приемной катушки справедливы выражения (7) и (8):

$$h_{r,1} = \begin{cases} h_1 + h_2, & \text{если } r=1, \\ h_1 + h_2 - h_{r,1}^e, & \text{если } r>1; \end{cases} \quad (7)$$

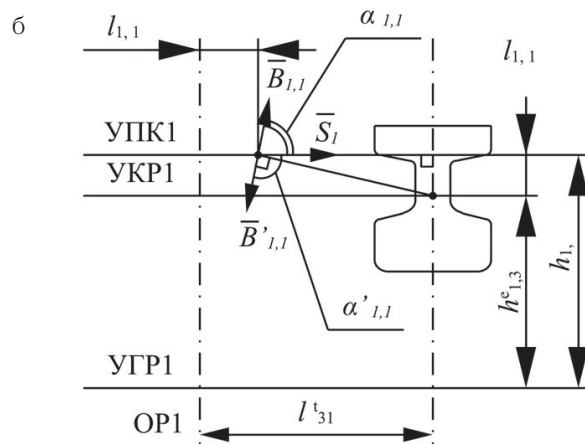
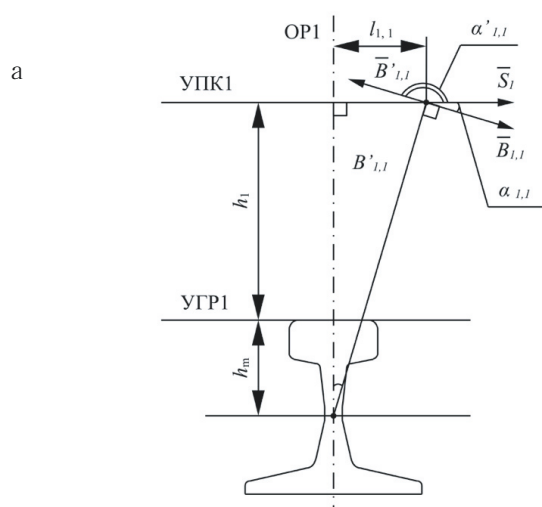


Рис. 2. Определение косинуса угла между нормалью витка приемной катушки и вектором индукции магнитного поля:
а–для ходовых рельсов; б–для контактного рельса; ОР1 – ось первого ходового рельса.
Остальные обозначения см. на рис. 1.

$$I_{r,1} = \begin{cases} l_{1,1}, & \text{если } r=1, \\ l'_{r,1} - l_{1,1}, & \text{если } r>1. \end{cases} \quad (8) \quad N=3. \quad (13)$$

Для второй приемной катушки справедливы выражения (9) и (10):

$$h_{r,1} = \begin{cases} h_1 + h_m + \Delta h, & \text{если } r=1, \\ h_1 + h_m + \Delta h - h_{r,2}^e, & \text{если } r>1; \end{cases} \quad (9)$$

$$I_{r,2} = \begin{cases} l'_{r,2} + l_{2,2}, & \text{если } r=2, \\ l'_{r,2} - l_{2,2}, & \text{если } r>2. \end{cases} \quad (10)$$

Токи в рельсах определяются в соответствии с выражениями (11) и (12):

$$I_1 = \frac{I_3 \left(1 - \frac{K_{RL}}{100} \right)}{2}, \quad (11)$$

$$I_2 = \frac{I_3 \left(1 + \frac{K_{RL}}{100} \right)}{2}. \quad (12)$$

Для удобства будем полагать, что коэффициент асимметрии K_{RL} — положительная величина, если ток во втором ходовом рельсе больше, чем в первом и отрицательная в обратном случае. Еще одним важным замечанием будем считать выражение (13), так как оно определяет верхнюю границу для определения суммы по числу рельсов:

Уравнения (6)–(13) следует поставить под знак системы. На этом построение аналитической модели со свойствами, отвечающими поставленной задаче, можно считать оконченной.

Зависимость коэффициента асимметрии на входе локомотивного приемника от различных факторов

Для оценки влияния асимметрии в канале «путь — локомотив» на метрополитене наибольший интерес будут представлять следующие зависимости коэффициента асимметрии от различных аргументов:

- высоты подвеса первой приемной катушки h_1 при различных Δh и совпадающих направлениях тока во всех трех рельсах (рис. 3);
- высоты подвеса первой приемной катушки h_1 при различных Δh и направлении тока в третьем контактном рельсе, противоположном направлению токов в ходовых рельсах (рис. 4);
- разности высот Δh подвеса приемных катушек при заданной высоте первой приемной катушки (рис. 5);
- величины коэффициента асимметрии в рельсовой линии K_{RL} при заданной высоте подвеса первой приемной катушки h_1 и различных Δh (рис. 6).

Проанализируем полученные графики. При равенстве $\Delta h=0$ коэффициент асимметрии $K_{AC}=0$ при

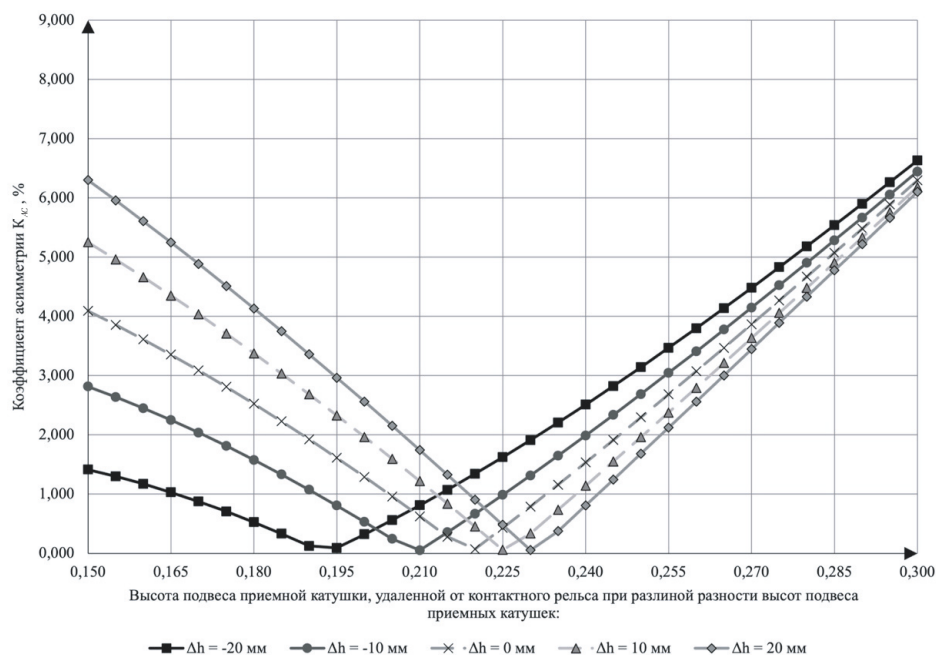


Рис. 3. Зависимость K_{AC} от высоты подвеса первой приемной катушки при различных величинах Δh и совпадающих направлениях тока во всех трех рельсах

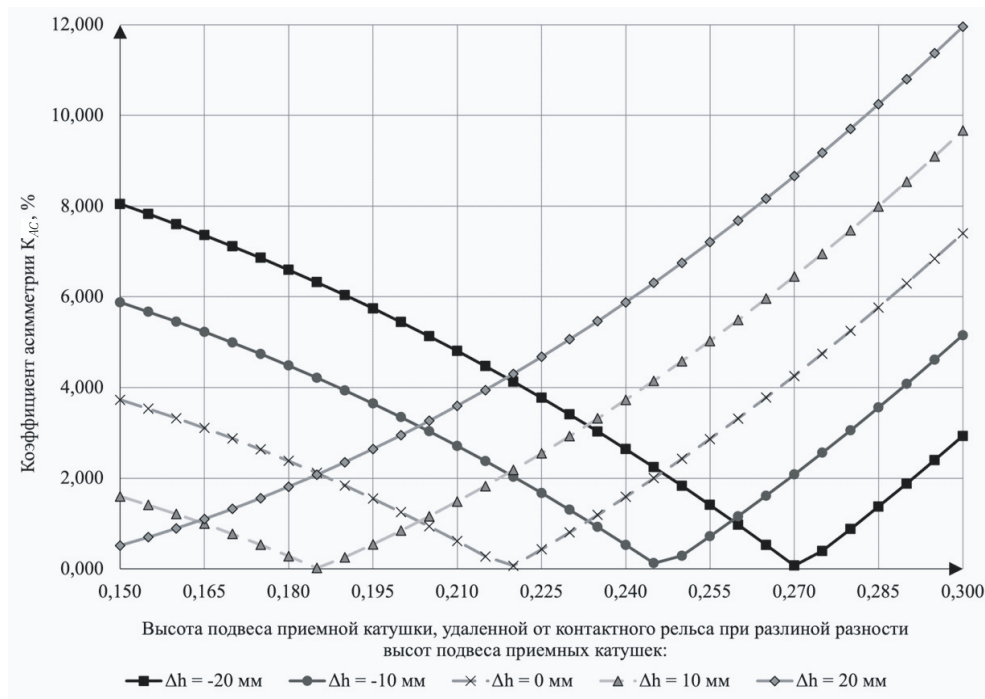


Рис. 4. Зависимость K_{AC} от высоты подвеса первой приемной катушки при различных величинах Δh и направлении тока в третьем контактном рельсе, противоположном направлению токов в ходовых рельсах

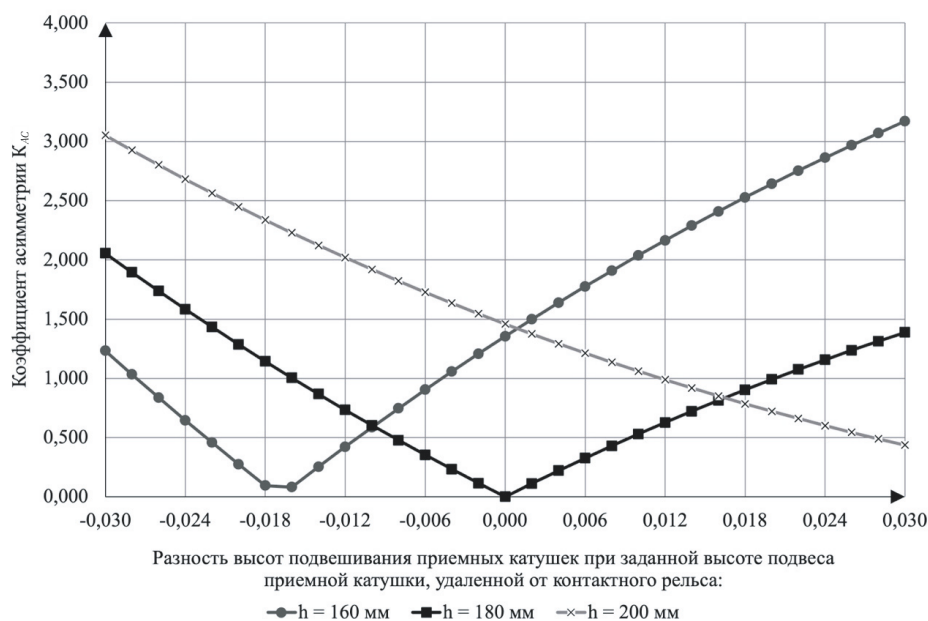


Рис. 5. Зависимость K_{AC} от разности высот Δh подвеса приемных катушек при заданной высоте подвеса первой приемной катушки

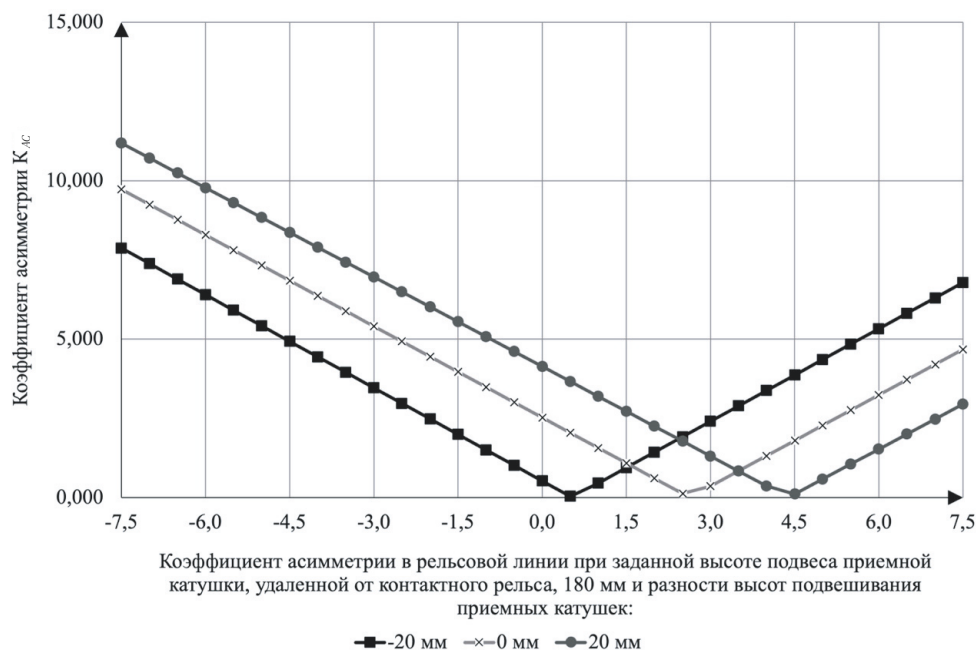


Рис. 6. Зависимость K_{AC} от коэффициента асимметрии в рельсовой линии K_{RL}

высоте подвеса первой приемной катушки, равной $h_{1,3}^e$ (см. рис. 3,4). Очевидно, что числитель равен нулю в указанном случае по причине того, что косинус угла между нормалью одиночного витка приемной катушки и вектором индукции магнитного поля равен 1. В остальных случаях, если пренебречь величиной ЭДС, наведенной в каждой из катушек от соседнего ходового рельса, можно считать, что коэффициент асимметрии $K_{AC}=0$ при условии (14):

$$\left| \frac{I_1 k_1 h_{r,1}}{h_{r,k}^2 + l_{r,k}^2} - \frac{I_2 k_2 h_{r,2}}{h_{r,2}^2 + l_{r,2}^2} \right| =$$

$$= I_3 k_3 \left(\frac{h_{3,1}}{h_{3,1}^2 + l_{3,1}^2} - \frac{h_{3,2}}{h_{3,2}^2 + l_{3,2}^2} \right). \quad (14)$$

Полученные данные согласуются с тем, что приемные катушки систем регулирования движения поездов на метрополитене принято располагать на высоте 180 мм относительно уровня головки рельса [14]. При отсутствии асимметрии в рельсовой линии, одинаковом износе поверхности катания колес первой тележки и совпадении параметров приемных катушек (заметим, что указанные условия редко выполняются на практике) действительно может быть достигнуто равенство вида $K_{AC}=0$.

Различие картины для K_{AC} на рис. 3,4 объясняется тем, что при отличии направления протекания тока по

третьему контактному рельсу от направления токов в первом и втором ходовых рельсах величины ЭДС, наведенных в приемных катушках, при высоте подвеса меньшей высоты размещения центра силовых магнитных линий третьего контактного рельса увеличиваются, а при высоте подвеса большей высоты размещения центра силовых магнитных линий третьего контактного рельса — уменьшаются. А так как в знаменателе коэффициента асимметрии K_{AC} берется алгебраическая сумма, а в числителе модуль разности (который будет одинаков в обоих случаях), то знаменатель в этом случае будет меньше знаменателя при совпадении направлений токов во всех рельсах. Таким образом, суммарная ЭДС, наведенная в приемных катушках от всех источников при отличии направления протекания тока по третьему контактному рельсу от направления токов в первом и втором ходовых рельсах, будет меньше, а коэффициент асимметрии — больше.

Незначительная разность высот (см. рис. 5, до 30 мм), подвеса приемных катушек даже при неизменной высоте подвеса первой приемной катушке, равной высоте расположения центра силовых магнитных линий контактного рельса, приводит к асимметрии до 3%. Таким образом, при неодинаковом стачивании профилей колес колесных пар первой тележки (например, при преобладании левых или правых кри-

вых) возможно возникновение ситуаций, приводящих к увеличению асимметрии на входе локомотивного приемника.

Что же касается наличия одновременно асимметрии, вызванной геометрическим положением контактного рельса и асимметрией в рельсовой линии (см. рис. 6), то при незначительной разности высот подвеса (всего 20 мм) возможно возникновение величины асимметрии на входе локомотивного приемника в пять и более процентов. При этом наихудшим является асимметрия в рельсовой линии, при которой ток в первом ходовом рельсе указывается больше, чем ток во втором ходовом рельсе. Условие равенства коэффициента асимметрии на входе локомотивного приемника нулю по (14) в данном случае оказывается неприменимым.

Заключение

На основе проведенного исследования представляется возможным сформулировать следующие основные выводы.

1. Существующие подходы к аналитическому описанию индуктивной связи между приемной катушкой систем автоматической локомотивной сигнализации

с ходовыми рельсами и другими проводниками, размещаемыми вдоль пути, не могут быть применены к описанию канала индуктивной связи систем автоматической локомотивной сигнализации на метрополитенах без существенной адаптации.

2. Разработана модель, обеспечивающая анализ асимметрии в канале автоматической локомотивной сигнализации на метрополитене. Полученные в ходе моделирования результаты подтверждают правильность выбора высоты подвеса приемных катушек, обеспечивающей компенсацию асимметрии в канале автоматической локомотивной сигнализации, вызванной геометрическим положением контактного рельса.

Анализ результатов исследования показал, что разность высот подвеса приемных катушек всего 20 мм приводит к асимметрии на входе локомотивного приемника, эквивалентной асимметрии тягового тока в пять процентов.

Полученные результаты могут быть использованы в дальнейшем как для совершенствования приемной аппаратуры автоматической локомотивной сигнализации на метрополитенах, так и при разработке методов и технических средств ее обслуживания и ремонта в условиях депо. 

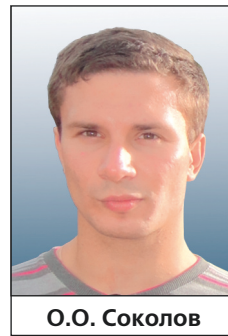
Литература

1. Лисенков, В.М. Методы анализа и синтеза рельсовых цепей (статистический подход). — Москва: ВНИИТИ РАН, 2014. — 222 с. — С. 218–219. — ISBN 978-5-902928-52-2. — Текст: непосредственный.
2. Бестемьянов, П.Ф. Исследование электромагнитной обстановки на электрифицированных участках железных дорог / П.Ф. Бестемьянов, Ю.А. Кравцов, В.И. Шаманов. — Текст: непосредственный // Электротехника. — 2019. — №9. — С. 3–7.
3. Шаманов, В.И. Индуктивная связь локомотивных катушек АЛСН с рельсовыми линиями / В.И. Шаманов. — Текст: непосредственный // Автоматика, связь, информатика. — 2011. — №11. — С. 2–5.
4. Бородин, А.В. Улучшать качество ремонта и обслуживания приемных катушек / А.В. Бородин, С.А. Овсянников, В.В. Косьяненко. — Текст: непосредственный // Локомотив. — 2021. — №12(780). — С. 15–17.
5. Патент №2652676 Российская Федерация, МПК В61L 25/06 (2006.01). Устройство автоматической локомотивной сигнализации с интегрированием принимаемых сигналов: № 2017107858: заявл. 10.03.2017: опубл. 28.04.2018 / Табунщиков А.К., Кузьмин В.С., Стряпкин Л.И.; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет путей сообщения Императора Николая II» МГУПС (МИИТ). — 7 с. — Текст: непосредственный.
6. Патент №202178 Российская Федерация, МПК В61L 25/06, В61L 3/16 (2006.01). Устройство для снижения числа сбоев в работе автоматической локомотивной сигнализации: №2020132953: заявл. 06.10.2020: опубл. 05.02.2021 / Кузьмин В.С.; Кузьмин Владислав Сергеевич. — 11 с. — Текст: непосредственный.
7. Патент №94944 Российская Федерация, МПК В61L 25/06 (2006.01). Локомотивный приемник сигналов автоматической локомотивной сигнализации для участков с электротягой переменного тока: №2009143604: заявл. 26.11.2009: опубл. 10.06.2010 / Шаманов В.И.; Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет путей сообщения» (МИИТ). — 6 с. — Текст: непосредственный.

8. Табунщиков, А.К. Новые принципы и направления работ по повышению помехоустойчивости АЛСН / А.К. Табунщиков, Ю.А. Барышев, С.М. Якимов. — Текст: непосредственный // Проблемы безопасности на транспорте: материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. году науки: в 2 ч. Ч. 1 / М-во трансп. и коммуникации Респ. Беларусь, Бел. ж. д., Белорус. гос. ун-т трансп.; под общ. ред. Ю.И. Кулаженко. — Гомель: БелГУТ, 2017. — С. 201–202.
9. Заколесник, В.В. Как улучшить работу контрольных пунктов АЛСН / В.В. Заколесник, П.М. Меркулов, В.С. Кузьмин. — Текст: непосредственный // Локомотив. — 2019. — № 10 (754). — С. 9–10.
10. Бадер, М.П. Электромагнитная совместимость тягового электроснабжения с линиями связи, устройствами железнодорожной автоматики и питающими электросетями: специальность 05.22.09: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Бадер Михаил Петрович. — Москва, 1999. — 475 с. — Текст: непосредственный.
11. ГОСТ Р 51685-2013. Рельсы железнодорожные. Общие технические условия = Railway rails. General specifications: национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 14 октября 2013 г. № 1155-ст: взамен ГОСТ Р 51685-2000 : дата введения 2014-07-01 / Разработан Открытым акционерным обществом «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта (ОАО «ВНИИЖТ»), Открытым акционерным обществом «Уральский институт металлов» (ОАО «УИМ»), Федеральным государственным унитарным предприятием «Научно-исследовательский институт мостов и дефектоскопии Федерального агентства железнодорожного транспорта» (ФГУП «НИИ мостов и дефектоскопии»), Институтом металлургии и материаловедения имени А.А.Байкова Российской академии наук (ИМет РАН), Обществом с ограниченной ответственностью «ЕвразХолдинг» (ООО «ЕвразХолдинг»), Открытым акционерным обществом «ЕВРАЗ Нижнетагильский металлургический комбинат» (ОАО «ЕВРАЗ НТМК»), Открытым акционерным обществом «Объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат» (ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК»). — Москва: Стандартинформ, 2014. — V, 97 с. — Текст: непосредственный.
12. Жильцов, В.Н. Устройство и содержание пути Московского метрополитена / В.Н. Жильцов, Е.Т. Мосин. — Москва: Всесоюзное издательско-полиграфическое объединение Министерства путей сообщения, 1960. — 297 с. — Текст: непосредственный.
13. Инструкция по оборудованию, техническому обслуживанию и ремонту испытательных шлейфов и путевых устройств АЛС контрольного пункта АЛСН: № 35002-000-00: утверждена распоряжением ОАО «РЖД» №1510/р от 12 июля 2021 г. — Текст: непосредственный.
14. Механическое оборудование вагонов метрополитена серии 81-765 (81-766, 81-767): учебное пособие курса «Машинист электропоездов метрополитена» / И.А. Шутов, А.А. Елизаров; под ред. В.Н. Гаранина, Н.Ю. Федорчука; ГУП «Московский метрополитен». Служба профориентации, обучения и развития персонала. Учебно-производственный центр. — Москва, 2017. — 57 с. — URL: <https://metrotest.moscow/wp-content/uploads/2021/02/Мех.оборудование-81-765-Москва-.pdf> (дата обращения: 26.02.2022). — Текст: электронный.

БЕЗОТКАЗНОСТЬ ТЯГОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОВОЗОВ ВОСТОЧНОГО ПОЛИГОНА

Установлен интенсивный характер снижения безотказности тяговых электродвигателей (ТЭД) грузовых электровозов ВЛ80, ВЛ85, длительно эксплуатируемых на железных дорогах Восточного полигона и 2,3,4ЭС5К, недавно поступивших с завода-изготовителя. Это позволяет выявить наиболее слабые узлы ТЭД, основные причины снижения их безотказности и рационально управлять процессом обеспечения их максимально возможной безотказности.



О.О. Соколов



Д.И. Бодриков

Ключевые слова: Восточный полигон РЖД, электровозы переменного тока, безотказность, тяговые двигатели, изоляция

EDN: FZMUXN

Результаты анализа статистических данных о безотказности ТЭД электровозов Восточного полигона за последние годы эксплуатации показали повышенные параметры потоков отказов ТЭД $\omega_{\text{ТЭД}}$, которые составили у двигателей электровозов: 2,3,4ЭС5К — 28,6 отказов/ 10^6 км; ВЛ85 — 33,3 отказов/ 10^6 км; ВЛ80 — 25,6 отказов/ 10^6 км.

На отказы коллекторно-щеточного узла (КЩУ) и изоляции приходится соответственно у двигателей электровозов: 2,3,4ЭС5К — 31 и 48 % отказов двигателей; ВЛ85 — 38,9 и 39 % отказов двигателей; ВЛ80 — 45,5 и 33,7 % отказов двигателей.

Для обеспечения максимально возможной безотказности ТЭД необходимо проведение мероприятий по совершенствованию их конструкции и обслуживания.

Вместо нерациональных конструкций крепления главных и дополнительных полюсов двигателей НБ-514 и НБ-514 Б, Е, Д, приводящих к увеличенному числу отказов двигателей электровозов ВЛ85 и 2,3,4ЭС5К, применить более надежную конструкцию крепления главных и дополнительных полюсов двигателей НБ-418К6 электровозов ВЛ80.

Соколов Олег Олегович, главный специалист «ЛокоТех-Электромашинный дивизион» — филиала АО «Желдорремаш». Область научных интересов: повышение надежности локомотивов и электропоездов. Автор 25 научных работ.

Бодриков Денис Игоревич, ассистент кафедры «Электропоезда и локомотивы» Института транспортной техники и систем управления Российского университета транспорта (ИТТСУ РУТ (МИИТ)), начальник отдела скоростного моторвагонного подвижного состава Проектно-конструкторского бюро локомотивного хозяйства — филиала ОАО «РЖД». Область научных интересов: имитационное моделирование, оптимизация работы станции стыкования, организация системы эксплуатации и ремонта. Автор 13 научных работ.

Чубов Роман Сергеевич, аспирант кафедры «Тяговый подвижной состав» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: повышение надежности локомотивов. Автор 24 научных работ.

Смирнов Валентин Петрович, доктор технических наук, профессор кафедры «Тяговый подвижной состав» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: повышение надежности локомотивов. Автор 152 научных работ. Имеет три патента на изобретения.

Применить в якорях двигателей НБ-514 и НБ-514 Б, Е, Д, электровозов ВЛ85 и 2,3,4ЭС5К Восточного полигона заднюю лобовую часть (ЗЛЧ) якорной обмотки с использованием керамических конусов, обеспечивающих, как показала многолетняя эксплуатация двигателей НБ-418К электровозов ВЛ80 на дорогах Восточного полигона, существенное уменьшение пробоев обмоток якоря по ЗЛЧ,

Изменить в двигателях НБ-418К6, НБ-514 и НБ-514 Б, Е, Д, электровозов ВЛ80, ВЛ85 и 2,3,4ЭС5К Восточного полигона используемую конструкцию вентиляции с разворотом струи воздуха не на 270° , на конструкцию, которая применялась на первых двигателях НБ-418К электровозов ВЛ80 с разворотом струи воздуха на 90° , исключив этим неравномерное ускоренное старение изоляции главных, дополнительных полюсов и компенсационных обмоток, а также повышенный нагрев якорных обмоток.

Локомотивные депо Восточного полигона необходимо оснастить микропроцессорными приборами контроля влажности (ПКВ) разработки ПКБ ЦТ ОАО «РЖД», для определения объемного увлажнения изоляции ТЭД по методу «емкость — время»; приборами МИС-2500; мегаомметрами на 2500 В ЭС0202/ 2—Г, позволяющими определять поверхностное увлажнение изоляции ТЭД, а также инфракрасными термометрами «Кельвин» для контроля температуры изоляции двигателей в момент измерения.

Ввести при длительных отстоях электровозов Восточного полигона подогрев обмоток главных полюсов для исключения переувлажнения изоляции тяговых двигателей от выпрямительной установки возбуждения с поддержанием температуры ТЭД на $8-10^\circ\text{C}$ выше температуры окружающей среды.

После длительного отстоя электровоза Восточного полигона с подогревом ТЭД, при котором периодически контролировалось и поддерживалось объемное и поверхностное увлажнение изоляции на допустимом уровне, электровоз вводится в работу. При повышенном уровне увлажненности изоляции ТЭД проводится сушка импульсно - прерывистым методом в несколько циклов, в зависимости от степени увлажненности изоляции, время включения калорифера в первом цикле зависит от увлажненности изоляции и уменьшается в каждом последующем цикле. При сушке также производится контроль объемного и поверхностного увлажнения изоляции после каждого цикла сушки.

Для ТЭД электровозов северного направления Восточного полигона необходима пропитка окунанием при текущем ремонте ТР-3 с контролем увлажненности изоляции, после сушки изоляции перед пропиткой, методами и приборами, рассмотренными выше.

При среднем ремонте (СР) на заводе необходимы две пропитки. После сушки перед каждой пропиткой нужно контролировать степень увлажненности изоляции приборами. Заводы, производящие ремонт ТЭД электровозов Восточного полигона, также необходимо оснастить ПКВ, позволяющими определять объемное увлажнение изоляции ТЭД по методу «емкость — время»; приборами МИС-2500; мегаомметрами на 2500 В ЭС0202/ 2—Г, позволяющими определять поверхностное увлажнение изоляции ТЭД; инфракрасными термометрами «Кельвин» для контроля температуры изоляции двигателей в момент измерения.

При капитальном ремонте (КР) на заводе необходимы три пропитки. После сушки перед каждой пропиткой нужно контролировать степень увлажненности изоляции методами и приборами, рассмотренными выше.

Снятие характеристик изменений активных сопротивлений якорных обмоток ТЭД от температуры проводится при ремонтах ТР-3, СР, КР, а также на заводах-изготовителях после последних пропиток и сушек.

Контролировать увлажненность изоляции ТЭД, прибывших с заводов-изготовителей, ремонтных заводов из депо перед подкаткой под электровоз.

В сложных условиях работы находятся ТЭД электровозов северного направления Восточного полигона в зимний период эксплуатации, в связи с пониженной вязкостью смазки в моторно-якорных подшипниках вследствие затвердевания смазки наблюдается увеличение сопротивления вращению якоря. Возможен переход из режима качения в режим скольжения со значительным ростом потерь в подшипниках. Реализуемая мощность ТЭД при этом возрастает. Кроме увеличения расхода электроэнергии это вызывает повышенный нагрев двигателя и, соответственно, изоляции.

В локомотивных депо Восточного полигона необходимо вести непрерывный статистический анализ отказов изоляции якорных обмоток, главных, дополнительных полюсов и компенсационных обмоток ТЭД грузового парка электровозов каждого типа отдельно (ВЛ80; ВЛ85; 2,3,4ЭС5К). Имея данные о ежемесячных пробегах однотипных электровозов, а также об отказах за каждый месяц наблюдения можно определить параметры потоков отказов ТЭД $\omega_{\text{ТЭД}}$, отказов/ 10^6 , якорей $\omega_{\text{я}}$, главных полюсов и т.д. Используя ежемесячные данные, например о параметрах потоков отказов якорей $\omega_{\text{я}}$ и среднемесячных температурах воздуха возможно получить информацию о зависимости изменения параметра потока отказов якорей ТЭД от температуры. Если параметр потока отказов

якорей двигателей с ростом температуры возрастает это указывает на хорошее состояние изоляции якорей. Снижение параметра потока отказов якорей ТЭД с ростом температуры свидетельствует об ухудшении состояния их изоляции.

Установлено, что из-за существенных нарушений технологии сборки магнитной системы в трети ТЭД уровень искрения в контакте щетки — коллектор превышает предельно допустимые значения. Выходом из этой ситуации является разработка и внедрение методов и технологий наладки коммутации с использованием комплекса приборов по диагностированию. Это позволит получить существенный экономический эффект вследствие улучшения качества ремонта ТЭД, обеспечивающего повышение ресурса электрической прочности изоляции двигателей.

В настоящее время наиболее полно разработан метод определения качества коммутации по импульсам напряжения на сбегавшем крае щеток. Одним из вариантов этого типа приборов является модернизированный применительно к условиям коммутации ТЭД прибор ПКК-2М разработки ОмГУПС и Уральского отделения ВНИИЖТа. Сущность метода заключается в том, что в щеткодержатель устанавливается дополнительная щетка-датчик с шириной контактного элемента не более межламельного пространства коллектора, выступающая от основных щеток в сторону вращения коллектора на 0,3—0,5 мм. Это позволяет производить измерение напряжения между ламелью и щеткой. При испытании ТЭД используются как односторонние, так и двухсторонние датчики, что позволяет определять величину искрения в обоих направлениях вращения ТЭД. Для фиксации импульсов напряжения разность импульсов между датчиком и основной щеткой подается в измерительный комплекс.

Наличие точной информации не только о количественной, но и о качественной стороне искрения в виде разрыва тока секции, определяющего износ и состояние контактной пары, позволяет сделать вполне объективные выводы о состоянии коммутации и дать рекомендации по ее настройке.

Достоинством прибора ПКК-2М является возможность диагностирования неудовлетворительной коммутации, которая производится по следующим признакам.

Отсутствие контакта датчика с коллектором указывает на заусенцы после продорожки, биение коллектора, выступание отдельных пластин (расстройство коммутации по механическим причинам). Для определения этого признака прибор оборудован схемой проверки контакта между датчиком и коллектором.

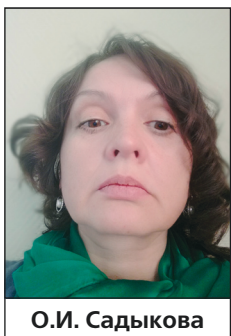
Коммутация при одном направлении вращения ускоренная, при другом — замедленная, частота вращения изменяется при реверсировании. Причина данного расстройства коммутации — щетки смещены с нейтральной стороны вращения, при котором наблюдается замедленная коммутация (искрение от недокоммутации) и пониженная частота вращения.

Коммутация ускоренная или замедленная при обоих направлениях вращения, частота вращения в обе стороны одинаковая. Причина этого расстройства коммутации — наличие отклонений в магнитной системе двигателя. Ниже приведена зависимость между баллами ГОСТ 2582-2013 и показаниями прибора ПКК-2М в условных единицах при испытании ТЭД НБ-416К6:

Баллы искрения ГОСТ 2582-2013	Условные единицы прибора ПКК-2М
1	0—150
1 ^{1/4}	150—1000
1 ^{1/2}	1000—3000
2	3000—6000

Из анализа данных следует, что диапазоны соответствия показаний прибора баллам искрения по ГОСТ 2582-2013 неравномерны и достаточно широки. Это подтверждает субъективность существующего метода контроля качества коммутации по ГОСТ 2582-2013. В перспективе реально оценка интенсивности искрения в условных единицах, полученных на приборах ПКК-2М. 

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАКОНА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СЛУЧАЙНОЙ ВЕЛИЧИНЫ ПРИ ОБРАБОТКЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ КОЛЕС ВАГОНОВ



О.И. Садыкова



К.А. Сергеев

Приведены результаты исследований вероятностно-статистическими методами, позволяющими определить закон распределения для геометрических параметров колес вагонов. Обоснована целесообразность определения закона распределения случайной величины. Перечислен ряд обстоятельств, от которых зависит объем выборки. Обоснована практическая значимость исследования.

Ключевые слова: вагон, статистика, колесная пара, выборка, закон распределения, выборочное среднее, исправленная дисперсия

EDN: BRBDAJ

Для определения закона распределения случайной величины при обработке данных, полученных при изучении интенсивности изнашивания поверхности катания колесных пар железнодорожных вагонов целесообразно применять вероятностно-статистические методы. Знание закона распределения случайной величины, отвечающей за показатель изнашивания поверхности катания колесных пар, объясняется рядом причин, к которым относятся следующие:

- возможность значительной экономии времени и средств, затрачиваемых на получение информации, доступной на начальном этапе жизненного цикла колес подвижного состава;
- выявляющиеся в законе распределения статистические закономерности в достаточной мере свободны

от элементов случайности, что является основным условием прогнозирования технических возможностей колес подвижного состава на будущее.

Вероятностно-статистические оценки опираются на эксперимент, опытные данные, систему наблюдений, а также следует отметить, что чем больше объем статистического материала, тем точнее закономерности, наблюдаемые в процессе изнашивания колесных пар. В [1;2] приводятся различные вероятностно-статистические подходы для определения законов распределения случайных величин при обработке экспериментальных данных.

Объем выборочной совокупности колесных пар для исследования процесса изнашивания зависит от ряда обстоятельств. Перечислим основные из них:

Садыкова Оксана Ильисовна, кандидат педагогических наук, доцент кафедры «Нетяговый подвижной состав» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: моделирование динамических систем в задачах железнодорожного транспорта, моделирование образовательного процесса в транспортном вузе. Автор 79 научных работ, в том числе 19 учебно-методических пособий и двух монографий.

Сергеев Константин Александрович, доктор технических наук, доцент кафедры «Нетяговый подвижной состав» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: технологическая подготовка производства вагоноремонтных предприятий. Автор 137 научных работ, в том числе двух монографий.

- специфика объекта исследования;
- ресурсы (временные, людские);
- степень точности результата, на которую рассчитывает исследователь.

Рассмотрим методы, подобранные авторами для определения законов распределения случайной величины и адаптированные для обработки измерений геометрических параметров колес вагонов (прокат, толщина гребня, крутизна гребня, толщина обода).

Был произведен замер проката колеса железнодорожных вагонов, мм, результат представили в виде табл. 1, в которой дана выборка объемом $n=30$.

Авторы предположили, что данная выборка подчинена нормальному закону распределения.

Рассмотрим метод определения закона распределения выборки, который заключается в анализе значений асимметрии A_s и эксцесса E_k . Вычислим основные параметры выборки, отвечающей за такой показатель, как прокат колеса железнодорожных вагонов, представленные в табл. 1. Получим:

$$\bar{x}_b = 0,98 \text{ — выборочное среднее;}$$

$$s^2 = 0,14 \text{ — исправленная дисперсия;}$$

$$\sigma_b^2 = 0,14 \text{ — выборочная дисперсия.}$$

Рассчитаем показатель асимметрии A_s по формуле

$$A_s = \frac{m_3}{\sigma_b^3},$$

где σ_b^3 — куб стандартного выборочного отклонения, а m_3 — центральный эмпирический момент третьего порядка. Для несгруппированной статической совокупности центральный эмпирический момент третьего порядка рассчитаем по формуле

$$m_3 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_n)^3}{n}.$$

Получим $m_3 = 0,006359$, а $\sigma_b^3 = 0,05236$.

Рассчитав показатель асимметрии получим, что $A_s = 0,1214$. Положительное значение A_s показывает, что распределение скошено вправо. Значение $A_s = 0,1214$ по модулю меньше, чем 0,25, значит асимметрия незначительна. Чем меньше по модулю A_s , тем рассматриваемое эмпирическое распределение ближе к нормальному распределению.

Рассчитаем показатель эксцесса E_k по формуле

$$E_k = \frac{m_4}{\sigma_b^4} - 3.$$

Центральный эмпирический момент четвертого порядка рассчитаем по формуле для несгруппированных данных:

$$m_4 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_n)^4}{n}.$$

Получим $m_4 = 0,023619$, а $E_k = -1,79497$. Полученный отрицательный эксцесс показывает, что распределение является более низким и положим относительно эталонного нормального распределения.

Можно сделать следующие выводы:

- рассматриваемая выборочная совокупность практически симметрична, но несколько ниже, чем нормальное распределение с параметрами $\bar{x}_b = 0,98$ и $\sigma_b^2 = 0,14$;
- выборка проката колеса железнодорожных вагонов близка к нормальному закону распределения.

Рассмотрим второй метод определения закона распределения выборки, отвечающей за показатель — прокат колеса железнодорожных вагонов проката, мм. Будем проверять гипотезу о нормальном распределении данной совокупности по критерию Пирсона.

Разобьем выборку на интервалы в количестве

$$r \approx 5 \lg(n) \approx 5 \lg(30) \approx 7.$$

Составим расчетную таблицу (табл. 2).

Найдем выборочную среднюю:

$$\bar{x}_b = \frac{1}{n} \sum x_k n_k = 0,951.$$

Таблица 1

Прокат, мм	0,47	0,48	0,55	0,54	0,64	0,65	0,68	0,78	0,81	0,84	0,88	0,9	0,92
Частота	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1

Окончание табл. 1

Прокат, мм	0,95	0,99	1,02	1,07	1,13	1,15	1,19	1,24	1,27	1,32	1,39	1,41	1,765
Частота	2	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1

Найдем выборочную дисперсию:

$$D_b = \frac{1}{n} \sum (x_k)^2 n_k - \bar{x}_b^2 = 0,089783583.$$

Найдем выборочное среднее квадратическое отклонение:

$$s = \sqrt{\frac{n}{n-1} D_b} = 0,304761495.$$

Вычислим теоретические частоты n_i , учитывая, что $n=30$, $h=0,185$, $s=0,304761495$, по формуле

$$n_i = \frac{nh}{s} \varphi(u_i).$$

Причем заметим, что

$$u_i = \frac{x_i - \bar{x}_b}{s}.$$

Составим расчетную таблицу (табл. 3).

Суммируя последний столбец табл. 3 получаем, что $\chi^2_{\text{выб}} = 5,0982$. Вычислим $\chi^2_{\text{кр}} = 6$ по табл. «Крити-

ческие точки распределения χ^2 ». Число степеней свободы равно $k=5-3=2$ (5 – число групп в выборке), а уровень значимости $\alpha=0,05$. Так как $\chi^2_{\text{выб}} > \chi^2_{\text{кр}}$, то нет оснований отвергнуть гипотезу о нормальном распределении выборки. Следовательно, такой показатель износа колеса, как прокат колеса железнодорожных вагонов, подчинен нормальному закону распределения.

Выбор перспективных информационно-статистических методов обработки данных, получаемых при эксплуатации колес подвижного состава, описание статистических методик расчета являются необходимыми в современных условиях развития железнодорожной отрасли. В процессе своего исследования авторами были использованы статистические, аналитические и графические методы. Практическая значимость исследования заключается в том, что анализ существующих информационно-статистических методов обработки данных, получаемых при эксплуатации колес подвижного состава, обоснует переход к описанию новых расчетных методик.

Таблица 2

Интервалы	(0,47; 0,655)	(0,655; 0,84)	(0,84; 1,025)	(1,025; 1,21)	(1,21; 1,395)	(1,395; 1,58)	(1,58; 1,765)
Частоты	7	4	7	6	4	1	1
Относительные частоты	0,23	0,13	0,23	0,2	0,13	0,03	0,03
Середина интервала	0,5625	0,7475	0,9325	1,1175	1,3025	1,4875	1,6725
Величина u_i	-1,28	-0,67	-0,06	0,55	1,15	1,760	2,37
$\varphi(u_i)$	0,1758	0,3187	0,3982	0,3429	0,2059	0,0848	0,0241
Теоретические частоты n_i	3,2015	5,8038	7,2516	6,2446	3,7496	1,5443	0,4389

Таблица 3

После объединения эмпирических частот n_k	n_i	$(n_k - n_i)^2$	$(n_k - n_i)^2 / n_i$
7	3,2015	14,4286	4,5068
4	5,8038	3,2537	0,5606
7	7,2516	0,0633	0,0087
6	6,2446	0,0598	0,0096
6	5,7328	0,0714	0,0125
			5,0982

На основе проведенного анализа установлено, что рассмотренные методы определения законов распределения случайной величины при ряде ограничений на объемы выборочных совокупностей [1;2] могут найти применение в задачах статистического прогнозирования технического состояния вагонов в процессе эксплуатации. 

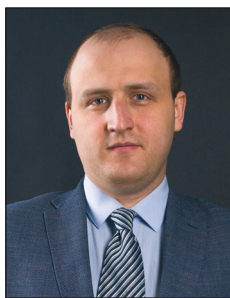
Литература

1. Анисимов, П.С. Испытания вагонов : монография / П.С. Анисимов. — Москва: Маршрут, 2004. — 196 с. — ISBN 5-89035-152-4. — Текст: непосредственный.
2. Шубин, Р.А. Надежность технических систем и техногенный риск: учебное пособие для студентов 3, 4 курсов дневного отделения специальности 280102 «Безопасность технологических процессов и производств» / Р.А. Шубин; М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное гос. бюджетное образовательное учреждение высш. проф. образования «Тамбовский гос. технический ун-т». — Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012. — 79 с. — ISBN 978-5-8265-1086-5. — Текст: непосредственный.
3. Гмурман, В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учебное пособие для студентов вузов / В.Е. Гмурман. — 9-е изд., стер. — Москва: Высшая школа, 2003. — 479 с. — ISBN 5-06-004214-6. — Текст: непосредственный.
4. Сергеев, К.А. Математические модели структурного анализа технологических процессов вагоноремонтного производства / К.А. Сергеев. — Текст: непосредственный // Наука и техника транспорта. — 2005. — №3. — С. 28—36.
5. Горлач, Б.А. Теория вероятностей и математическая статистика: учебное пособие / Б.А. Горлач. — Санкт-Петербург [и др.]: Лань, 2013. — 319 с. — ISBN 978-5-8114-1429-1. — Текст: непосредственный.
6. Сажин, Ю.В. Анализ временных рядов и прогнозирование: учебник / Ю.В. Сажин, А.В. Катынь, Ю.В. Сарайкин. — Саранск: Изд-во Мордов. Ун-та, 2013. — 132 с. — Текст: непосредственный.
7. Сергеев, К.А. Ультразвуковой контроль колёсных пар и безопасность движения поездов / К.А. Сергеев, В.В. Готаулин. — Текст: непосредственный // Безопасность движения на железнодорожном транспорте: сборник научных статей / Поволжский филиал РГОТУПС; под ред. А.А. Сатарова. — Саратов: НАДЕЖДА, 2002. — С. 49—51.
8. Конструирование и расчет вагонов: учебник / В.В. Лукин, П.С. Анисимов, В.Н. Котуранов [и др.]; под ред. П.С. Анисимова. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва: ФГОУ «Учебно методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2011. — 688 с. — ISBN 978-5-9994-0060-4. — Текст: непосредственный.
9. Конструирование и расчет вагонов: учебное пособие / В.В. Лукин, Л.А. Шадур, В.Н. Котуранов, А.А. Хохлов; под редакцией В. В. Лукина. — Москва: 2000. — 727 с. — ISBN 5-89035-024-2. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/60024> (дата обращения: 19.10.2022).
10. ГОСТ 9238- 2013. Габариты железнодорожного подвижного состава и приближения строений = Construction and rolling stock clearance diagrams: национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 22 ноября 2013 г. № 1608-ст: дата введения 2014-07-01 / разработан Открытым акционерным обществом «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (ОАО «ВНИИЖТ»). — Москва: Стандартинформ, 2014. — Текст: непосредственный.

КОМПОНОВКА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ХОЗЯЙСТВА ПЕРСПЕКТИВНЫХ ГРУЗОВЫХ ДЕРЕВЕНЬ



С.П. Вакуленко



Д.Ю. Роменский

В статье рассмотрен передовой опыт наиболее прогрессивного формата развития транспортно-логистической инфраструктуры — реализация комплексных девелоперских проектов промышленных территорий в формате грузовой деревни. Разработан типовой мастер-план грузовой деревни с определением перспективных компоновочных решений для ее железнодорожной инфраструктуры.

Ключевые слова: транспортно-логистический центр, логистический центр, контейнерный терминал, подъездной путь, грузовая деревня

EDN: JWAMKZ

Необходимость формирования сети транспортно-логистических центров указывается одним из ключевых направлений развития транспортно-логистического сектора России согласно положениям утвержденной в 2021 году Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года. Среди важных принципов развития грузовых перевозок, в том числе транзитных, транспортная стратегия включает в себя принцип повышения эффективности и расширения комплекса логистических услуг, который подразумевает в том

числе развитие сети современных логистических центров. Предусматривается строительство сети опорных (узловых) логистических центров, а также сети вспомогательных логистических центров (сателлитов).

Эволюционное развитие транспортно-логистической системы связано с усложнением процессов управления логистическими потоками и с необходимостью создания все новой, более совершенной логистической инфраструктуры. С развитием уровня логистического аутсорсинга (*pl* — модальность), возрастает масштаб и перечень затрагиваемых отраслей

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.

Роменский Дмитрий Юрьевич, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Управление транспортным бизнесом и интеллектуальные системы» Института управления и цифровых технологий Российского университета транспорта (ИУЦТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: железнодорожная грузовая и пассажирская логистика, пассажирские перевозки, контейнерные перевозки. Автор 47 научных работ.

Калинин Кирилл Антонович, старший преподаватель кафедры «Управление транспортным бизнесом и интеллектуальные системы» Института управления и цифровых технологий Российского университета транспорта (ИУЦТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: организация скоростного и высокоскоростного движения, моделирование работы транспортных систем, развитие пассажирской и грузовой инфраструктуры, внедрение инновационных технологий на железнодорожном транспорте. Автор 34 научных работ.

Роменская Мария Владимировна, ассистент кафедры «Управление транспортным бизнесом и интеллектуальные системы» Института управления и цифровых технологий Российского университета транспорта (ИУЦТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: интермодальные грузовые перевозки, пассажирские перевозки в междугороднем сообщении. Автор 16 научных работ.

экономики, которые непосредственно подвержены влиянию логистического терминала.

Развитие теории и практики транспортной логистики в плане терминального обслуживания началось с решения транспортных задач промышленными предприятиями собственными силами. Производство было неразрывно связано с транспортировкой продукции и сырья. По мере развития транспорта, начал зарождаться логистический аутсорсинг как явление, а потом во второй половине XX века появился и сам термин.

Аутсорсинг в вопросе перевалки грузов с одного вида транспорта на другой и в сфере оказания дополнительных услуг развивался со стороны портов и железнодорожных станций, откуда грузы перевозились гужевым, а затем и автомобильным транспортом. В начале XX века в городах начали формироваться первые крупные товарные станции, которые являлись пунктами погрузки и выгрузки грузов на железнодорожный транспорт.

По мере развития городов, промышленности и транспортной системы, в первой половине XX века начали появляться специализированные транспортные предприятия локального или государственного масштаба, занимающиеся исключительно транспортно-логистическим обслуживанием, в том числе обслуживанием крупных промышленных комплексов и промышленных зон городов.

Наиболее прогрессивным видом транспортного обслуживания крупных промышленных комплексов в условиях СССР стало появление механизированных автоколонн (автопарков, обслуживающих локальный уровень автомобильных перевозок), а также так называемых предприятий промышленного железнодорожного транспорта (ППЖТ) — самостоятельных владельцев железнодорожной инфраструктуры (являющихся перевозчиками на сети подъездных путей промышленного комплекса), которые обслуживали промышленность на территории своей работы.

Необходимость обеспечения эффективного взаимодействия видов транспорта по мере роста запросов со стороны грузоотправителей уже в рыночных условиях привела к развитию нового вида логистического бизнеса — отдельных специализированных логистических терминалов. Их появление вывело качество оказания логистических услуг на новый уровень. В транспортной терминологии происходит некоторое замещение и даже путаница между терминами «мультимодальный комплекс», «грузовой терминал» и «терминально-логистический центр» [1–3]. Под ними понимаются схожие логистические объекты, оказывающие широкий круг услуг логистического аутсорсинга (3^{pl}-уровень). В процессе разви-

тия таких комплексов учитываются интересы различных бизнес-структур на стыке транспорта, торговли и производства. Компании, занятые в этом бизнесе, стремятся увеличить свою выручку путем выхода на смежные рынки основных и дополнительных логистических услуг, а последующее развитие мультимодальных перевозок и стремительное развитие перевозок интермодальной транспортной тары (контейнеров, съемных кузовов) привело к появлению терминально-логистических комплексов, обеспечивающих полный спектр логистических услуг по перевозке, перевалке и обработке материальных потоков.

На современном этапе развития логистики происходит формирование новой, еще более сложной логистической инфраструктуры, позволяющей оказывать клиентам не только логистические, но и таможенные, социальные, консалтинговые и девелоперские услуги, отвечающие принципам 4 уровня логистического аутсорсинга предприятий (4^{pl} логистика), когда логистические провайдеры распространяют сферу своей деятельности и на внутренние логистические процессы своих клиентов. Подобные комплексы являются наиболее прогрессивными для России проектами развития промышленности, и их развитие поддерживается государством на региональном и федеральном уровнях посредством прямого субсидирования, предоставления налоговых льгот, льгот на коммунальные услуги и других мер экономического стимулирования деятельности бизнеса. Развитие указанных комплексов позволяет сформировать вокруг крупных агломераций логистический каркас, обеспечивающий устойчивое развитие региона [4;5] и способствующий развитию железнодорожных грузоперевозок, уменьшению автомобильного плеча подвоза грузов, снижению вредного экологического воздействия от грузоперевозок.

В международной литературе можно встретить различные наименования промышленно-логистических комплексов 4^{pl}-уровня, выполняющих сходные задачи по концентрации на одной территории транспортно-ориентированного бизнеса. Вместе с проектом «Freight Village Vorsino» в русский язык пришел именно термин «Грузовая деревня». Ориентируясь на международный опыт [6–11] и положения транспортной стратегии, понятие «грузовая деревня» можно определить так: формат организации узлового мультимодального транспортно-логистического центра с большой степенью интеграции транспортных и вне-транспортных услуг, сформированный на определенной территории, в пределах которой осуществляется вся деятельность, связанная с транспортировкой и переработкой логистических потоков (в т.ч. связанная с определенными этапами производства). Это деятельность, связанная главным образом с рас-

пределением товаров, обеспечением внутренних и международных перевозок, осуществляемая различными компаниями-операторами (их также называют провайдерами логистических услуг). Эти операторы могут быть как собственниками, так и арендаторами зданий и сооружений (складов, грузовых площадок, товарных бирж, центров переработки товаров, офисов, автостоянок и других инфраструктурных комплексов), которые построены непосредственно на территории грузовой деревни. Для обеспечения наилучших условий работы мультимодального логистического центра [12–18] к грузовой деревне должны примыкать несколько различных видов транспорта. Считается, что, как и современный мультимодальный терминально-логистический центр, грузовая деревня должна обеспечивать наилучшие условия для развития мультимодальных перевозок и взаимодействия видов транспорта — как минимум трех.

Описанный выше процесс эволюции теоретических и практических знаний о комплексных логистических объектах позволяет сделать вывод о том, что в настоящее время именно грузовые деревни и их предшественники — терминально-логистические центры, являются наиболее прогрессивным форматом сухопутных логистических комплексов, концентрирующих в себе все наиболее современные представления о работе с логистическими потоками и с производством промышленной продукции. В соответствии с указанными принципами произведена классификация этапов развития логистических комплексов, приведен-

ная на рис. 1. На рис. 1 представлено идеологическое соответствие уровней логистического аутсорсинга (*pl*-модальности), развитие представления о взаимодействии терминального бизнеса и производства, а также уровня вовлеченности в логистику различных заинтересованных лиц.

Практика развития грузовых деревень на примере европейских комплексов показывает, что крупнейшие европейские грузовые деревни ориентированы как правило на работу с автомобильным и железнодорожным транспортом. Конкурентным преимуществом грузовой деревни является наличие собственного речного порта или грузового терминала в ближайшем аэропорту. Так, например, испанский логистический терминал в городе Сарагоса «Plaza Logistica Zaragoza» расположен на границе города и использует возможности инфраструктуры автомобильного, железнодорожного и воздушного транспорта. Территория грузовой деревни в Сарагосе поделена на кластеры, передаваемые участникам логистического процесса под застройку или в аренду. Схема логистического терминала Сарагосы с обозначением функциональных зон приведена на рис. 2.

Грузовая деревня является своего рода девелоперским проектом (проектом развития недвижимости), реализуемым в течение длительного времени компанией-автором проекта. За годы развития проекта он естественным образом может претерпевать существенную трансформацию от оригинальной идеи до окончательной реализации. В реальных условиях у

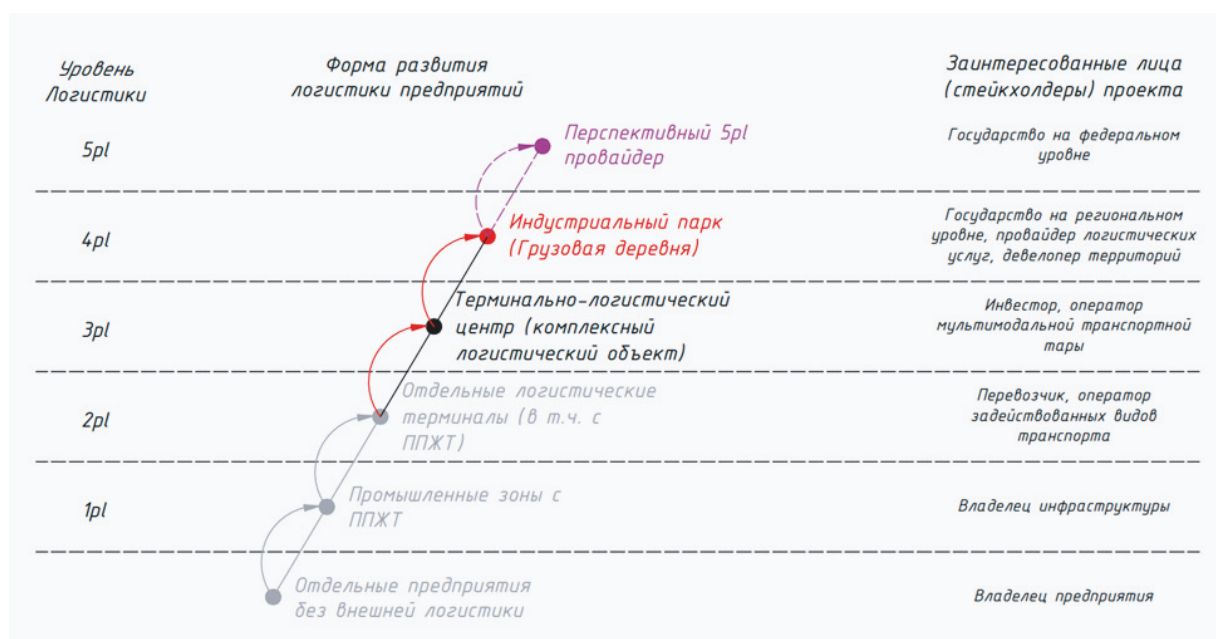


Рис. 1. Эволюция развития теории и практики работы логистической инфраструктуры

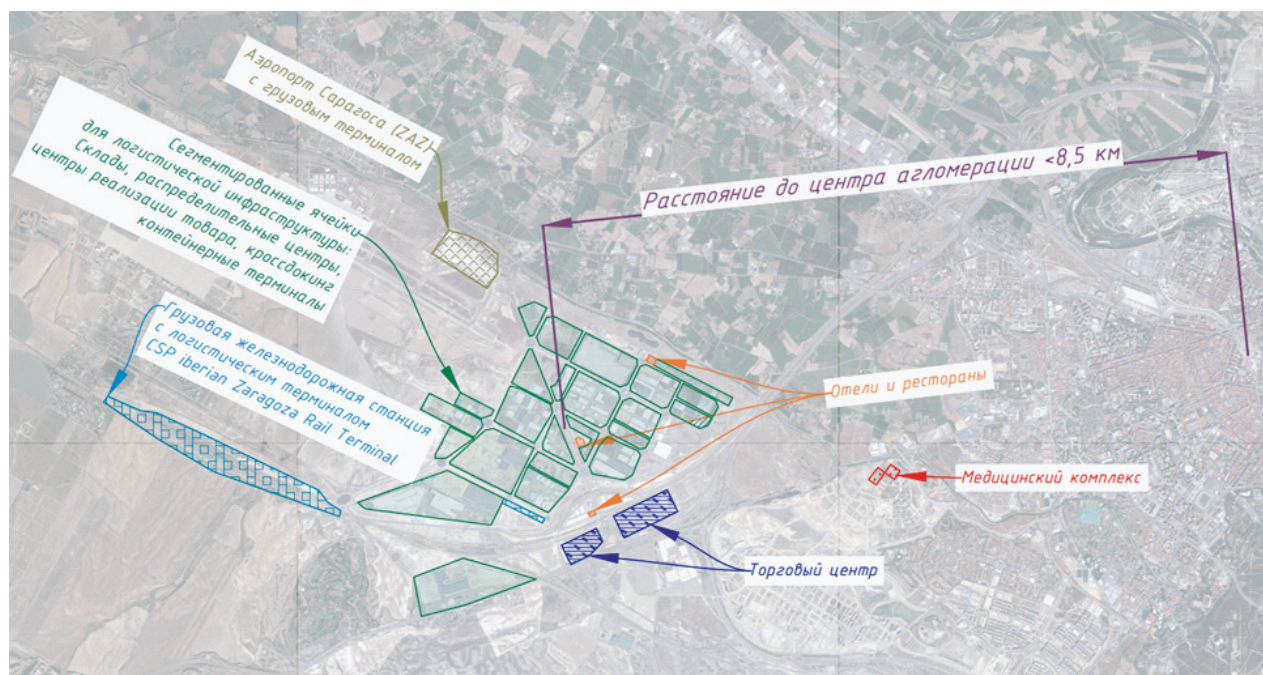


Рис. 2. Функциональная схема логистического терминала Сарагоса

грузовой деревни может меняться список резидентов (а вместе с ним и специализация), может перепроектироваться транспортная инфраструктура, может поменяться политика стимулирования различных отраслей экономики и т.д. В связи с этим проекты грузовых деревень должны быть гибкими и адаптивными к подобным изменениям при сохранении общей концепции грузовой деревни, которая включает в себя:

- терминальную инфраструктуру различных видов транспорта (интермодальный терминал, аэродромный комплекс, портовую инфраструктуру и причалы);
- земли промышленного назначения для строительства производственных объектов;
- офисные и складские объекты;
- автомобильные дороги, железные дороги и коммунальное хозяйство;
- сопутствующие логистические объекты (таможенный пост, деповское хозяйство, мойки для подвижного состава и др.).

Вопросы проектирования и эксплуатации большинства этих объектов по отдельности выходят за рамки предмета данного исследования, но рассматривая роль и значимость железнодорожного транспорта для грузовой деревни, можно более подробно остановиться на компоновке основных элементов железнодорожной инфраструктуры грузовой деревни, так как этот вопрос пока недостаточно широко отражен в научной литературе. На рис. 3 представлено авторское видение мастер-плана грузовой деревни,

ориентированной на обслуживание значительных грузопотоков железнодорожного транспорта.

Можно выделить следующие важные отличия предлагаемого в настоящем исследовании подхода к использованию железнодорожного транспорта в составе грузовой деревни:

- интермодальный терминал проектируется сквозным для задействования его в системе ускоренных грузовых перевозок как промежуточного пункта маршрутов транзитных поездов, так и как начальнo-конечной станции таких поездов [19–23];
- интермодальный терминал проектируется как место осуществления грузосортировочных операций с интермодальными транспортными единицами;
- для большинства земельных участков, предназначенных под промышленную застройку некрупными предприятиями, предусматривается возможность подвода пути необщего пользования;
- работа с инертными строительными грузами выводится на отдельную площадку;
- для земельных участков, предназначенных под промышленную застройку крупными предприятиями, предусматривается обязательный подвод пути необщего пользования.

Таким образом, железнодорожная инфраструктура грузовой деревни представлена несколькими ключевыми комплексами, специализированными на различных задачах: парком «малые промышленные предприятия», парком «контейнерный», парком



Представленные в статье положения развивают концепцию грузовой деревни как комплексного транспортно-ориентированного проекта промышленной застройки территорий. Разработанный мастер-план грузовой деревни и ее железнодорожного хозяйства, ориентированный на максимизацию производительности железнодорожного транспорта может использоваться при проектировании территорий новых грузовых деревень и промышленных парков при практической реализации положений Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года, с прогнозом на период до 2035 года.

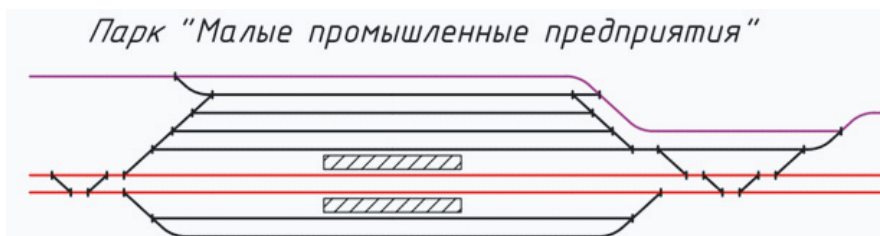


Рис. 4. Схема путевого развития парка «Малые промышленные предприятия»

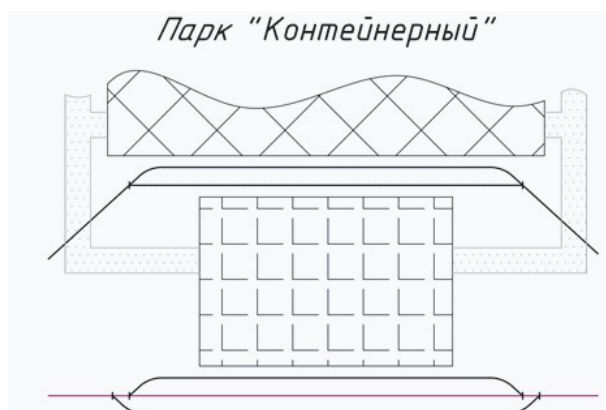


Рис. 5. Схема путевого развития парка «Контейнерный»

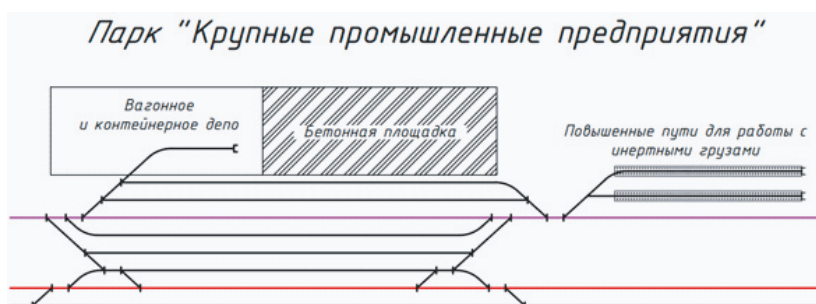


Рис. 6. Схема путевого развития парка «Крупные промышленные предприятия»

Литература

1. Куренков, П.В. Симплициальные и мультиплициальные комплексы в мультимодальных транспортных системах / П.В. Куренков. — Текст: непосредственный // Интеллектуальные технологии на транспорте. — 2021. — № 1(25). — С. 21–34.
2. Логистические технологии грузовых перевозок в крупных транспортных холдингах: монография / Н.Е. Лысенко, Н.Ю. Лахметкина, И.В. Щелкунова [и др.]. — Москва: Общество с ограниченной ответственностью «Издательство «КноРус», 2020. — 160 с. — ISBN 978-5-4365-5779-3. — Текст: непосредственный.
3. Стуров, Е.В. Терминально-складской комплекс расширяет круг услуг. — Текст: непосредственный / Е.В. Стуров // Железнодорожный транспорт. — 2016. — № 9. — С. 14–18.
4. Лахметкина, Н.Ю. Транспортно-логистические объекты грузового каркаса Москвы / Н.Ю. Лахметкина, Н.Ю. Сысоев, Д.Г. Бабин. — Текст: непосредственный // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. — 2018. — № 12. — С. 34–36.
5. Московский транспортный узел: перспективы развития: монография / Вакуленко С.П., Колин А.В., Роменский Д.Ю. [и др.]; под ред. канд. техн. наук, проф. С.П. Вакуленко; Российская академия наук, РУТ (МИИТ). Часть III. Структура грузопотоков различных видов транспорта и основные сценарии развития грузовой работы. — Москва: ВИНТИ РАН, 2020. — 208 с. — ISBN 978-5-902928-88-1. — Текст: непосредственный.
6. Ozceylan, E., Erbaş, M., Tolon, M., Kabak, M., Durgut, T. (2016). Evaluation of freight villages: A GIS-based multi-criteria decision analysis. *Computers in Industry*, 76, 38–52. doi:10.1016/j.compind.2015.12.003.
7. Ballis, A. (2006). Freight Villages: Warehouse Design and Rail Link Aspects. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1966, 27–33. doi:10.3141/1966-04.
8. Wu, J., & Haasis, H.-D. (2013). Converting knowledge into sustainability performance of freight villages. *Logistics Research*, 6(2-3), 63–88. doi:10.1007/s12159-013-0098-0.
9. PRATELLI, A., VAN DUIN, R., SOULEYRETTE, R., BIANCHINI, B., MARIGO, D., BROCCCHINI, L. and TENG, W., 2021. Dry port network model: Best practices in the EU with notes from the USA. *International Journal of Transport Development and Integration*, 5(3), pp. 217–230.
10. YANG, C., TAUDES, A. and DONG, G., 2017. Efficiency analysis of European Freight Villages: three peers for benchmarking. *Central European Journal of Operations Research*, 25(1), pp. 91–122.
11. BAYDAR, A.M., SÜRAL, H. and ÇELİK, M., 2017. Freight villages: A literature review from the sustainability and societal equity perspective. *Journal of Cleaner Production*, 167, pp. 1208–1221.
12. Вакуленко, С.П. Структурно-композиционный подход к управлению цепью поставок: монография / С.П. Вакуленко, Ю.В. Пересветов. — Москва: Общество с ограниченной ответственностью «Научно-издательский центр ИНФРА-М», 2020. — 60 с. — (Научная мысль). — ISBN 978-5-16-016308-6. — DOI 10.127-37/1095051. — Текст: непосредственный.
13. Куренков, П.В. Экономические аспекты синхромодальных перевозок / П.В. Куренков, Д.А. Преображенский. — Текст: непосредственный // Развитие экономической науки на транспорте: экономическая основа будущего транспортных систем : сборник научных статей VII международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 19 декабря 2019 года / Под ред. Н.А. Журавлевой. — Санкт-Петербург: Общество с ограниченной ответственностью «Институт независимых социально-экономических исследований - оценка», 2019. — С. 443–452.
14. Куренков, П.В. Политранспортная логистика: от интер- и мультимодальности к синхро- и ко-модальности через а-модальность / П. В. Куренков, Д. А. Преображенский. — Текст: непосредственный // Логистика: современные тенденции развития: Материалы XVIII Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 04–05 апреля 2019 года. — Санкт-Петербург: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Государственный университет морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова, 2019. — С. 283–289.
15. Основные этапы и перспективы развития логистических перевозок в смешанных сообщениях в СССР и РФ / А.Ю. Болтышева, Н.В. Лисаева, Д.С. Шапкин, П.В. Куренков. — Текст: непосредственный // Логистика — евразийский мост: Материалы XIII Международной научно-практической конференции, Красноярск, 25–29 апреля 2018 года. — Красноярск: Красноярский государственный аграрный университет, 2018. — С. 26–32.

16. Логистические термины и их употребление / П. Куренков, А. Астафьев, Д. Преображенский [и др.]. — Текст: непосредственный // Логистика. — 2018. — № 11(144). — С. 46–50.
17. Синхромодальные и ко-модальные перевозки, а-модальный букинг и Тримодальные терминалы как перспективные направления развития транспортной логистики / П. Куренков, Д. Преображенский, А. Астафьев [и др.]. — Текст: непосредственный // Логистика. — 2018. — № 12(145). — С. 34–39.
18. Себестоимость интермодальных перевозок: учебник / М.В. Бузулуцкая, Т.В. Горбачик, Н.В. Душечкина [и др.]; под ред Л.В. Шкуриной. — Москва: Федеральное государственное бюджетное учреждение дополнительного профессионального образования «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2020. — 287 с. — ISBN 978-5-907206-28-1. — Текст: непосредственный.
19. Схемные решения контейнерных площадок для обслуживания поездов сервиса «холодный экспресс» / С.П. Вакуленко, М.И. Мехедов, А.М. Насыбуллин [и др.]. — Текст: непосредственный // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. — 2021. — №9. — С. 19–25. — DOI 10.36535/0-236-1914-2021-09-3.
20. Перевозка крупнотоннажных контейнеров / С.П. Вакуленко, П.В. Куренков, Д.Ю. Роменский [и др.]. — Текст: непосредственный // Железнодорожный транспорт. — 2021. — №5. — С. 14–18.
21. Вакуленко, С.П. Ускоренные грузовые перевозки железнодорожным транспортом / С.П. Вакуленко, М.Н. Прокофьев, Н.Ю. Евреенова. — Москва: Российский университет транспорта (МИИТ), 2021. — 234 с. — ISBN 978-5-7876-0394-1. — Текст: непосредственный.
22. Вакуленко, С.П. Взаимодействие видов транспорта в единой транспортной системе: Учебное пособие / С.П. Вакуленко, Н.Ю. Евреенова, М.Н. Прокофьев; Российский университет транспорта (МИИТ). — Москва: Российский университет транспорта (МИИТ), 2021. — 121 с. — ISBN 978-5-7876-0393-4. — Текст: непосредственный.
23. Новый взгляд на технологию контейнерных перевозок железнодорожным транспортом / С.П. Вакуленко, А.М. Насыбуллин, Л.Р. Айсина [и др.]. — Текст: непосредственный // Техника и технология транспорта. — 2022. — № 1(24). — С. 1–5.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ



В.А. Бугреев



К.С. Моренко

Проанализированы направления существующих исследований в области надежности магистральных и распределительных электрических сетей. Рассмотрены технические и организационно-технические аспекты повышения надежности электроснабжения. Дана классификация средств повышения надежности электроснабжения потребителей. Изучены факторы, влияющие на надежность электроснабжения и обеспеченность ресурсами на предприятии.

Ключевые слова: надежность электроснабжения, потребители электрической энергии, качество электрической энергии

EDN: LJDNLY

Надежность электроснабжения потребителей — свойство электрической сети обеспечивать электрической энергией потребителей в любой момент времени в нужном количестве и необходимого качества.

Вопросы надежности и перспектив надежности потребителей изучаются достаточно давно [1].

В настоящее время потребители предъявляют более высокие требования к качеству электроснабжения и эти требования необходимо выполнять путем внедрения рациональных схем электроснабжения,

модернизации оборудования и организационных мероприятий, позволяющих снизить время простоя при повреждениях и ремонтах. Предварительно необходимо выработать подход к оценке надежности, на основании которого будет оцениваться будущий эффект. Существует большое количество подходов к комплексной оценке надежности электроснабжения [2;3].

На надежность электроснабжения влияет множество факторов, среди которых: высокие значения гармонических составляющих, короткие замыкания

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

Моренко Константин Сергеевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник Федерального научного агроинженерного центра ВИМ. Область научных интересов: возобновляемая энергетика. Автор 40 научных работ, в том числе одной монографии. Имеет два патента на изобретения.

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

Чехов Антон Павлович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электрификация и электроснабжение» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: электрические машины, информационные технологии в производстве. Автор 45 научных работ, в том числе двух монографий и семи учебных пособий. Имеет три патента на изобретения.

Чехов Павел Антонович, аспирант кафедры «Электрификация и электроснабжение» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: информационные технологии в системе «РЖД». Автор пяти научных работ, в том числе одного учебного пособия.

и снижения напряжения. Отдельные исследования посвящены влиянию показателей нормальных режимов работы сети на общую надежность ее работы. Подтверждается необходимость использования комплексного информационного подхода для прогнозирования режимов работы и обеспечения надежности [4].

Материалы и методы

Для обеспечения надежного электроснабжения в электроснабжающих организациях создаются информационные, транспортные системы, системы связи и другие необходимые структуры. Такие сети получили название умных сетей [5]. Рациональное размещение этих структур в пределах предприятия представляет собой огромную работу, направленную на поддержание работоспособности, надежности и эффективности снабжения электрической энергией потребителей.

Современные методы разработки и эксплуатации электрических сетей предполагают применение математического аппарата для количественной оценки надежности, позволяющей спроектировать и эксплуатировать систему в рациональных режимах с точки зрения экономической и энергетической эффективности [6].

Используемые в теории надежности математические методы предназначены для расчетов отдельных узлов электрических сетей. Они не всегда учитывают условия эксплуатации отдельных устройств [7].

Чаще всего системы электроснабжения представляют собой рассредоточенные объекты, взаимодействие которых обеспечивается средствами связи, транспортными коммуникациями, расположением и назначением ремонтно-эксплуатационных баз и бригад. Отдельно изучается надежность сетей с распределенными генераторами [8].

Средства надежного электроснабжения условно можно разделить на технические и организационно-технические (рисунок).

Технические методы предполагают дополнительные материальные вложения в электрооборудование, что означает строительство новых объектов и реконструирование старых, а также строительство дополнительных объектов для обеспечения необходимого уровня надежности [7;9].

Организационно-технические мероприятия предполагают квалифицированное управление и рациональную организацию работ, проводимых эксплуатирующими и обслуживающими организациями.

Результаты и обсуждение

Важным составляющим в повышении надежности воздушных линий электропередач является срок службы опор. В европейских странах для опор линий

электропередач широко применяются деревянные опоры и по стоимости такие опоры конкурируют с железобетонными. В России существуют заводы, которые выпускают деревянные пропитанные опоры для линий электропередач напряжением до 35 кВ. Пропитка осуществляется составом ССА производства английской фирмы Rentokil Ltd. и выполняется в автоклавах. Срок службы пропитанной древесины составляет 40–45 лет в контакте с почвой в условиях умеренного климата [7]. Производятся исследования по оптимальному проектированию надежных опор ВЛ [10].

Еще одна важная составляющая надежности линий электропередач — это провода. Использование голого провода для воздушных линий не всегда позволяет получить необходимое значение надежности системы. Опыт применения изолированных проводов в энергосистеме Северо-Запада России показал полное отсутствие отключений линий из-за перекрытия проводов падающими деревьями, схлестывания проводов, перекрытия на поросль. Оказалось, что в случае падения деревьев линия может нормально работать в течение нескольких месяцев. Это позволяет убирать деревья в плановом порядке [9].

Снег и гололед не вызывают повреждений линий. Стоимость провода, отвечающего требованиям гололедной нагрузки не более чем в полтора раза выше, что в условиях эксплуатации достаточно быстро окупается.

Применение изолированных проводов снижает требование к чистоте изоляторов, что также увеличивает надежность системы.

Трансформаторы и трансформаторные подстанции имеют достаточно высокий технический уровень исполнения и являются весьма надежным звеном системы при соблюдении условий эксплуатации большинства имеют срок службы более 25 лет. При этом около 32% подстанций 10/0,4 кВ в условиях эксплуатации загружены только на 40%, что приводит к нерациональному расходу электрической энергии [11].

Наиболее повреждаемыми элементами подстанций являются распределительные устройства. В период межсезонья возникает высокая вероятность образования росы на изоляторах, что приводит к повреждению и распределительных устройств.

Высокая повреждаемость разъединителей в условиях эксплуатации может быть снижена путем частых технических обслуживаний и ремонтов, что трудно осуществимо в условиях недостатка материальных и людских ресурсов.

Одним из способов повышения надежности электроснабжения является сетевое резервирование. В настоящее время около 85% подстанций 110/35 кВ

оснащено сетевым резервированием в виде двухстороннего питания. Около 7% сетей напряжением 6–10 кВ оснащены автоматическим сетевым резервом.

Системами телесигнализации оснащены практически 100% сетей напряжением 110 кВ. В сетях более низкого напряжения 0,38–10 кВ менее 1% подстанций имеют телесигнализацию и менее 0,1% имеют телеуправление. В то же время доказано, что использование датчиков на линии может значительно повысить надежность электроснабжения [12].

В настоящее время уровень автоматизации в электрических сетях достаточно низкий, для принятия решения о возможных областях применения и эффек-

тивности использования средств автоматизации необходимо провести обобщающие исследования. Такие исследования позволят разработать более эффективные конструкции средств и устройств автоматизации. Для комплексной автоматизации необходимо учитывать возможно большее количество факторов, что позволит получить экономический эффект от внедрения таких устройств. Для проведения теоретического исследования необходима математическая модель, позволяющая сделать анализ системы с учетом возможностей эксплуатации. Важно использовать комплекс средств автоматизации, поскольку по отдельности эти средства могут давать существенно меньший эффект.



Рисунок. Классификация средств обеспечения надежности электроснабжения

В качестве защитных устройств в сети 0,38 кВ используются предохранители и автоматические выключатели. В сети 6–35 кВ для этого применяются электромеханические реле с зависимой от тока выдержкой времени.

Большая часть ныне эксплуатируемых устройств релейной защиты выполнена на базе электромеханических реле, доля устройств на микроконтроллерах не превышает 1%. При этом более половины устройств уже отработали свой ресурс. Из-за их старения увеличивается разброс характеристик, что ставит под угрозу надежность электроснабжения и качество электрической энергии, а также увеличивает затраты на обслуживание. Количество случаев неправильной работы этих устройств составляет около 0,7%, что тоже увеличивает затраты на обслуживание. Релейная защита от однофазных замыканий на землю действует только на сигнал.

Обеспечение текущими запасами в электрических сетях зачастую отсутствует или недостаточно из-за нехватки материальных средств [13].

Выводы

Рациональная организация поиска повреждений с применением технических средств позволяет значительно ускорить поиск повреждений. Необходимо иметь в виду, что использование приборов в электрических сетях по ряду причин (финансовых и невысокой эффективности использования) ограничено [14].

Работа бригад будет эффективна при условии достаточно высокого уровня квалификации персонала и обеспеченности ресурсами. Все перечисленное говорит о необходимости совершенствования системы и структур электрических сетей.

Необходимо проводить обобщающие исследования вопроса надежности, принимая во внимание не только факторы отказов электроснабжения, но и отклонений от нормального режима, обеспеченности организаций материальными и человеческими ресурсами для выполнения работ соответствующей квалификации, рациональности и эффективности организационных процессов предприятий. 

Литература

1. Billinton R., Allan R.N. Power-system reliability in perspective // *Electronics and Power*. – 1984. – Т. 30, №3. – С. 231–236.
2. Gibadullin A.A. Assessment of the level of stability and reliability of the electric power complex // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – IOP Publishing, 2020. – Т. 837, №1. – С. 012007.
3. Byk F., Myshkina L., Khokhlova K. Power supply reliability indexes // *International Conference «Actual Issues of Mechanical Engineering» 2017 (AIME 2017)*. – Atlantis Press, 2017.
4. Zatsepina V.I., Zatsepin E.P. Reliability of power supply systems under the influence of negative factors // *2017 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM)*. – IEEE, 2017. – С. 1–4.
5. Fang X. et al. Smart grid—The new and improved power grid: A survey // *IEEE communications surveys & tutorials*. – 2011. – Т.14, №4. – С. 944–980.
6. Shpiganovich A., Zatsepina V., Stepanov V. Power-supply systems reliability control // *EAI endorsed transactions on energy web*. – 2018. – Т.5, №19.
7. Васильев, А.П. Средства обеспечения надежности электроснабжения потребителей / А.П. Васильев, А.Г. Турлов. – Текст: непосредственный // *Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики*. – 2006. – №3–4. – С. 19–35.
8. Shi W., Song P., Liu C. Power supply reliability of distribution network including distributed generation [J] // *East China Electric Power*. – 2007. – Т.35, №7. – С. 37–41.
9. Пухальская, О.Ю. Повышение надежности электроснабжения потребителей сельскохозяйственного назначения за счёт применения покрытых проводов на линиях напряжением 10 кВ / О.Ю. Пухальская, К.М. Медведев. – Текст: непосредственный // *Агротехника и энергообеспечение*. – 2018. – №2 (19). – С. 53–59.

10. Mathakari S. et al. Reliability based optimal design of electrical transmission towers using multi objective genetic algorithms //Computer Aided Civil and Infrastructure Engineering. —2007. —Т. 22 , №4. —С. 282—292.
11. Будзко, И.А. Электроснабжение сельского хозяйства: учебник для студентов вузов по специальности 311400 «Электрификация и автоматизация сельского хозяйства» / И.А. Будзко, Т.Б. Лещинская, В.И. Сукманов. —Москва: Колос, 2000. —535 с. —ISBN 5-10-003172-7. —Текст: непосредственный.
12. Yang Y. Power line sensor networks for enhancing power line reliability and utilization: дис. —Georgia Institute of Technology, 2011.
13. Опыт эффективного повышения надежности электроснабжения сельских потребителей / Р.В. Солопов, В.П. Кавченков, Л.И. Долецкая, А.И. Магон. —Текст: непосредственный // Успехи современной науки. —2017. —Т.1, №5. —С. 175—179.
14. Беликов, Р.П. Использование средств контроля и коммутации для дистанционного отыскания и устранения повреждений применительно к разветвленным электрическим сетям 6(10) кВ / Р.П. Беликов, И.Н. Фомин. —Текст: непосредственный // Агротехника и энергообеспечение. —2017. —№4 (17). —С. 77—86.

ИССЛЕДОВАНИЕ АВАРИЙНЫХ РЕЖИМОВ МАНЕВРОВОГО СОУДАРЕНИЯ СЦЕПОВ ВАГОНОВ

В статье проводится исследование процесса роспуска вагонов с сортировочных горок при различных режимах. Разрабатываются математическая и компьютерная модели. Проводится эксперимент имитационного моделирования. Даются рекомендации по повышению безопасности технологических операций на сортировочных горках.

Ключевые слова: динамика вагона, маневровое соударение, аварийный режим, имитационное моделирование, автосцепное устройство

EDN: NJHMDS



Г.И. Петров



С.В. Беспалько

В семидесятых годах XX века сотрудниками Московского института инженеров транспорта (МИИТ) был проведен ряд испытаний, целью которых было определение безопасных режимов соударения и аварийного поведения конструкций вагонов. В результате были получены данные, ставшие основой для ряда научных статей [1]. Также результатом проведения этих испытаний стал разработанный в последствии комплекс устройств защиты котлов цистерн, ориентированный на недопущение чрезмерно опасных

повреждений котла в случае возникновения аварийных ситуаций.

В настоящее время проблема обеспечения безопасности при эксплуатационных режимах требует дополнительного, более глубокого анализа. В связи с возросшим потоком контейнерных перевозок требования к технологическим операциям роспуска необходимо дополнить положениями, взятыми из соответствующих технических условий [5]. К числу дополнительных ограничений должен быть отнесен лимит уровня про-

Петров Геннадий Иванович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Вагоны и вагонное хозяйство» Института транспортной техники и систем управления Российского университета транспорта (ИТТСУ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: динамика и прочность вагонов, математическое и компьютерное моделирование, обеспечение безопасности подвижного состава железных дорог, технологии производства и ремонта вагонов. Автор более 50 научных работ.

Беспалько Сергей Валерьевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» Института транспортной техники и систем управления Российского университета транспорта (ИТТСУ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: экологическая безопасность, оценка рисков, парниковые газы, эксергетический анализ, обеспечение безопасности подвижного состава железных дорог, системы экологического менеджмента. Автор более 90 научных работ.

Сергеев Иван Константинович, ассистент кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» Института транспортной техники и систем управления Российского университета транспорта (ИТТСУ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: динамика и прочность подвижного состава. Автор 28 научных работ.

Курзина Надежда Михайловна, заведующий кабинетом, инженер кафедры «Машиноведение, проектирование, стандартизация и сертификация» Института транспортной техники и систем управления Российского университета транспорта (ИТТСУ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: динамика и прочность подвижного состава, техническое регулирование. Автор 10 научных работ.

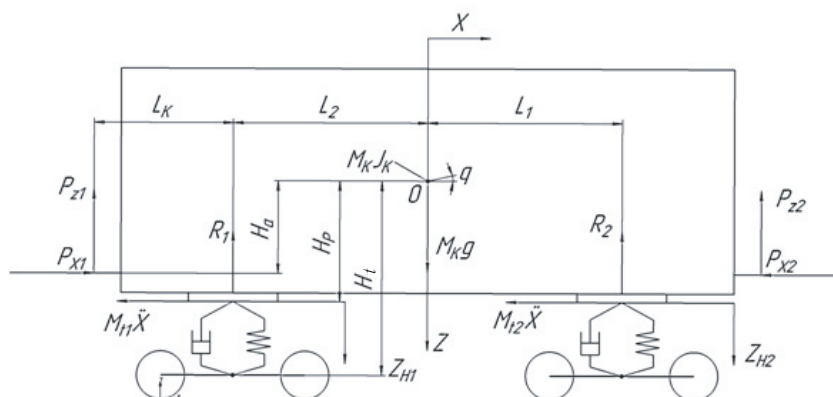


Рис. 2. Расчетная схема вагона, входящего в сцеп:

P_{x1}, P_{x2} – горизонтальные усилия в межвагонной связи; P_{z1}, P_{z2} – вертикальные усилия в межвагонной связи; R_1, R_2 – вертикальные реакции рессорных комплектов тележек; $M_{t1} \ddot{X}, M_{t2} \ddot{X}$ – силы инерции тележек вагона; L_1, L_2, L_k – базовые геометрические размеры вагона, учитывающие смещения центра тяжести; H_a – возвышение центра тяжести вагона над продольной осью хребтовой балки; H_p – возвышение центра тяжести вагона над опорной поверхностью пятников; H_t – возвышение центра тяжести вагона над осью колесной пары; x, z, q – координаты и их производные по времени в уравнениях; M_k – масса обрессоренных частей тележек вагона; M_{t1}, M_{t2} – масса необрессоренных частей тележек вагона; $M_k g$ – сила тяжести; J_k – момент инерции кузова вагона, относительно поперечной оси Y , совпадающей с положением центра тяжести в точке O

$$Z_{H2} = \begin{cases} Z - q \cdot L_1 \text{ при } (Z - q \cdot L_1) > (-F_{ст}); \\ -F_{ст} \text{ при } (Z + q \cdot L_1) \leq (-F_{ст}). \end{cases} \quad (3)$$

В модель необходимо будет включить функции вычисления реакций в узле автосцепки, реализация которых привязана к типам поглощающих аппаратов (4).

$$P_{z2} = \begin{cases} P_{x2} \cdot \operatorname{tg}(\alpha) \text{ при } \alpha < \alpha_1; \\ P_{x2} \cdot (F_{ст} \operatorname{sign}(\alpha) - \operatorname{tg}(\alpha_1) \operatorname{sign}(\alpha) - \operatorname{tg}(\beta)) \text{ при } \alpha_1 < \alpha < \alpha_2; \\ 0, \text{ при } \alpha \geq \alpha_2, \end{cases} \quad (4)$$

где α_1 – угол между продольной осью вагона и осью автосцепки в случае возможного отклонения;

α_2 – угол, соответствующий саморасцепу из-за недопустимого перекоса автосцепки;

α – угол, вычисляемый на основании отношения разности высот автосцепок к расстоянию между их центрирующими балочками.

Одним из возможных вариантов программной реализации условия замены нежелательной кинематической связи на силовую будет приравнивание скорости перемещения взаимодействующих автосцепок к нулю на концах отрезка интегрирования:

$$\dot{D}H = \dot{Z}_i - \dot{Z}_{i+1} + (L_1 + L_k) \dot{q}_i + (L_2 + L_k) \dot{q}_{i+1}. \quad (5)$$

Указанных уравнений и условий достаточно для однозначного определения вертикальной составляющей в межвагонном соединении P'_{z2} . Условием случая выкатки тележки является подъем пятника над опорной поверхностью подпятника на высоту, достаточную для свободного выкатывания тележки или для повреждения шкворня. Высота, достаточная для повреждения шкворня, определяется как плечо, при котором неизбежен изгиб шкворня под действием текущей силы инерции $M_t \ddot{X}$. Полученная математическая модель была алгоритмизирована и компьютеризирована в среде программирования RAD Studio.

Имитационное моделирование маневрового соударения

Определим ряд опытов, которые необходимо провести с моделью. При определении учтем возможные нарушения в технологии роспуска сцепов с горки, к числу которых относятся ограждение порожней платформы груженными вагонами, нарушение скоростного режима и др. В результате можно выделить три группы опытов.

Соударение порожней платформы с группой полувагонов

В опытах данной группы порожняя платформа будет скатываться с сортировочной горки и ударяться в сцеп груженых полувагонов. Исходные данные для эксперимента приведены в табл. 1.

Таблица 1

Исходные данные для опытов с порожней платформой

№	Тип сцепа	Тип вагона	Масса брутто, т	Количество	Тип поглощающего аппарата
1	Стоящий	полувагон	100	5	Ш-1-ТМ
	Набегающий	платформа	21	1	Ш-1-ТМ
2	Стоящий	полувагон	100	5	Ш-1-ТМ
	Набегающий	платформа	21	1	Р-5П
3	Стоящий	полувагон	100	5	Ш-1-ТМ
	Набегающий	платформа	21	1	73ZW
4	Стоящий	полувагон	100	5	Ш-1-ТМ
	Набегающий	платформа	21	1	Ш-1-ТМ
	Набегающий	полувагон	100	3	Ш-1-ТМ
5	Стоящий	полувагон	100	5	Ш-1-ТМ
	Набегающий	платформа	21	1	Р-5П
	Набегающий	полувагон	100	3	Ш-1-ТМ
6	Стоящий	полувагон	100	5	Ш-1-ТМ
	Набегающий	платформа	21	1	73ZW
	Набегающий	полувагон	100	3	Ш-1-ТМ

Выбор платформы не случаен, поскольку согласно опыту эксплуатации именно этот тип подвижного состава чаще других подвергается выжиманию и повреждению. Всего в этой группе опытов находится шесть вариантов проведения соударения, которые условно можно разделить на две половины. В первых трех вариантах скатывается одиночная платформа, в последних трех за платформой следуют груженные полувагоны. Скорость в штатном режиме во всех опытах будет равна 2 м/с. Также отметим, что в опытах фигурируют различные типы поглощающих аппаратов — шестигранный Ш-1-ТМ, резинометаллический Р-5П и эластомерный 73-ZW.

Из результатов следует, что во многих случаях аварией явился факт выкатки тележки из-под порожней платформы в результате недопустимо большого значения вертикальной составляющей продольной силы. Реакции, скорости и ускорения для двух режимов удобно представить в виде столбчатых диаграмм (рис. 3).

В качестве демонстрации интерфейса созданной программы и видов графиков, получаемых по завершению выполнения процесса, приведем вид окон программы для аварийного и штатного режимов роспуска платформы для опыта №4 из табл. 1 (рис. 4).

Для данной группы опытов можно сделать следующие выводы:

- минимальная скорость соударения сцепов заданной комплектации и конфигурации, при которой неизбежна авария, равна 1,8 м/с (опыт №3) — соответствует применению поглощающего аппарата 73-ZW на платформе;
- наибольший разброс в опытах имеют абсолютные значения ускорения набегающего вагона (варьируется от 2,64 до 7,46 долей g).

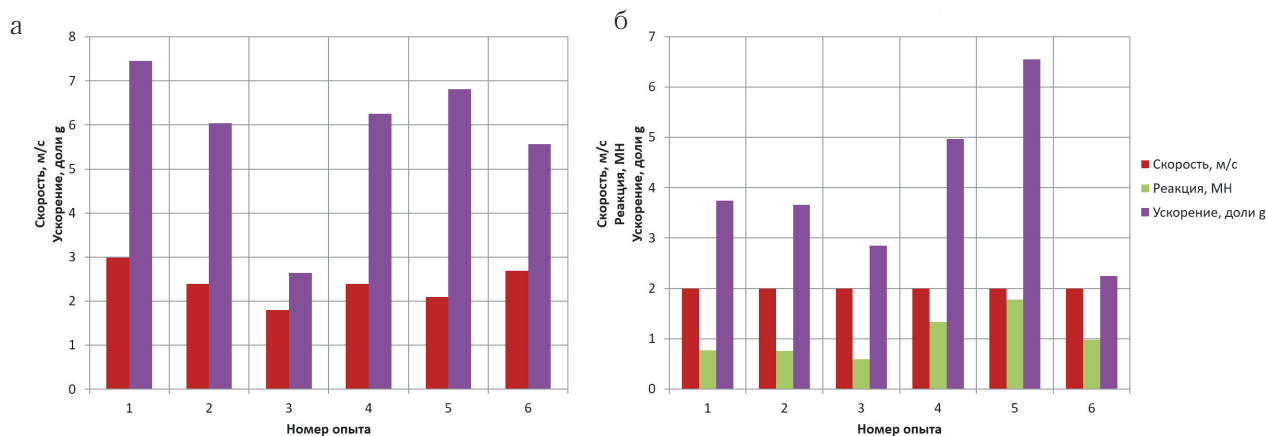


Рис. 3. Кинематические и силовые максимумы опытов с порожней платформой для аварийного (а) и штатного (б) режимов

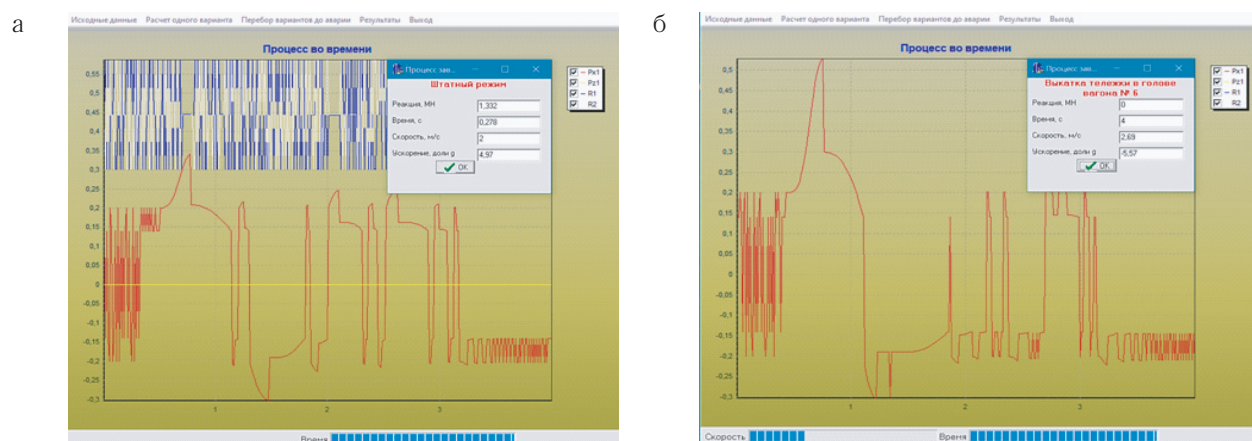


Рис. 4. Вид окна программы с результатами опыта №4 для штатного (а) и аварийного (б) режимов

Соударение полузагруженной платформы с группой полувагонов

Проведем аналогичный ряд экспериментов с порожней платформой. Исходные данные для эксперимента приведены в табл. 2. Конфигурация набегающих и стоящих сцепов аналогична совокупности опытов, приведенных ранее. Результаты приведены на рис. 5.

Для данной группы опытов можно сделать следующие выводы:

- реакция, при которой происходит повреждение автосцепки, близка к 4 МН;
- минимальная скорость соударения сцепов заданной комплектации и конфигурации, при которой неизбежна авария равна 2,99 м/с (опыт №5) — соответствует применению поглощающего аппарата Р-5П на платформе;
- наличие груза в платформе не позволяет возникать выжиманию вагона, и характер аварии изменился на «повреждение автосцепки» по сравнению с ранее приведенными опытами;
- наибольший разброс в опытах имеют абсолютные значения ускорения набегающего вагона (варьируется от 1,44 до 7,55 долей g);
- соударения со скоростями менее 2,99 м/с не вызывают мгновенной аварии, хотя значения, близкие к указанному максимуму, могут служить источником повреждений, которые скажутся при длительной эксплуатации вагона. К таким повреждениям можно отнести возникновение трещин. Для данной группы опытов указанное еще более актуально в связи с возросшими из-за увеличения массы платформы уровнями реакций.

Таблица 2

Исходные данные для опытов с полузагруженной платформой

№	Тип сцепа	Тип вагона	Масса брутто, т	Количество	Тип поглощающего аппарата
1	Стоящий	полувагон	100	5	Ш-1-ТМ
	Набегающий	платформа	56	1	Ш-1-ТМ
2	Стоящий	полувагон	100	5	Ш-1-ТМ
	Набегающий	платформа	56	1	Р-5П
3	Стоящий	полувагон	100	5	Ш-1-ТМ
	Набегающий	платформа	56	1	73ZW
4	Стоящий	полувагон	100	5	Ш-1-ТМ
	Набегающий	платформа	56	1	Ш-1-ТМ
	Набегающий	полувагон	100	3	Ш-1-ТМ
5	Стоящий	полувагон	100	5	Ш-1-ТМ
	Набегающий	платформа	56	1	Р-5П
	Набегающий	полувагон	100	3	Ш-1-ТМ
6	Стоящий	полувагон	100	5	Ш-1-ТМ
	Набегающий	платформа	56	1	73ZW
	Набегающий	полувагон	100	3	Ш-1-ТМ

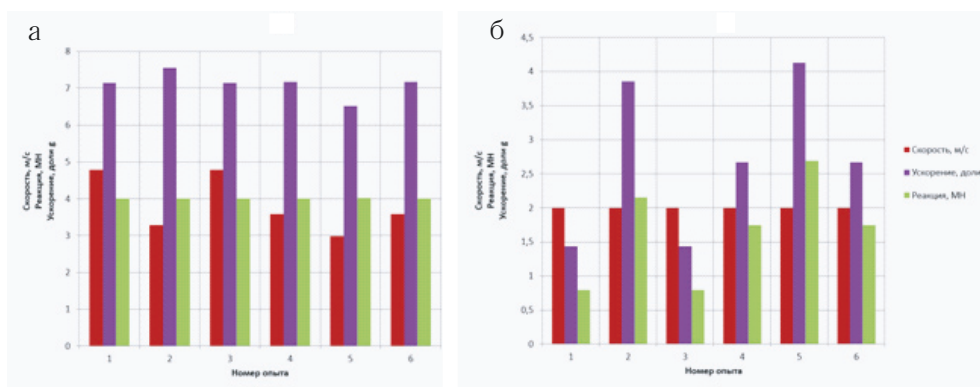


Рис. 5. Кинематические и силовые максимумы опытов с полузагруженной платформой для аварийного (а) и штатного (б) режимов

Выводы

Приведенная в статье методика и ее программная реализация позволяют проводить моделирование маневрового соударения сцепов вагонов и могут быть использованы для оценки процесса соударения сцепов выбранной конфигурации. Из результатов имитационных испытаний видно, что минимум продольных ускорений конструкции в штатном режиме обеспечивает применение эластомерного поглощающего аппарата на вагоне, а резинометаллический аппарат хорошо показывает себя в случае аварийного режима. Перспективным является концепция применения двух последовательно размещенных поглощающих аппаратов на вагоне. Однако необходимо также учитывать технологию производства поглощающих аппаратов и зависимость свойств рабочего тела эластомерного поглощающего аппарата от температуры. Опыт эксплуатации эластомерных поглощающих аппаратов свидетельствует об ухудшении свойств эластомера в диапазоне низких температур. Авторами исследуется вопрос усовершенствования методики для учета указанного фактора. 

Литература

1. Филиппов, В.Н. Исследование поведения вагонов при аварийном соударении / В.Н. Филиппов, Е.А. Радзиховский. — Текст: непосредственный // Вестник ВНИИЖТ. — Москва. — 1994. — №3. — С. 9—12.
2. Асадулин, Е.А. Параметры плавающей хребтовой балки и актуальность ее применения для грузового подвижного состава / Е.А. Асадулин, А.И. Пайзилдаев, Г.Р. Мепаришвили. — Текст: непосредственный // Вестник науки. — 2020. — Т.4, №6 (27). — С. 197—201.
3. Американские железнодорожные энциклопедии / Гл. ред. Е.С. Изралимский-Марут, Вагоны / Под ред. П.И. Травина; Перевод с английского выполнен П.В. Бергом. — Москва, 1937. — 844 с. — Текст: непосредственный.
4. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) с изменениями и дополнениями на 2004 г. — Москва: ГосНИИВ — ВНИИЖТ, 1996. — 319 с. — Текст: непосредственный.
5. ЦМ — 943 Технические условия размещения и крепления грузов в вагонах и контейнерах: Утверждены МПС России 27 мая 2003 г. — Текст: непосредственный.
6. Сергеев, И.К. Обзор исследований и программных комплексов для решения задач динамики подвижного состава / И.К. Сергеев, С.В. Беспалько. — Текст: непосредственный // Наука и техника транспорта. — 2021. — №1. — С. 45—50.
7. Беспалько, С.В. Исследование соударений вагонов, оборудованных эластомерными поглощающими аппаратами, с использованием компьютерного моделирования / С.В. Беспалько, С.С. Андриянов. — Текст: непосредственный // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна. — 2004. — №5. — С. 7—8.

РАЗРАБОТКА СХЕМЫ АРМИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ ПЛИТЫ ОСНОВАНИЯ ДЛЯ ГОРОДСКОГО ТРАНСПОРТА С УЧЕТОМ АНИЗОТРОПНЫХ СВОЙСТВ И ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ



Л.А. Илларионова



А.А. Локтев

Смоделировано поведение плиты основания безбалластного пути при динамических воздействиях. Именно такая конструкция в настоящее время является одной из наиболее перспективных. Для данной конструкции разрабатывается схема армирования сегмента плиты, состоящая из локальных сеток с круговыми стержнями под зоной опирания рельса на подрельсовом основании и общего объемного каркаса, рассчитываемого традиционными методами.

Ключевые слова: железнодорожный путь, безбалластное основание, балластный путь, упругая волна, математическая модель

EDN: KOEYOZ

На сегодняшний день в случае обычной железной дороги можно выделить два основных типа: решения: с балластом и без балласта. Однако стандартизированной процедуры выбора между этими системами и соответствующими вариантами не существует, решение принимается в каждом конкретном случае.

Балласт обладает хорошими дренажными свойствами и высокой эластичностью, а также высоким уровнем шумопоглощения. Замена компонентов и исправление геометрии считаются простыми. Он имеет относительно низкую стоимость строительства по сравнению с безбалластным путем.

К недостаткам балластного пути можно отнести относительно небольшой срок службы между ремонтами и высокие требования к обслуживанию. Из-

за повторяющихся динамических нагрузок балласт изнашивается относительно быстро, необходимы работы по техническому обслуживанию (трамбовка, очистка балласта и т.д.) для исправления выравнивания, очистки и изменения профиля балластного слоя. Это приводит к высоким затратам на техническое обслуживание в течение всего срока службы, что отражается на подорожание в течение всего жизненного цикла.

Другим недостатком при работе на высоких скоростях является вылет балласта (также называемый захватом балласта или взбалтыванием), который представляет собой явление, когда отдельные камни вылетают из балластного слоя при воздействии аэродинамических сил и вызывают значительные повреждения как колесных пар и рельсов, так и элементов

Илларионова Лилия Алексеевна, старший преподаватель кафедры «Здания и сооружения на транспорте» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: проектирование объектов транспортной инфраструктуры, железнодорожный путь. Автор 28 научных работ.

Локтев Алексей Алексеевич, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой «Транспортное строительство» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: механика деформированного тела, моделирование объектов транспортной инфраструктуры, железнодорожный путь, реконструкция объектов исторического и архитектурного наследия. Автор 189 научных работ, в том числе трех монографий.

кузова подвижного состава. Подобное явление может происходить и с кусочками льда, что является фактором, который следует учитывать в странах с холодным климатом [1].

Для уменьшения износа балласта, было предпринято несколько различных попыток улучшить распределение нагрузки между элементами пути. Другим возможным подходом является повышение долгосрочной несущей способности основания. Это может быть достигнуто путем введения дополнительной жесткости с помощью долговечных материалов между земляным полотном и балластным слоем. Контактные напряжения на балласте также можно уменьшить, используя большую контактную поверхность путем увеличения площади шпалы или перехода к безбалластной конструкции пути [2;3].

Безбалластные путевые системы можно разделить на три основные группы в зависимости от типа рельсовой опоры, а именно дискретную рельсовую опору, сплошную рельсовую опору или конструкцию с рельсовой плетью, омоноличенной в путевом бетоне (рис.1).

Категорирование также может быть сделано на основе места производства, в этом случае можно назвать сборные системы (которые производятся на заводе и транспортируются на строительную площадку) или монолитное строительство, где бетонная плита системы заливается на месте. Отдельным вопросом является армирование безбалластной конструкции пути.

На данный момент, чаще всего используется традиционная методика армирования, учитывающая динамическое приложение нагрузки только в квазистатической постановке, с учетом особенностей

изменения нагрузки от времени через совокупность уточняющихся коэффициентов. В случае расчета безбалластного пути необходимо также производить учет динамической высокочастотной и волновой нагрузки, которая особенно характерна для высокоскоростного транспорта из-за большой интенсивности потока движения с небольшими интервалами движения и большой скорости движения подвижного состава — около 250 км/ч.

Также необходимо производить учет дефектов, расположенных на поверхности катания колеса и рельса. После прихода колесной пары в заданную точку рельсовой плети между колесом и рельсом появляется сила взаимодействия $P=P(t)$, которая затем перераспределяется по другим элементам железнодорожного пути в процесс деформирования, на котором этапы нагружения и разгрузки чередуются с учетом затухания динамических характеристик [4;5].

Часто взаимодействие происходит с учетом дефектов, расположенных на поверхности катания. Дефекты могут многократно увеличивать динамические процессы. К примеру, состав из 70 вагонов при наличии дефектов на некоторых колесах может вызывать дополнительную динамическую нагрузку в несколько тысяч взаимодействий за одну минуту (рис. 2) [6].

При высоких скоростях движения, как показывают работы отечественных и зарубежных исследователей требуется учитывать волновые процессы в одномерной постановке при определении параметров приложения нагрузки [7]. Распространение упругих волн имеет существенное значение в случаях, когда скорость движения экипажа становится соизмеримой со скоростью акустической волны в материалах, входящих в верхнее строение пути. При учете напряжений



Рис. 1. Пример конструкции безбалластного пути для городского транспорта

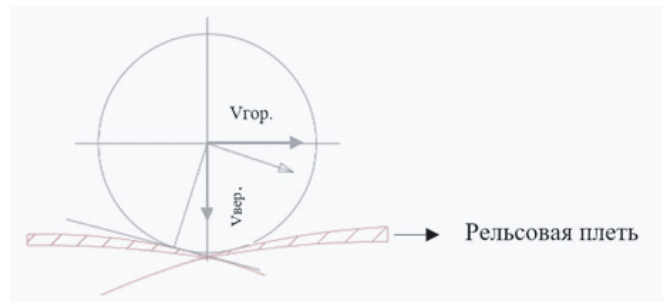


Рис. 2. Взаимодействие колеса и области вблизи поверхности катания рельса

в рельсовых плетях можно отметить, что возможно уменьшение скорости фронта упругой волны из-за «эффекта запирания».

В рассматриваемой одномерной задаче динамического поведения рельсовой плети, предлагается использовать следующее выражение, определяющее связь между состоянием пути и внешней нагрузкой

$$\sigma = -\rho_0 G_0 V. \quad (1)$$

где $G_0 = \sqrt{E_0 / \rho_0}$ — скорость упругой волновой поверхности; V — скорость частиц рельса вдоль его оси; E_0 и ρ_0 — модуль упругости и плотность материала модельного плоского элемента соответственно.

В зоне контакта колеса и рельса выражение (1) примет вид:

$$P = -\rho_0 G_0 F V. \quad (2)$$

Соотношение для местных деформаций

$$\alpha = V_0 t - \frac{1}{m} \int_0^t dt_1 \int_0^{t_1} P(t_2) dt_2 - \frac{1}{\rho_0 G_0 F} \int_0^t P(t) dt. \quad (3)$$

Уравнение относительно местной деформации $\alpha(t)$:

$$\ddot{\alpha} + a_1 \dot{\alpha} + \frac{k}{m} \alpha^{3/2} = 0, \quad (4)$$

где $\alpha_1 = -k(2\pi\rho h G^{(2)} R^{1/2})^{-1}$, здесь $G^{(2)} = \sqrt{K\mu / \rho}$ — скорость поперечной сдвиговой волны.

При переходе от линейной задачи к плоскости верхнее строение железнодорожного пути в качестве отдельной конструкции более точно моделируется плоскими элементами, то для уточнения используемой модели предлагается рассмотреть деформирование состояния элементарного объема. При этом необходимо также производить учет влияния нестационарных процессов на деформирование малого элемента.

Динамическое поведение точек таких элементов под воздействием циклической нагрузки, получае-

мых из стандартных уравнений равновесия элементарного параллелепипеда с размерами dx , dy , dz , и плотностью ρ [8;9].

$$\begin{cases} (x+G) \frac{\partial \Delta}{\partial x} + G \nabla^2 u = \rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}, \\ (x+G) \frac{\partial \Delta}{\partial y} + G \nabla^2 v = \rho \frac{\partial^2 v}{\partial t^2}, \\ (x+G) \frac{\partial \Delta}{\partial z} + G \nabla^2 w = \rho \frac{\partial^2 w}{\partial t^2}; \end{cases} \quad (5)$$

где $\Delta = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z}$ — оператор объемной деформации; $\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$ — оператор Лапласа;

$x = \frac{vE}{(1+v)}$; E и G — модуль Юнга и сдвига,

где v — коэффициент поперечной деформации; u , v , w — линейные перемещения точек элементов вдоль основных координатных осей Ox , Oy , Oz [10;11].

Для учета волновых процессов удобнее перейти в выражениях типа (5) от механических традиционных характеристик к величинам, определяющим характер распространения волн. Введем новое обозначение C_1 , представляющее скорость распространения упругой волны для идеальной среды

$$C_1 = \sqrt{\frac{x+2G}{\rho}} = \sqrt{\frac{(1-v)E}{(1+v)(1-2v)\rho}}. \quad (6)$$

Решение дифференциального уравнения типа (4) обычно ищется в виде:

$$u(x,t) = A \sin \left[\frac{2\pi}{l_1} (x - C_1 t) \right], \quad (7)$$

Здесь A — амплитуда колебательного движения; l_1 — длина волны, распространяющейся вдоль заданного направления.

Описанные величины позволяют определить период колебаний:

$$T_1 = \frac{l_1}{c_1}. \quad (8)$$

Данные величины важны при численном решении определяющих уравнений, так как от них зависит число разбиений характерных временных интервалов на элементарные отрезки, на которых считается, что определенные функции ведут себя линейно. После определения перемещений и связанных с ними напряжений можно понять картину деформирования плоской плиты основания железнодорожного пути от поездной динамической нагрузки и перейти к разработке рекомендаций по уменьшению и выравниванию прогибов плоского элемента путем его армирования (рис. 3.)

Местные и общие каркасы объединяются в один путем сварки вертикальными стержнями, а оптимальная работа и совместимость деформаций достигается за счет разработки дополнительного каркаса с круглыми арматурными стержнями в области распространения волн с наибольшей интенсивностью (т.е. фактически в месте контакта рельса и подрельсового основания) (рис.4).

Заключение

Учет распространения волновых поверхностей при армировании безбалластной конструкции пути, позволит подбирать коэффициент армирования с учетом наибольших деформаций, а не по усредненному показателю для армирования железобетонных конструкций. В работе представлена математическая модель деформирования плиты основания безбалластного пути для городского транспорта, учитывающая анизотропные свойства железобетонной конструкции, волновые процессы в виде распространения упругих волн, число которых зависит от количества осей анизотропии, а скорость определяется плотностью материала и механическими параметрами (модулями упругости и сдвига в направлениях и плоскостях анизотропии), также учитывается динамический характер приложения нагрузки. Предложенная модель реализована в виде схемы армирования железобетонной плиты, включающей локальные армирующие сетки с круговой арматурой и пространственные каркасы традиционного типа, которые затем связываются между собой в единую конструкцию. 

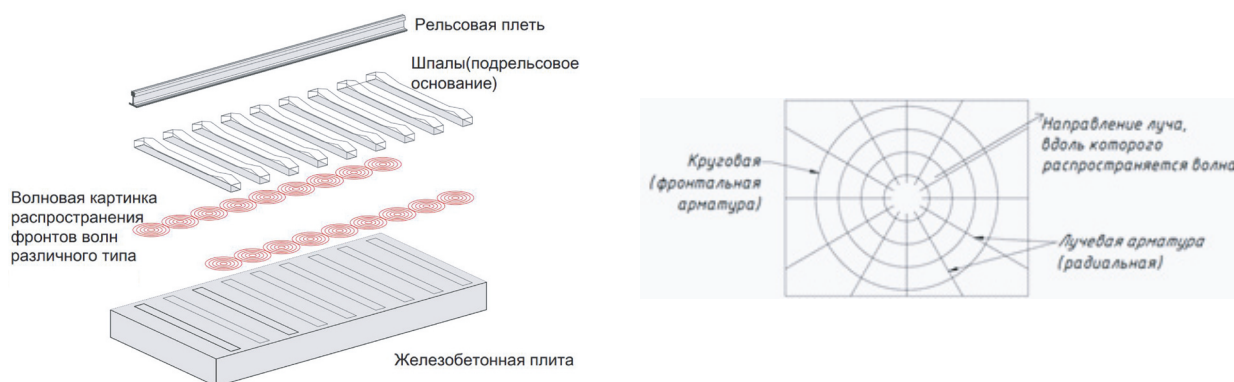


Рис. 4. Схема расположения армирующих элементов

Рис. 3. Модель безбалластной конструкции пути

Литература

1. Коган, А.Я. Методика определения расчетного срока службы безбалластного пути / А.Я. Коган, А.В. Савин. — Текст: непосредственный // Вестник ВНИИЖТ. — 2015. — Т.76, №1. — С. 3—9.
2. Колос А.Ф., Петрова Т.М., Сидоренко А.А. Проблемы эксплуатации безбалластной конструкции верхнего строения пути RHEDA 2000 на железнодорожной магистрали / А.Ф. Колос, Т.М. Петрова, А.А. Сидоренко. — Текст: непосредственный // Техника железных дорог. — 2013. — №2 (22). — С. 42—47.
3. Коган, А.Я. Динамика пути и его взаимодействие с подвижным составом / А.Я. Коган. — Москва: Транспорт, 1997. — 326 с. — ISBN 5-277-02025-X. — Текст: непосредственный.
4. Gridasova E.A., Nikiforov P.A., Loktev A. The influence of high-frequency cyclic loading on the mechanical properties of steel. Mater. Sci. Forum, 2018, vol. 945, pp. 549—555. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.945.549 EDN: CKGQSU.
5. Loktev A.A., Korolev V.V., Shishkina I.V. High frequency vibrations in the elements of the rolling stock on the railway bridges. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng., 2018, vol. 463, art. 032019. DOI: 10.1088/1757-899X/463/3/032019 EDN: WSXWMW.
6. A. Savin, O. Suslov, V. Korolev [et al.] Stability of the Continuous Welded Rail on Transition Sections / Advances in Intelligent Systems and Computing. — 2020. — Vol. 1115 AISC. — P. 648—654. — DOI 10.1007/978-3-030-37916-2_62. — EDN: EPASWM.
7. Савин, А.В. Критерии выбора конструкции безбалластного пути / А.В. Савин. — Текст: непосредственный // Путь и путевое хозяйство. — 2014. — №2. — С. 2—8.
8. Илларионова, Л.А. Влияние волновых процессов на армирование плиты основания безбалластного железнодорожного пути / Л.А. Илларионова, А. А. Локтев. — Текст: непосредственный // Вестник МГСУ. — 2020. — Т. 15. — Вып. 12. — С. 1632—1643. — DOI: 10.22227/1997-0935.2020.12.1632-1643.
9. Илларионова, Л.А. Моделирование анизотропной плиты основания безбалластного железнодорожного пути при динамических воздействиях / Л.А. Илларионова, А.А. Локтев. — Текст: непосредственный // Вестник МГСУ. — 2020. — Т.15. — Вып. 8. — С. 1111—1111. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.8.1111-1111.
10. Модель сегмента плиты основания безбалластного пути / А.А. Локтев, Е.В. Запольнова, Е.А. Гридасова, К.Ю. Тальских. — Текст: непосредственный // Системы управления, технические системы: устойчивость, стабилизация, пути и методы исследования: материалы V Международной научно-практической конференции, посвященной 70-летию со дня рождения профессора Ю.Н. Меренкова, Елец, 24 апреля 2019 года. — Елец: Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина, 2019. — С. 25—31. — EDN: XBVDFX.
11. Запольнова, Е.В. Моделирование динамического поведения секции плиты безбалластного основания железнодорожного пути / Е.В. Запольнова, А.А. Локтев, К.Д. Степанов. — Текст: непосредственный // Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред: материалы XXV международного симпозиума имени А.Г. Горшкова, Вятчи, 18—22 марта 2019 года. — Вятчи: ООО «ТРП», 2019. — С. 100—102. — EDN: DGDFCR.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ДЕРЕВА РЕШЕНИЙ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ПАРКА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПЕРЕВОЗКИ СКОРОПОРТЯЩИХСЯ ГРУЗОВ

В статье предложено использование метода «дерево решений» в процессе организации перевозок скоропортящихся грузов наземным транспортом. Дана оценка технологического потенциала разных видов изотермических транспортных средств. Обоснована и аргументирована последовательность шагов в процессе выбора состава парка изотермических транспортных средств в формате метода «дерево решений».

Ключевые слова: скоропортящийся груз, рефрижераторные перевозки, дерево решений, рефрижераторные контейнеры

EDN: AFXEGU



В.В. Багинова



Д.В. Ушаков

Наземные перевозки скоропортящихся грузов могут осуществляться как железнодорожным, так и автомобильным транспортом. Причем, как в составе парка изотермических железнодорожных транспортных средств, так и в составе изотермических автотранспортных средств присутствуют транспортные средства со встроенной рефрижераторной установкой, так и без нее. На железнодорожном транспорте к транспортным средствам со встроенной рефрижераторной установкой относятся вагоны рефрижераторных секций и рефрижераторные контейнеры, к транспортным средствам без встроенной рефрижераторной установки относятся вагоны-термосы и контейнеры-термосы. На автомобильном транспорте к транспортным средствам со встроенной рефрижераторной установкой относятся автофургоны-рефрижераторы,

к транспортным средствам без встроенной рефрижераторной установки относятся автофургоны-термосы. Безусловно, техническая эксплуатация транспортных средств со встроенной рефрижераторной установкой при высоком уровне качества гораздо дороже, чем техническая эксплуатация транспортных средств без встроенной рефрижераторной установки, поэтому на малые и средние расстояния для доставки скоропортящихся грузов целесообразно использовать изотермические транспортные средства без встроенной рефрижераторной установки [1].

С учетом вышесказанного, процесс выбора вида изотермического транспортного средства при транспортировке скоропортящегося груза от места загрузки до места выгрузки можно представить как функцию в следующем виде:

Багинова Вера Владимировна, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Логистика и управление транспортными системами» Института управления и цифровых технологий Российского университета транспорта (ИУЦТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: логистика и управление транспортными системами. Автор 220 научных работ, в том числе 18 монографий и 40 учебных пособий и учебников.

Ушаков Дмитрий Васильевич, кандидат экономических наук, доцент кафедры «Логистика и управление транспортными системами» Института управления и цифровых технологий Российского университета транспорта (ИУЦТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: логистика, организация и управление транспортными процессами. Автор 51 научной работы, в том числе одной монографии и трех учебных пособий.

$$F_r = (C, T, S), \quad (1)$$

где C — требуемая температура груза при транспортировке; T — предельный срок доставки; S — период года или сезон транспортировки.

Требуемая температура груза при транспортировке C является определяющим фактором обеспечения качества перевозимого груза. Помимо требуемой температуры груза на качество отдельных перевозимых грузов в процессе транспортировки могут влиять также влажность и кратность воздухообмена в грузовом помещении изотермического транспортного средства.

Предельный срок доставки T тесно взаимосвязан со сроком годности скоропортящихся грузов. Компании-грузополучатели скоропортящихся грузов в регионе сбыта должны учитывать продолжительность жизненного цикла скоропортящегося продукта таким образом, чтобы по прибытии скоропортящегося товара в регион назначения было достаточно времени для сбыта поставляемого товара. Недопустима ситуация, когда скоропортящийся товар может быть доставлен в регион сбыта с соблюдением предельного срока доставки, однако до окончания срока годности остается несколько дней.

Период года (или сезон) транспортировки S позволяет логистическому оператору на рынке перевозок скоропортящихся грузов подобрать оптимальный вид изотермического транспортного средства для транспортировки конкретного груза. Так, например, в зимний период, при средней температуре окружающего воздуха от -15 до -25°C в районах Урала и Сибири, наиболее приемлемыми видами изотермических транспортных средств для перевозки мороженой рыбы из Владивостока в Новосибирск и Екатеринбург по железной дороге могут быть вагон-термос и термос-контейнер. Вместе с тем, в условиях проявлений в последние годы по всей территории Российской Федерации случаев погодных аномалий, следует особо тщательно осуществлять отбор изотермических транспортных средств для перевозки конкретных грузов в переходные периоды, т.е. весной и осенью. Безусловно, наиболее существенное влияние на качество перевозимого груза при перевозках скоропортящихся грузов погодный фактор оказывает на дальние расстояния при пересечении нескольких регионов с различными климатическими условиями.

Поскольку, как правило, логистический оператор осуществляет перевозку одновременно нескольких видов скоропортящихся грузов, процесс выбора транспортных средств для формируемого парка должен основываться на специфике условий перевозок всех грузов, предлагаемых к перевозке.

На рис. 1 представлена типичная ситуация в декабре на примере планирования парка изотермических транспортных средств, ориентированных на доставку из Владивостока в Москву двух скоропортящихся продуктов: мороженой рыбы и фруктов. Логистический оператор должен оценить для каждой отправки мороженой рыбы или фруктов срок доставки до грузополучателя и определить для этой партии соответствующий вид подвижного состава.

Вместе с тем, состав парка должен быть сформирован таким образом, чтобы он максимально удовлетворял требованиям не только к условиям доставки скоропортящихся грузов из Владивостока в Москву, но и для перевозки скоропортящихся грузов в обратном направлении. На рис. 1 — это мороженое мясо, мороженные полуфабрикаты, молочная продукция, фрукты, овощи, напитки и соки — грузы, которые обычно перевозятся в декабре из Москвы на восток [2; 3].

Логистическому оператору следует учитывать следующие факторы при анализе состава изотермического парка транспортных средств для его загрузки в обратном направлении:

- необходимость ветеринарно-санитарной обработки грузового отделения изотермического транспортного средства после перевозки некоторых видов грузов (в т.ч. мороженой рыбы, мороженого мяса);
- срок доставки отдельных партий отправляемых скоропортящихся грузов в обратном направлении;
- наличие интермодальной составляющей в схеме доставки скоропортящихся грузов, следующих в обратном направлении.

Под интермодальной составляющей в контексте данной статьи подразумевается использование нескольких видов транспорта в процессе доставки скоропортящегося груза от грузоотправителя в Москве до грузополучателя на Дальнем Востоке, включая остров Сахалин и Камчатку. Так, например, устойчивым грузопотоком скоропортящегося груза с использованием интермодальной составляющей можно считать доставку йогуртов по маршруту Москва — Владивосток — Петропавловск-Камчатский, включающую автомобильный, железнодорожный и морской транспорт. Безусловно, для транспортных схем такого рода целесообразно использовать рефрижераторные контейнеры [4–6].

Тогда, с учетом факторов загрузки в обратном направлении, формулу (1) можно дополнить следующим образом

$$F_r = (C, T, S, R), \quad (2)$$

где R — совокупность факторов влияния на выбор изотермических транспортных средств, касающихся загрузки в обратном направлении.

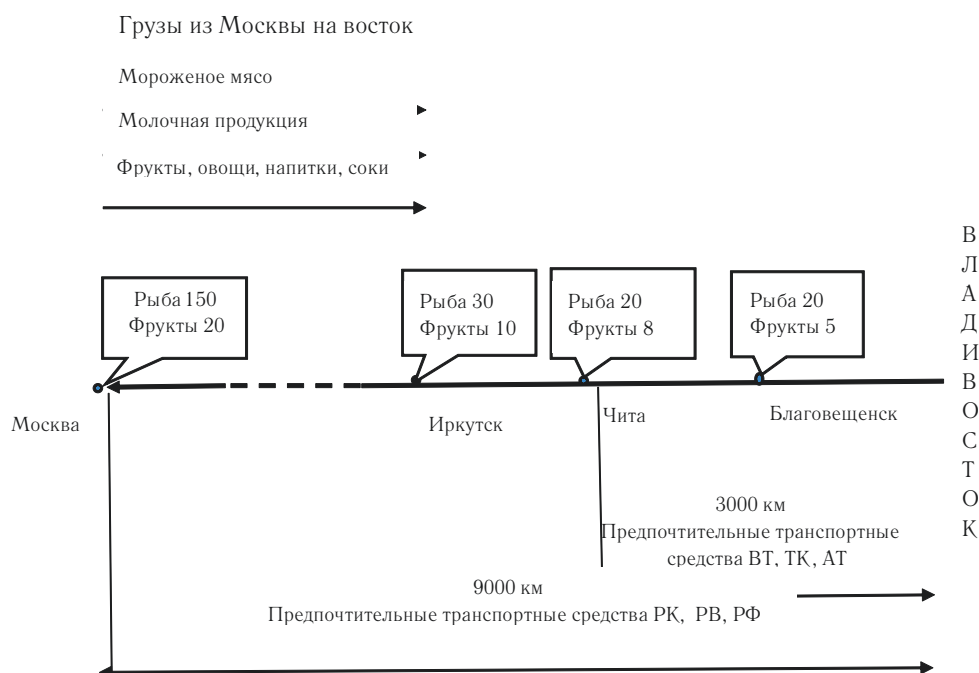


Рис. 1. Средние объемы перевозок в декабре мороженой рыбы и фруктов (в тыс. тонн) из Владивостока в некоторые города на Транссибирской железнодорожной магистрали и предпочтительные транспортные средства для перевозки на различные расстояния: РК – рефрижераторный контейнер; РВ – вагон рефрижераторной секции; РФ – рефрижераторный автофургон; ВТ – вагон-термос; ТК – термос-контейнер; АТ – автофургон-термос

R , в свою очередь, можно представить как:

$$R = (V_r, T_r, I_r), \quad (3)$$

где V_r – необходимость ветеринарно-санитарной обработки грузового отделения изотермического транспортного средства после перевозки некоторых видов грузов;

T_r – срок доставки отдельных партий скоропортящихся грузов, отправляемых в обратном направлении;

I_r – наличие интермодальной составляющей в схеме доставки скоропортящихся грузов, следующих в обратном направлении [7–9].

Анализируя вышеизложенное, можно сделать вывод, что специфика задачи формирования парка транспортных средств для перевозки скоропортящихся грузов обусловлена рядом факторов, которые требуют учета и оценки при многошаговой процедуре выбора изотермических транспортных средства.

Уместным и целесообразным способом решения поставленной задачи в данной ситуации представляется использование метода «дерева решений».

Метод «дерево решений» применяется в условиях наличия нескольких альтернативных вариантов разви-

тия событий и многокомпонентной структуры управленческого процесса выработки решения. Процесс выбора состава парка изотермических транспортных средств для перевозки скоропортящейся продукции предполагает несколько последовательных этапов, каждый из которых характеризуется возможностью выбора минимум двух вариантов. Действительно, для принятия окончательного решения необходимо последовательно осуществить анализ факторов, определяющих вид изотермического подвижного состава для перевозки скоропортящейся продукции и выбрать соответствующий вариант: срок доставки скоропортящегося груза – расстояние доставки скоропортящегося груза – транспортное средство с встроенной рефрижераторной установкой или без нее – автомобильный или железнодорожный транспорт – тип транспорта – модель рефрижераторной установки (для рефрижераторных контейнеров). Представляется что, последовательный процесс «от общего к частному» или дедуктивный метод декомпозиции, используемый при применении метода «дерева решений» наиболее приемлем для определения состава парка наземных изотермических транспортных средств для перевозки скоропортящейся продукции.

На рис. 2 представлено дерево решений, предназначенное для формирования парка изотермических транспортных средств для перевозки нескольких скоропортящихся грузов с различными требуемыми условиями для перевозки. На начальном этапе формирования парка изотермических транспортных средств представляется целесообразным все скоропортящиеся грузы, предлагаемые к перевозке, разбить на две группы в соответствии с температурными диапазонами. Это обусловлено тем, что группы грузов со схожими требуемыми температурными режимами могут входить в одну отправку в составе, например, одного рефрижераторного сцепа или одной рефрижераторной секции.

В дальнейшем осуществляется анализ сроков доставки скоропортящихся грузов и расстояний до

пунктов доставки. Оценивается приемлемость разных видов изотермических транспортных средств для конкретного груза для конкретной перевозки. Скоропортящийся груз должен быть доставлен в пункт назначения без ущерба качеству, в соответствии с регламентированным сроком доставки с соблюдением требуемого диапазона температур. На основании результатов анализа осуществляется выбор типа изотермического транспортного средства: со встроенной рефрижераторной установкой или без нее [1].

В настоящее время, в силу различных обстоятельств, между железнодорожным и автомобильным транспортом наблюдается жесткая конкуренция по всему пути между Москвой и Владивостоком, причем даже на сверхдальние расстояния, включая перевозки по маршрутам Москва—Владивосток—Москва. Среди

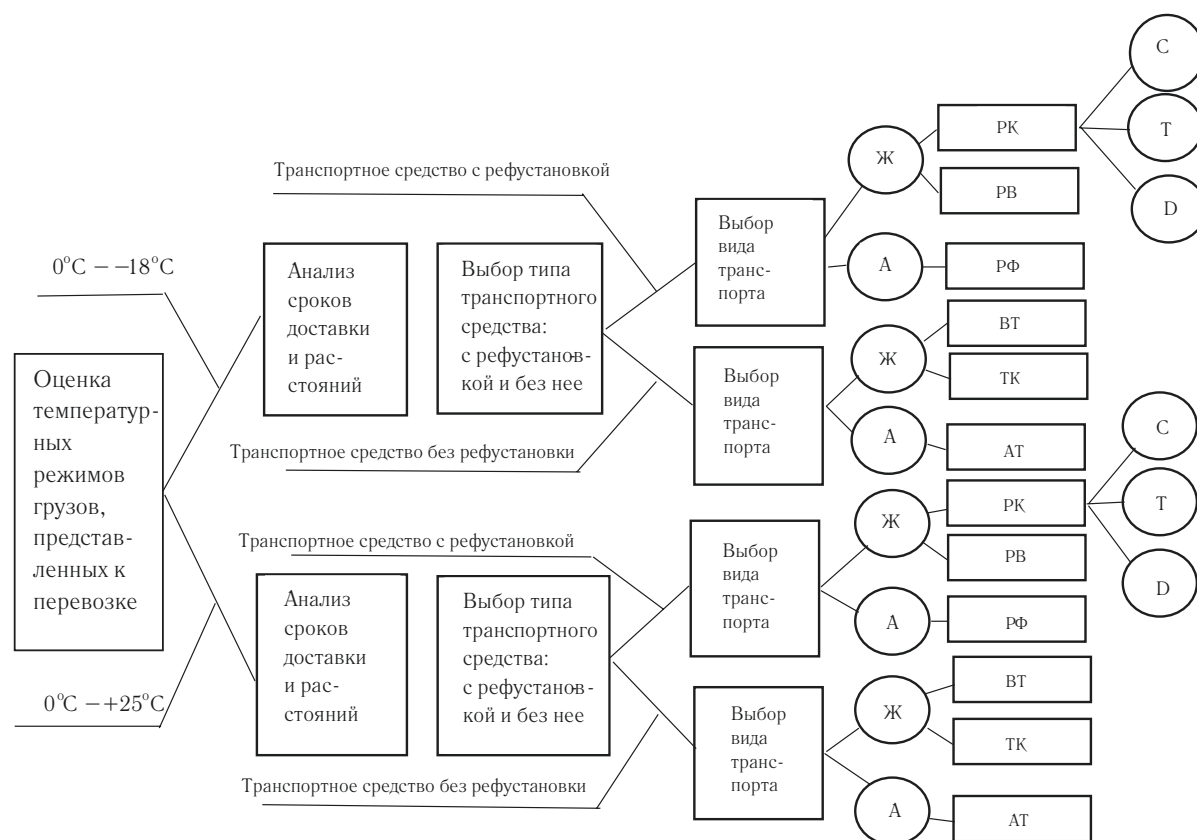


Рис. 2. Дерево решений по выбору состава парка изотермических средств для перевозки скоропортящихся грузов с различными диапазонами требуемых температурных режимов и на различные расстояния: □ – точка принятия решений; ○ – точка возникновения последствий; Ж – железнодорожный вид транспорта; А – автомобильный вид транспорта; ПК – рефрижераторный контейнер; РВ – вагон рефрижераторной секции; РФ – рефрижераторный автофургон; ВТ – вагон-термос; ТК – термос-контейнер; АТ – автофургон-термос; С – рефрижераторный контейнер с установкой Carrier Transicold; Т – рефрижераторный контейнер с установкой Thermo King; D – рефрижераторный контейнер с установкой Daikin

факторов, учитываемых при выборе вида транспорта для транспортировки скоропортящихся грузов, могут быть следующие: величина партии отправки скоропортящегося груза; особенности развития инфраструктуры по обработке скоропортящихся грузов в пункте отправления и в пункте назначения; стоимость перевозимого скоропортящегося груза [10].

В случае выбора железнодорожного транспорта, преимуществ перевозки в рефрижераторных контейнерах по отношению к перевозкам в вагонах рефрижераторных секций следующие: осуществление перевозок скоропортящихся грузов по принципу «от двери до двери»; возможность интеграции в интермодальные схемы; высокая скорость обработки транспортного средства на терминалах.

На рис. 2 также отмечено, что логистический оператор может выбрать рефрижераторные контейнеры с рефрижераторными установками различных производителей: Carrier Transicold, Thermo King и Daikin. Следует отметить, что все три производителя предоставляют высококачественные рефрижераторные установки, которые могут обеспечивать температурный режим в грузовом помещении рефрижераторного контейнера от -20 до $+25^{\circ}\text{C}$. Однако в процессе эксплуатации рефрижераторных контейнеров рефрижераторные установки различных производителей имеют свои особенности.

Основные узлы и агрегаты рефрижераторной установки Carrier Transicold в процессе многолетней эксплуатации на российских железных дорогах показали устойчивую и стабильную работу. В ассортименте рефрижераторных контейнеров с рефрижераторной установкой Thermo King присутствуют модели, которые могут обеспечивать сверхнизкие температуры (до -35°C и ниже). Такого рода контейнеры могут эффективно использоваться для перевозки таких грузов как морепродукты, мороженое, максимально благоприятный температурный режим для которых -25°C и ниже. Производители рефрижераторной установки Daikin позиционируют свое изделие как рефрижераторную установку с наиболее экономичными и экологичными режимами эксплуатации.

Помимо определения качественного состава парка изотермических транспортных средств, т.е. выбора наиболее адаптированных типов изотермических транспортных средств для осуществления перевозок, необходим расчет количества соответствующих изотермических транспортных средств для каждого вида скоропортящихся грузов [5].

Общий подход к определению количества изотермических транспортных средств для соответствующих скоропортящихся грузов заключается в оценке

количества загрузок каждого транспортного средства в период сезона (сезонов) производства скоропортящегося груза.

Вышесказанное можно выразить следующим образом.

$$N_{load} = T_{total} / T_{load}, \quad (4)$$

где N_{load} — количество загрузок одного изотермического транспортного средства; T_{total} — общее время сезона (сезонов) производства скоропортящегося грузов; T_{load} — время, затрачиваемое одним транспортным средством на один грузовой рейс, включая все операции от загрузки транспортного средства скоропортящимся грузом до предоставления этого транспорта в порожнем состоянии под следующую загрузку.

T_{load} можно выразить следующим образом.

$$T_{load} = S_{load} / V_{load} + S_{empt} / V_{empt} + T_{st}, \quad (5)$$

где S_{load} — расстояние транспортировки загруженного скоропортящегося груза; V_{load} — скорость движения изотермического транспортного с грузом; S_{empt} — расстояние перемещения изотермического транспортного средства от места выгрузки до новой погрузки в порожнем состоянии; V_{empt} — скорость движения изотермического транспортного средства в порожнем состоянии; T_{st} — время, затрачиваемое на стояночные операции, включая погрузочно-разгрузочные работы, сортировочные операции (при необходимости) в месте отправления и в месте назначения.

S_{load} и S_{empt} могут быть равны в случае, если изотермическое транспортное средство после выгрузки груза возвращается в место погрузки, однако вероятны ситуации, когда после выгрузки транспортное средство может быть направлено в другое место погрузки нового груза. Обычно такого рода практика оперирования изотермическими транспортными средствами наблюдается при перевозках скоропортящихся грузов автомобильным транспортом.

В заключении можно сделать вывод, что вопросы формирования парка изотермических транспортных средств требуют учета факторов, характеризующих процесс транспортировок скоропортящихся грузов. Для скоропортящихся грузов с различными требуемыми температурными режимами транспортировки и различными расстояниями доставки до пункта назначения должны быть подобраны соответствующие типы изотермических транспортных средств. Вследствие многофакторности влияния на принятие окончательного решения относительно качественного состава парка изотермических транспортных средств наиболее адаптированным подходом в данной ситуации является метод «дерева решений».

Литература

1. Об утверждении правил перевозок железнодорожным транспортом скоропортящихся грузов: приказ Министерства транспорта Российской Федерации от 4 марта 2019 г. № 66. — Текст: электронный: [сайт]. — URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=404359&ysclid=19s5a1ekvj464987152> (дата обращения: 01.06.2022).
2. ГОСТ 32366-2013. Рыба мороженная. Технические условия = Frozen fish. Specifications: национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 18 октября 2013. № 60 — П: дата введения 2015-01-01. — Москва: Стандартинформ, 2014. — 21 с. — Текст: непосредственный.
3. ГОСТ Р 54704-2011. Блоки из жилованного мяса замороженные. Общие технические условия = Frozen meat blocks. General specifications: национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 13 декабря 2011. № 863-ст: дата введения 2013-01-01. — Москва: Стандартинформ, 2012. — 20 с. — Текст: непосредственный.
4. Систематизация принципов «зеленой логистики» (Часть 1. Анализ существующих принципов логистики и устойчивого развития) / В.В. Багинова, Н.А. Осинцев, А.Н. Рахмангулов, А.В. Сладковский. — Текст: непосредственный // Бюллетень транспортной информации. — 2019. — №1(283). — С.10–16.
5. Багинова, В.В. Технология формирования рефрижераторных контейнерных сцепов на железнодорожных станциях / В.В. Багинова, Д.В. Ушаков. — Текст: непосредственный // Наука и техника транспорта. — 2019. — №3. — С. 30–33.
6. Багинова, В.В. Оценка качества скоропортящихся грузов на различных этапах доставки и в процессе хранения / В.В. Багинова, Д.В. Ушаков. — Текст: непосредственный // Экономика железных дорог. — 2020. — №9. — С. 66–74.
7. Логистика и организация перевозок припортовой железной дороги на современном этапе / Э.А. Мамаев, И.Д. Долгий, Н.Ф. Добрынин, А.А. Демьянов. — Текст: непосредственный // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. — 2019. — №4 (76). — С. 155–163.
8. Изотов, О.А. Анализ контейнерного грузораспределения отправки сборных партий из морского порта / О.А. Изотов. — Текст: непосредственный // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. — 2022. — Т.14, №1. — С. 87–92.
9. Ушаков, Д.В. Автотранспорт как составляющая часть интермодальных перевозок / Д.В. Ушаков. — Текст: непосредственный // Автотранспортное предприятие. — 2015. — №8. — С. 23–25.
10. Зубарев, Д.Ю. Особенности различных видов транспорта / Д.Ю. Зубарев, Е.В. Чабанова. — Текст: непосредственный // Наука, инновации и технологии: от идей к внедрению: материалы научно-практической конференции, Комсомольск-на-Амуре, 2022. — С.427–430.

АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ОПТИМАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ ИНФРАСТРУКТУРЫ УЧАСТКА

Рассматривается вопрос повышения эффективности вложения финансов в развитие железнодорожной инфраструктуры. Предложен новый подход к формированию оптимального перечня мероприятий для развития инфраструктуры и выбору технических параметров нового объекта с приведением алгоритма его реализации, испытанного на конкретном участке.

Ключевые слова: повышение эффективности развития инфраструктуры, расчет стоимости строительства, микро моделирование

EDN: VKDFXY



И.С. Абдуллаев



В.Г. Саргсян

Мировые тренды последних лет, а особенно последних месяцев 2022 г., связанные с санкционной политикой ряда стран в отношении Российской Федерации, уверенно демонстрируют курс на деглобализацию. Существующая сейчас глобальная экономика постепенно трансформируется в композицию отдельных макрорегионов, в которых будет высокий уровень развития технологий, достаточно ресурсов и мощностей, собственный потребительский рынок и система стимулирования внутреннего спроса.

Развитие инфраструктуры — один из основных факторов поддержания долгосрочного экономического роста любой страны и, тем более, в условиях развивающейся деглобализации.

Эксперты утверждают, что инвестирование в инфраструктуру является действенным, эффективным и надежным способом стимулирования разви-

тия российской экономики. Вложение инвестиций в транспортную инфраструктуру в краткосрочной перспективе создаст новые рабочие места, в среднесрочной перспективе — стимулирует экономический рост региона (территории), а в долгосрочной перспективе создаст такой эффект, при котором экономика будет демонстрировать уверенные показатели роста [2;3;5].

В непростых финансово-экономических условиях именно вложения в транспортную инфраструктуру помогут быстрее диверсифицировать внешнее влияние на экономику государства, а роль ОАО «РЖД» в решении этой задачи определяющая. Существенно меняются структуры и направления грузопотоков по всей сети железных дорог: активно развивается внутренний рынок и собственное производство, открываются новые промышленные предприятия и место-

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

Саргсян Ваге Грачьяевич, ведущий специалист Научно-технического комплекса цифрового моделирования им. В.И. Уманского АО «НИИАС». Область научных интересов: автоматизация перевозочного процесса, создание и применение имитационных моделей железнодорожных станций и участков.

рождения сырья, часть угольных потоков переориентирована с западного на восточное направление.

Все это приводит к необходимости быстрой адаптации к постоянно изменяющимся условиям, форсированию увеличения пропускной способности отдельных участков и направлений для пропуска дополнительного грузопотока, а также корректной и оперативной оценки экономической эффективности вложения денежных средств компании и государства в развитие инфраструктуры.

Поэтому создание автоматизированного инструмента для решения таких задач — это приоритетная задача для компании. Данный инструмент должен обеспечивать формирование минимально достаточного набора мероприятий для развития участка под целевые параметры прироста пропускной способности, производить его стоимостную оценку, а также определять оптимальные технические параметры каждого объекта на рассматриваемом участке.

В качестве исходных данных должны быть заданы критерии формирования тех или иных реконструктивных мероприятий, исходя из опыта реконструкции участков-аналогов предыдущих лет, а также удельные стоимостные показатели нового строительства или реконструкции. Все технические и технологические параметры участка (наличная пропускная способность, длина приемо-отправочных путей, скорости движения, уклоны и т.д.) должны автоматически загружаться из единой информационной базы (далее — Инфобазы). Инфобазы — это продукт, разработанный Управлением комплексной экспертизы проектов ОАО «РЖД» под руководством Абдуллаева И.С., концепция которого сводится к созданию единого информационного хранилища необходимых технических и технологических характеристик всех объектов участка для комплексного (полигонного) рассмотрения вопросов реконструкции и нового строительства с целью получения технологического эффекта.

Для разработки алгоритма расчета оптимального развития инфраструктуры и примера формирования исходных данных рассмотрим участок Улак — Комсомольск Дальневосточной железной дороги, так как он расположен в одной климатической зоне и топографических условиях, имеет единый технологический процесс и грузовую базу, а также планируется к развитию в третьем этапе реконструкции Восточного полигона до 2030 года. Кроме того, для формирования исходных данных по стоимостным параметрам уже есть объекты, получившие положительное заключение ФАУ «Главгосэкспертиза России» (далее — ГГЭ), а для разработки критериев применения тех или иных мероприятий в зависимости от необходимого прироста пропускной способности можно воспользоваться

опытом работы компании при формировании второго этапа развития Восточного полигона до 2025 года на участке Лена — Тынды («западный БАМ»), во многом схожем по своим характеристикам с участком Улак — Комсомольск.

Для разработки критериев применения видов мероприятий в зависимости от требуемого прироста пропускной способности проанализирован опыт работы компании при формировании детального плана развития Восточного полигона до 2025 года (второй этап). Рассмотрено 129 объектов строительства на участке Лена — Ванино: 54 — двухпутные вставки, 28 — разъезды, 43 — вторые главные пути, 4 — технические станции. По результатам анализа можно сделать следующие выводы.

1. Применение двухпутных вставок и разъездов достаточно, если требуемый прирост пропускной способности не превышает 40%.

2. При длине перегона до 16 км для увеличения пропускной способности применялось строительство двухпутной вставки, свыше 16 км — строительство разъезда. Длина двухпутных вставок зависит от местных условий, но не менее 5 км (для унифицированного укрупненного расчета примем длину двухпутной вставки равной 5 км).

3. Строительство вторых главных путей целесообразно, если потребная пропускная способность превышает наличную на 40% и более [1].

4. Примыкание вторых главных путей и двухпутных вставок к отдельным пунктам сопровождалось строительством компенсационного приемо-отправочного пути длиной не менее 1050 м. Соответственно, в стоимости строительства вторых главных путей должно быть учтено компенсационное строительство.

5. На технических станциях (станциях смены локомотивных бригад) необходимость строительства трех дополнительных приемо-отправочных путей возникла при приросте транзитного поездопотока на 13–16 пар поездов.

Учитывая отсутствие достаточной базы для формирования статистики (всего четыре технические станции: Юктали, Таксимо, Тынды и Новая Чара), для расчетов примем данные табл. 1 «Определение количества приемо-отправочных путей на участковой станции» свода правил СП225.1326000.2014 [6].

При формировании алгоритма расчета оптимального развития инфраструктуры данные критерии должны быть учтены и заложены в код программы для проверки его работоспособности на участке Улак — Комсомольск. Однако, кроме развития станционной и перегонной инфраструктуры, существует еще ряд видов мероприятий, без которых перспективная перевозочная модель не может быть реализована. К ним

относятся, например, реконструкция домов отдыха локомотивных бригад и локомотивных депо, усиление устройств энергоснабжения, СЦБ и т.п. Оценка необходимости реализаций данных мероприятий и их потребного объема может быть произведена путем формирования аналогичных критериев (условий) исходя из уже сложившейся практики. Для проверки работоспособности предлагаемого алгоритма сопутствующими мероприятиями можно пренебречь.

Для определения удельной стоимости строительства 1 км пути, исходя из наличия объектов, прошедших ГЭ, тополого-климатических и технико-технологических критериев, все направление Байкало-Амурской магистрали от Лены до Ванино можно условно поделить на 9 участков (рис. 1). Далее воспользуемся подходом, разработанным Управлением комплексной экспертизы проектов ОАО «РЖД».

1. Определим стоимость строительства 1 км объекта по сметным расчетам 92 объектов, получивших положительное заключение ГЭ.

2. Рассчитаем удельную стоимость, исходя из строительной длины объекта или иного основного технико-экономического показателя протяженности линейного объекта строительства.

3. Осуществим условный перевод цен 2020–2021 года в текущий уровень цен методом индексации с применением коэффициента, получаемого как отношение индексов строительно-монтажных работ к ОСНБЖ-2001 по соответствующим периодам к индексу второго квартала 2022 года [4].

4. Распределим структуру затрат по видам мероприятий по 9 участкам.

Проведенные исследования и полученные результаты отражены на рис. 1 и могут быть заложены в алгоритм расчета оптимального развития инфраструктуры участка Улак — Комсомольск. Однако следует понимать, что это укрупненная принципиальная оценка, для формирования окончательной детализированной стоимости строительства потребуются проведение изысканий, графического моделирования и разработка проектно-сметной документации.

Заложив описанные выше технико-технологические и стоимостные критерии в качестве исходных данных, имея доступ к Инфобазе, задачу по созданию автоматизированного инструмента расчета оптимального развития инфраструктуры можно представить в виде алгоритма (блок-схемы), изображенного на рис. 2, с шагами реализации, описанными под ним.

Для проверки работоспособности данного алгоритма на выбранном участке Улак — Комсомольск была проделана следующая работа:

- рассматриваемый участок «зашифрован» в виде нормативно-справочной информации (НСИ) в качестве исходных данных;
- разработано программное обеспечение на языке Pascal, которое производит расчет участка в соответствии с предложенным алгоритмом (см. рис. 2);
- сформирована выходная форма для оценки результата, которая содержит мероприятия и соответствующие затраты в условных единицах по каждому объекту рассматриваемого участка;
- проведена проверка корректности полученных результатов путем аналитического сравнения с итогами развития участков-аналогов Восточного полигона (второй этап).

Применение алгоритма расчета оптимального развития инфраструктуры (см. рис. 2) на участке от Улака до Комсомольска (см. рис. 1) показало, что использование программного обеспечения в автоматизированном режиме без участия технолога на этапе формирования решения позволит найти оптимальный набор мероприятий, достаточный для освоения перспективных грузопотоков, с возможностью сравнения по стоимостным показателям, а также обеспечит рациональный подход к определению технических параметров вновь возводимых объектов.

В качестве дальнейшей перспективы развития алгоритма расчета оптимального развития инфраструктуры участка необходимо дорабатывать критерии выбора мероприятий по развитию объектов локомотивного и вагонного комплексов, устройств энергоснабжения, СЦБ и связи, расширять статистику стоимостных параметров различных участков сети железных дорог.

Механизмом внедрения данного алгоритма макро-моделирования в производственные процессы ОАО «РЖД» может стать его автоматизация, как в виде самостоятельной информационной модели, так и в составе имеющихся программных решений.

Применение этого инструмента в процессе предпроектной подготовки позволит более точно и оперативно не только оценить целесообразность проекта для компании, но и рассмотреть все возможные конфигурации, выбрав наиболее эффективный для его (проекта) реализации. 

Удельная стоимость строительства 1 км пути*
во II этапе развития Восточного полигона

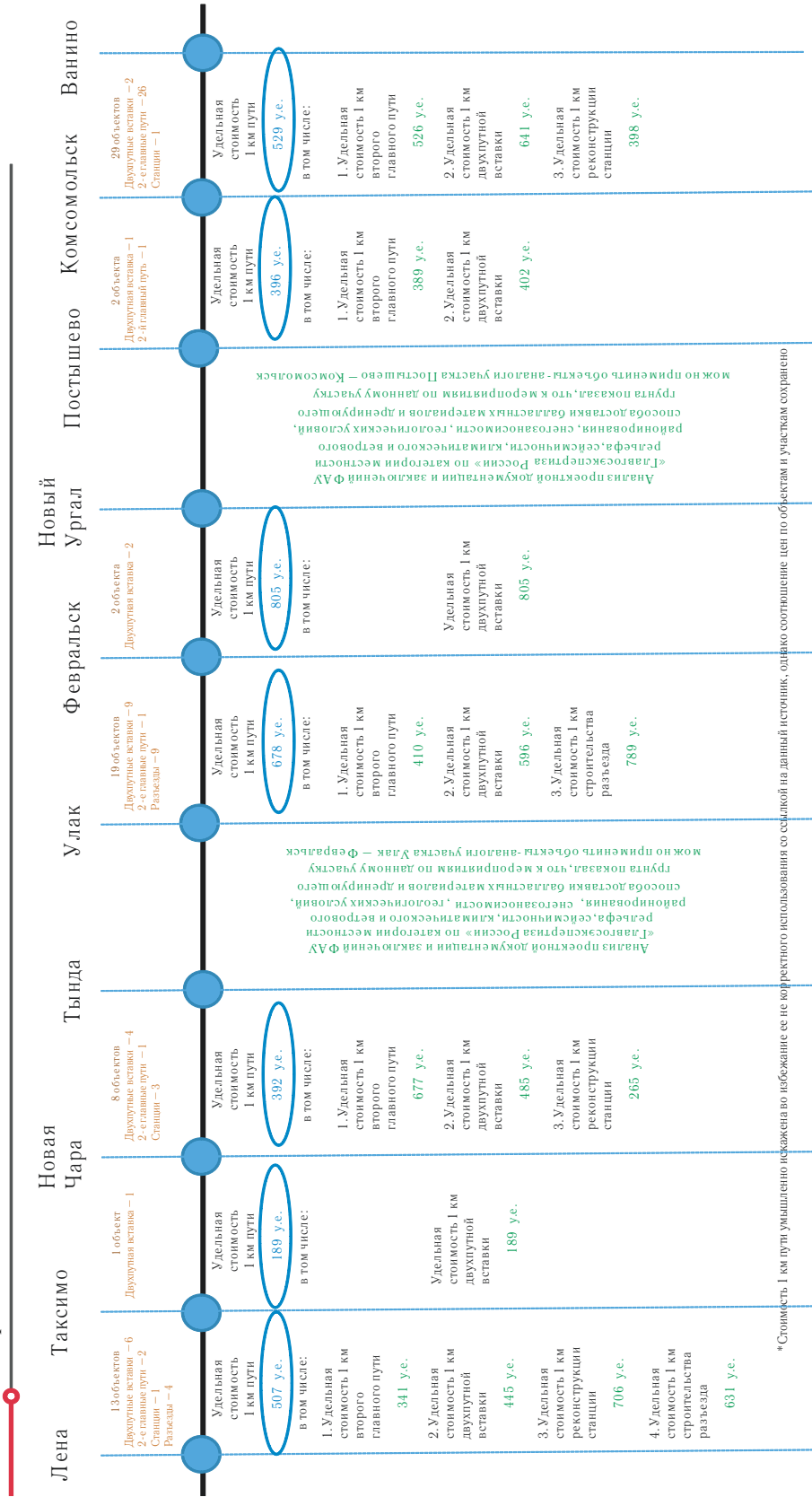


Рис. 1. Удельная (условная) стоимость строительства 1 км пути на участке Лена – Ванино

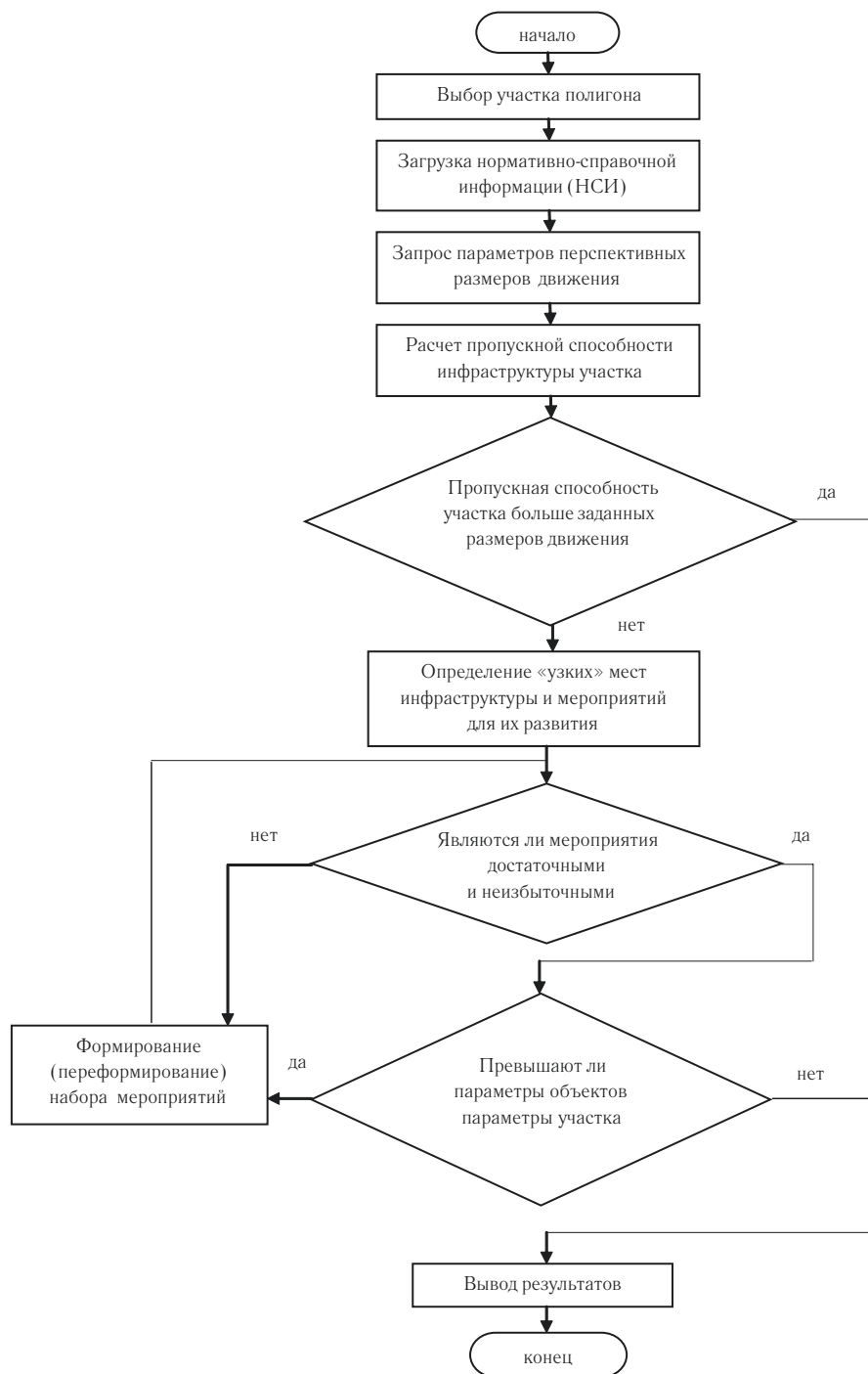


Рис. 2. Алгоритм расчета оптимального развития инфраструктуры участка:

1 шаг – загрузка нормативно-справочной информации (НСИ) и ввод перспективных параметров размеров движения; 2 шаг – сравнение пропускной способности участка с потребными размерами движения, выводы о необходимости развития; 3 шаг – определение «узких» мест и перечня инфраструктурных мероприятий для их устранения; 4 шаг – проверка достаточности и отсутствия избыточности предложенных мероприятий, при необходимости корректировка набора мероприятий; 5 шаг – проверка соответствия параметров новых объектов характеристике участка (по НСИ), при необходимости корректировка параметров объекта; 6 шаг – выполнение шага 5 для каждого нового объекта; 7 шаг – формирование итоговой таблицы набора мероприятий и параметров новых объектов

Литература

1. Инструкция по расчету пропускной и провозной способностей железных дорог ОАО «РЖД»: утверждена распоряжением первого заместителя генерального директора ОАО «РЖД» Кобзева С.А. от 04.03.2022г. №545/р. — Москва. — Текст: непосредственный.
2. Стратегия пространственного развития России: ожидания и реалии / Е.А. Коломак, В.А. Крюков, Л.В. Мельникова, В.Е. Селиверстов, В.И. Суслов, Н.И. Суслов. — Текст: непосредственный // Регион: Экономика и Социология. — 2018. — №2 (98). — С. 264–287.
3. Строев, П.В. Современные тенденции развития агломераций / П.В. Строев, Д.Е. Морковкин, С.В. Макар. — Текст: электронный // Креативная экономика. — 2020. — Т.14, №11. — С. 2693–2712. — URL: <https://creativeconomy.ru/lib/111071?ysclid=19zbd35pyi132617872>. — <http://doi.org/10.18334/ce.14.11.11-1071> (дата обращения 02.01.2022).
4. ОНЦКРЖ 81-02-07-2017 Отраслевые укрупненные сметные нормативы. Железные дороги: утверждены распоряжением ОАО «РЖД» от 1 июня 2017 г. №1047 р. — Текст: электронный // КонсультантПлюс: [сайт]. — URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=EXP&n=713665&ysclid=19zd07wqc3706625256#lmU01MTiYe9blwTw2> (дата обращения: 02.11.2022).
5. Об утверждении Стратегии пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 года: распоряжение Правительства РФ от 13.02.2019 №207-р. — Текст: электронный // КонсультантПлюс: [сайт]. — URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_318094/ (дата обращения 20.09.2020).
6. СП 225.1326000.2014. Свод правил: Станционные здания, сооружения и устройства. Утвержден и введен в действие приказом Минтранса Российской Федерации от 2 декабря 2014 года №331. — Москва: Минтранс, 2014. — 133 с. — Текст: непосредственный.

УЛУЧШЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ ЗА СЧЕТ ПРИМЕНЕНИЯ МНОГОСТУПЕНЧАТОЙ КОРОБКИ ПЕРЕДАЧ

Большинство транспорта оснащено двигателями внутреннего сгорания, что отрицательно влияет на экологическую обстановку. Альтернативным решением данной проблемы является применение электромобилей (ЭМ). Вследствие этого, возникает актуальность проведения исследований по улучшению эксплуатационных свойств ЭМ. В работе рассмотрено влияние применения коробки передач в трансмиссии ЭМ на его динамическую характеристику.

Ключевые слова: электромобиль, электродвигатель, коробка передач, динамическая характеристика

EDN: DEDEJM



А.С. Лимарев



И.Ю. Мезин

На сегодняшний день автомобиль является наиболее популярным средством перемещения и перевозок. Большая часть применяемого транспорта оснащена двигателем внутреннего сгорания (ДВС), который приводит к загрязнению атмосферы из-за его выбросов, также немало важным фактором служит принятие резолюции об отказе от ДВС к 2035 году странами Евросоюза [1–3]. В связи с этим возникает потребность в транспорте, оказывающем меньшее воздействие на окружающую среду. Вследствие развития носителей электроэнергии, одним из наиболее перспективных решений данного вопроса является переход на электромобили (ЭМ) [4]. Внешне элек-

тромобиль сложно отличить от автомобиля с ДВС, но различие в силовой установке и конструктивном расположении ее частей говорит о различии их эксплуатационных свойств.

Различают две группы свойств автомобиля: первая группа — функциональные свойства, определяющие способность автомобиля эффективно выполнять транспортную работу в заданных эксплуатационных условиях; вторая — свойства надежности, характеризующиеся такими параметрами как безотказность, долговечность, ремонтпригодность, сохраняемость и т.д. Функциональные свойства, также называемые эксплуатационными, обеспечивают возмож-

Лимарев Александр Сергеевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии, сертификации и сервиса автомобилей Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. Область научных интересов: улучшение эксплуатационных и экономических характеристик легковых автомобилей с различными типами тяговых устройств. Автор 121 научной работы.

Мезин Игорь Юрьевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии, сертификации и сервиса автомобилей Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. Область научных интересов: улучшение эксплуатационных и экономических характеристик легковых автомобилей с различными типами тяговых устройств. Автор 87 научных работ.

Воротников Михаил Юрьевич, студент кафедры технологии, сертификации и сервиса автомобилей Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. Область научных интересов: улучшение эксплуатационных и экономических характеристик легковых автомобилей с различными типами тяговых устройств. Автор семи научных работ.

Зотов Сергей Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры технологии, сертификации и сервиса автомобилей Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. Область научных интересов: улучшение эксплуатационных и экономических характеристик легковых автомобилей с различными типами тяговых устройств. Автор 61 научной работы.

ность выполнять функции, определяемые назначением автомобиля, а именно тягово-скоростные, тормозные свойства, управляемость, устойчивость, проходимость, плавность хода автомобиля [5]. Оценку эксплуатационных свойств автомобиля производят благодаря соответствующим измерителям и показателям, одним из которых является динамическая характеристика автомобиля.

Динамической характеристикой автомобиля называют зависимость динамического фактора по тяге от скорости на различных передачах, что актуально для автомобиля с ДВС [6]. В свою очередь, в конструкции электромобиля применяют одноступенчатый редуктор, так как электродвигатель способен поддерживать более широкий диапазон оборотов, в основном 3000–10000 об/мин. Это значительно упрощает его конструкцию, что является плюсом для сегмента масс-маркет.

Одним из важных параметров оценки тягово-скоростных свойств является динамичность автомобиля. Особенно важное значение она имеет в аварийных ситуациях, когда реальный тормозной путь до столкновения превышает необходимый и остается возможность только маневрировать с максимальным приростом скорости для быстро выполнения маневра, чтобы избежать дополнительных аварийных ситуаций. Также от этого свойства зависит уверенность водителя при обгоне, проезде перекрестков.

Автомобиль обладает широким диапазоном изменения скоростей. Исходя из технических требований на тягово-скоростные свойства, автомобиль должен обеспечивать заданную максимальную скорость движения $V_{\max}$ при максимальном динамическом факторе $D_{\max}$. При применении одноступенчатого редуктора в роли трансмиссии, данные требования будут являться противоречивыми и выполнение их становится практически невозможным, так как для получения максимальной скорости передаточное число коробки передач (КП) нужно понижать, а для получения максимального динамического фактора, напротив, повышать, как следствие редуктор будет являться ограничителем [7].

Необходимое значение максимального динамического фактора можно достичь благодаря применению электродвигателя большей мощности, чем необходимо для обеспечения максимальной скорости, но это приведет к уменьшению КПД силовой установки на высоких скоростях и увеличению ее массы. На данный момент существует несколько способов решения данной проблемы, среди которых можно выделить следующие.

1. Увеличение динамического фактора за счет установки двух электродвигателей. Сущность метода

заключается в применении полноприводной установки, где за движение каждой из осей отвечает свой электродвигатель и редуктор, а передаточные числа редукторов будут соответствовать пониженной или повышенной передаче, т.е. моделируя двухступенчатую трансмиссию (рис. 1) [8]. Недостатком данного решения является сильное усложнение конструкции, следствием которого будет являться удорожание производства и эксплуатации, уменьшение надежности и увеличение массы транспортного средства [9].

2. Применение в составе механической части трансмиссии электромобиля многоступенчатой КП. Достоинствами данного решения являются незначительное увеличение массы, снижение расхода электроэнергии, увеличение мощностных показателей, снимаемых с того же электродвигателя. Главным недостатком будет являться усложнение конструкции, как следствие снижение надежности.

На сегодняшний день большинство ведущих мировых компаний в области производства электромобилей занимаются разработками по повышению эффективности силовых установок. В качестве примера рассмотрим опыт различных компаний в данном вопросе. Так, компания «Tesla» в своих электромобилях отказалась от многоступенчатых трансмиссий, используя редуктор с одной передачей, механически постоянно связанной с колесами. Кроме того, производитель дает возможность потребителю установить два элек-

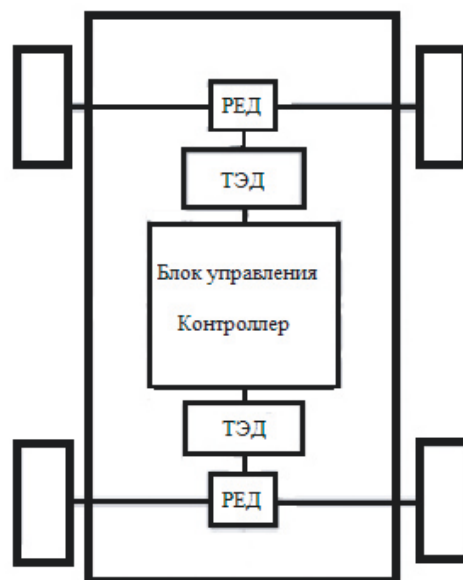


Рис. 1. Схема электромобиля с двумя электродвигателями: ТЭД – тяговый электродвигатель; РЕД – редуктор

тродвигателя, моделируя полный привод, позволяющий заменить двухступенчатую коробку передач. Данный метод описан в первом способе увеличения динамического фактора [10].

Также стоит отметить канадскую компанию «Inmotive», разработавшую и испытавшую цепную двухступенчатую КП для электромобилей. Как утверждает производитель, применение данной КП вместо редуктора увеличит запас хода и динамику электромобиля на 15%, а также сократит стоимость производства трансмиссии.

В компании «Bosch» инженеры считают, что бесступенчатая трансмиссия (вариатор) поможет электромобилям оптимизировать эксплуатационные характеристики и запас хода. Разработанный ими вариатор, по расчетам специалистов, увеличит эффективность силовой установки на 4%. На данный момент производятся его тесты на электромобиле Volkswagen e-Golf [11].

В качестве метода по улучшению динамической характеристики электромобиля на всем диапазоне его работы, применим в конструкции его трансмиссии двухступенчатую КП.

Критерием оценки целесообразности применения КП в электромобиле будет являться его динамическая характеристика, а также ускорение, скорость на разных промежутках времени и пройденный путь. Исходя из вышесказанного, приведем данные для расчета и

оценки показателей электромобиля из сегмента масс-маркет (таблица).

Определим мощность электродвигателя $P_{\text{эд.ном}}$, обеспечивающую максимальную скорость автомобиля по формуле (1) [12]:

$$P_{\text{эд.ном}} = \frac{m_a g f_0 + k_{\omega} S_{\text{л}} V_{\text{max}}^2}{h_{\text{эд}} h_{\text{тр}}} V_{\text{max}}, \quad (1)$$

где g — ускорение свободного падения, равное $9,81 \text{ м/с}^2$.

Максимальный момент электродвигателя будет обеспечиваться при минимальных оборотах, т.е. при $0 \leq n_{\text{эд}} \leq n_{\text{эд.мин}}$ [13]. После преодоления минимальных оборотов: $n_{\text{эд.мин}} < n_{\text{эд}} \leq n_{\text{эд.макс}}$, момент электродвигателя будет рассчитываться по формуле (2):

$$M_{\text{эд}} = \frac{30 P_{\text{эд.ном}}}{\pi n_{\text{эд.мин}}}, \quad (2)$$

$M_{\text{эд.макс}} = 286 \text{ Н} \cdot \text{м}$. Передаточные числа трансмиссии найдем из условий:

- для высшей передачи $u_{\text{тр.в}}$ из условий движения при номинальных оборотах с максимальной скоростью (формула 3);

$$u_{\text{тр.в}} = \frac{\pi n_{\text{эд.ном}} r_k}{30 V_{\text{max}}}. \quad (3)$$

- для низшей передачи $u_{\text{тр.н}}$ из условий преодоления максимального сопротивления движению, вызванного дорогой (формула 4):

Таблица

Исходные данные

Показатель	Электромобиль без КП	Электромобиль с КП
Количество передач	1	2
Мощность P , кВт	80	80
Полная масса m_a , кг	1430	1450
Максимальная скорость V_{max} , км/ч	144	144
Лобовая площадь $S_{\text{л}}$, м ²	2,7	2,7
Коэффициент сопротивления воздуха k_{ω} , Н · с ² /м ⁴	0,4	0,4
Радиус качения колес r_k , м	0,3	0,3
Коэффициент сопротивления качению при малых скоростях f_0	0,01	0,01
Номинальная частота вращения электродвигателя $n_{\text{эд.ном}}$, об/мин	9800	9800
Минимальная частота вращения электродвигателя $n_{\text{эд.мин}}$, об/мин	3000	3000
КПД двигателя $h_{\text{эд}}$	0,94	0,94
КПД трансмиссии $h_{\text{тр}}$	0,92	0,92

$$u_{\text{тр.н}} = \frac{m_a g \Psi_{\text{макс}} r_k}{M_{\text{эд.макс}} h_{\text{эд}} h_{\text{тр}}}, \quad (4)$$

где $\Psi_{\text{макс}}$ — коэффициент суммарного дорожного сопротивления, равный 0,24 для одиночных автомобилей [14;15]; $M_{\text{эд.макс}}$ — максимальный момент электродвигателя, Н·м.

Передаточные числа КП электромобиля из формул (3) и (4) имеют значения: $u_{\text{тр.в}} = 7,85$; $u_{\text{тр.н}} = 18,98$.

Скорости движения v , км/ч, в зависимости от частоты вращения электродвигателя определяются по формуле (5), а соответствующие им значения силы тяги F — по формуле (6):

$$v = \frac{3,6 \pi n_{\text{эд}} r_k}{30 u_{\text{тр}}}, \quad (5)$$

$$F_{\text{т}} = \frac{M_{\text{эд}} u_{\text{тр}} h_{\text{эд}} h_{\text{тр}}}{r_k}. \quad (6)$$

Динамическая характеристика и ускорение электромобиля вычисляются по формулам (7) и (8):

$$D = \frac{F_{\text{т}} - k_{\omega} S_{\omega} v^2}{m_a g}, \quad (7)$$

$$a = \frac{(D - f_v)g}{\delta_{\text{п.м.в}}}, \quad (8)$$

где $\delta_{\text{п.м.в}}$ — коэффициент приведенной массы на высшей ступени КП, учитывающий влияние вращающихся масс механической трансмиссии на величину кинетической энергии автомобиля [16].

Исходя из формул (1–8), построим графики характеристик электромобиля с двухступенчатой КП.

Динамическая характеристика электромобиля представлена на рис. 2.

График зависимости скорости от ускорения электромобиля на высшей и низшей передаче представлен на рис. 3.

График характеристики разгона электромобиля представлен на рис. 4.

График зависимости перемещения электромобиля от времени представлен на рис. 5.

В качестве передаточного числа редуктора, используемого в электромобиле, выступает передаточное число высшей передачи (формула 3). Исходя из рис. 2, можно заметить прирост динамического фактора на начальном промежутке движения электромобиля за счет применения двухступенчатой КП в роли его трансмиссии; также доказательством целесообразности ее использования выступают положительные изменения графиков зависимости ускорения от скорости, скорости от времени и перемещения транспортного средства до и после модификации.

В целом, полученные теоретические результаты позволяют судить о перспективности использования предложенного подхода, позволяющего повысить эффективность эксплуатационных характеристик электромобилей. Также следует отметить, что данные проведенных теоретических расчетов согласуются с известными практическими исследованиями, поэтому можно говорить о возможности их дальнейшего применения [17].

Стоит выделить преимущества данного решения: благодаря применяемой конструкции трансмиссии, становится возможным выполнение требований на тягово-скоростные свойства, а именно обеспечение

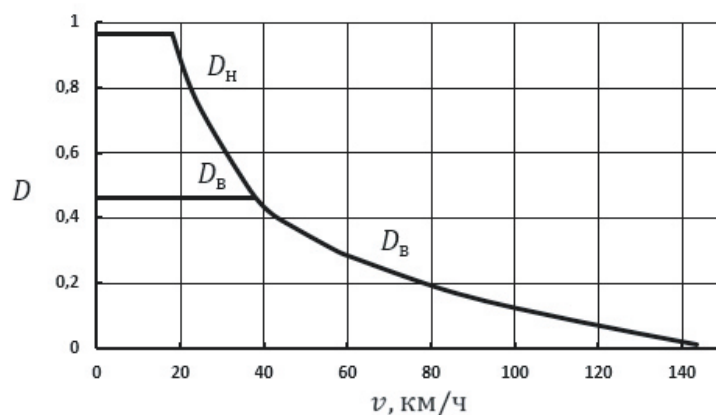


Рис. 2. Динамическая характеристика электромобиля: $D_{\text{н}}$ — динамический фактор на низшей передаче; $D_{\text{в}}$ — динамический фактор на высшей передаче

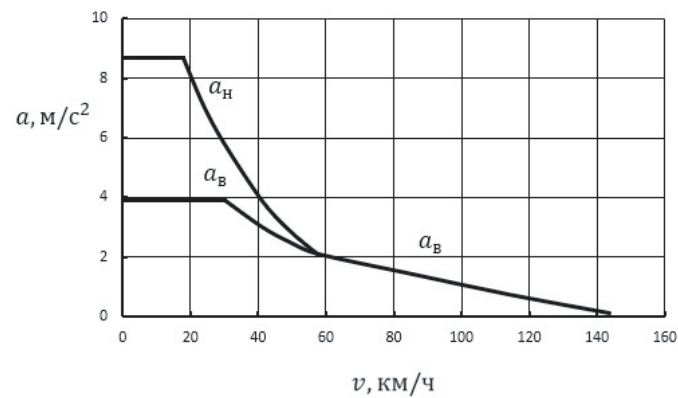


Рис. 3. Характеристика ускорения электромобиля: a_n – ускорение электромобиля на низшей передаче;
 a_b – ускорение электромобиля на высшей передаче

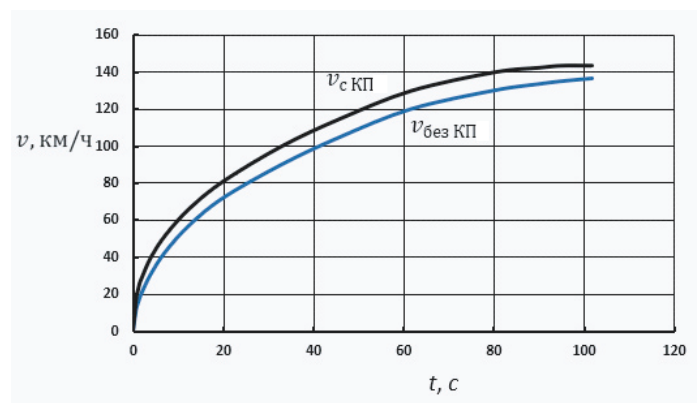


Рис. 4. График зависимости скорости от времени при разгоне электромобиля

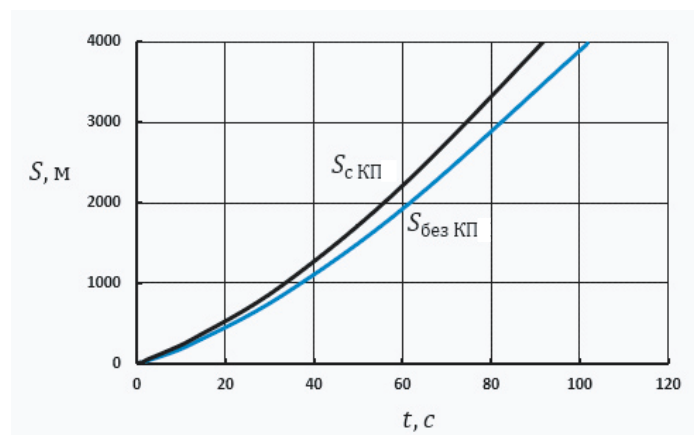


Рис. 5. График зависимости перемещения электромобиля от времени

заданной максимальной скорости и максимального динамического фактора, которые выполнить при применении одноступенчатого редуктора не представлялось возможным; как следствие увеличились мощностные показатели и снизился расход электроэнергии, что позволяет увеличить запас хода электромобиля.

Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод о целесообразности использования многоступенчатой КП в конструкции механической части трансмиссии электромобиля для повышения его динамического фактора.



Литература

1. Европа откажется от ДВС к 2035 году: парламент принял резолюцию: AUTONEWS.RU: [сайт] — URL: <https://www.autonews.ru/news/62a1be499a79476cc42538cc> (дата обращения 10.06.2022). — Текст: электронный.
2. Оценка целесообразности применения электродвигателей на автомобилях в современных условиях / А.С. Лимарев, А.О. Коваленко, Е.А. Очкова, З.С. Акманова. — Текст: непосредственный // Труды НАМИ. — 2015. — №263. — С. 132–139.
3. Анализ возможности снижения экологического воздействия автомобилей на окружающую среду / А.С. Лимарев, Ю.В. Сомова, А.О. Коваленко, Е.А. Очкова, З.С. Акманова. — Текст: непосредственный // Современные проблемы транспортного комплекса России. — 2016. — Т.6, №1. — С. 47–50.
4. Лимарев, А.С. Обзор возможности применения электромобилей / А.С. Лимарев, И.Ю. Мезин, М.Ю. Воротников. — Текст: непосредственный // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. — 2021. — Т.12., №1. — С. 87–90.
5. Скутнев, В.М. Эксплуатационные свойства автомобиля: учебное пособие / В.М. Скутнев. — Тольятти: ТГУ, 2011. — 140 с. — Текст: непосредственный.
6. Ветрогон, А.А. Повышение динамических характеристик двигателя внутреннего сгорания / А.А. Ветрогон, Л.И. Соустова, А.С. Романов. — Текст: непосредственный // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. — 2016. — Т.4, № 5–4 (25–4). — С. 216–221.
7. Тарасик, В.П. Теория движения автомобиля: учеб. для студентов, обучающихся по специальности 190201(150100) — Автомобиле- и тракторостроение / В.П. Тарасик. — Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2006. — 478 с. ISBN 5-94157-967-5. — Текст: непосредственный.
8. Хазин, М.Л. Карьерный электрифицированный транспорт / М.Л. Хазин, С.О. Штыков. — Текст: непосредственный // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2018. — Т. 16, №1. — С. 11–18.
9. Воротников, М.Ю. Сравнение эксплуатационных расходов электромобиля и автомобиля с двигателем внутреннего сгорания / М.Ю. Воротников, А.С. Лимарев, И.Ю. Мезин. — Текст: непосредственный // Транспорт: наука, техника, управление. — 2021. — №10. — С. 50–53.
10. Ларин, В. Tesla-электромобиль / В. Ларин. — Текст: непосредственный // Энергия: экономика, техника, экология. — 2016. — №1. — С. 69–72.
11. В Bosch создали вариатор, увеличивающий запас хода электромобилей. — Auto.ru: [сайт]. — URL: <https://mag.auto.ru/article/v-bosch-pridumali-variator-uvlechivayushchiy-zapas-hoda-elektromobiley/> (дата обращения 20.07.2022). — Текст: электронный.
12. Тарасик, В.П. Методика определения основных параметров и характеристик электромобиля / В.П. Тарасик, О.В. Пузанова. — Текст: непосредственный // Вестник Белорусско-Российского университета. — 2020. — №4(69). — С. 50–60.
13. Применение коробок передач в силовых приводах электротранспорта / С. Н. Поддубко, Н.Н. Ишин, А.М. Гоман, А.С. Скороходов, П.Э. Шабанов. — Текст: непосредственный // Механика машин, механизмов и материалов. — 2020. — №3 (52). — С. 5–11.
14. ГОСТ Р 52280-2004. Автомобили грузовые. Общие технические требования = Trucks. General technical requirements: национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное: утверждён и введён в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 15 декабря 2004 г. №107-ст: введен впервые: дата введения 07.01.2005 / разработан государственным научным центром Российской Федерации, Федеральным государственным унитарным предприятием «Центральный

ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский автомобильный и автомоторный институт» (ФГУП «НАМИ»). — Москва: ИПК Издательство стандартов, 2005. — 15 с. — Текст: непосредственный.

15. Слутин, А.Ф. Моделирование режимов движения и сравнения оценки топливно-энергетической эффективности гибридного электробуса / А.Ф. Слутин, Л.Г. Ручкина, В.А. Бугреев. — Текст: непосредственный // Наука и техника транспорта. — 2021. — № 1. — С. 51–56.

16. Селифонов, В.В. Теория автомобиля: курс лекций: учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности «Автомобиле- и тракторостроение» / В.В. Селифонов; Федеральное агентство по образованию, Московский гос. технический ун-т «МАМИ». — Москва: Гринлайт, 2009. — 206 с. — ISBN 978-5-903688-06-7. — Текст: непосредственный.

17. Результат исследования электромобиля на шасси «Газель» / А.Н. Блохин, А.М. Грошев, Т.А. Козлова, А.Д. Яржемский, М.С. Серопян. — Текст: непосредственный // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. — 2012. — № 12. — С. 8.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ, КОНТРОЛИРУЕМЫХ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТОЙ ФИДЕРОВ КОНТАКТНОЙ СЕТИ НА ПРИМЕРЕ ТЯГОВОЙ ПОДСТАНЦИИ «СОХОНДО» ЗАБАЙКАЛЬСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ



Р.С. Трифонов



А.В. Роголёв

В статье рассмотрен вопрос повышения надежности систем тягового электроснабжения с позиции работы релейной защиты. Выполнен анализ и представлены статистические данные работы релейной защиты фидеров контактной сети на примере тяговой подстанции «Сохондо» Забайкальской железной дороги — филиала ОАО «РЖД». Выявлены наиболее типичные виды срабатываний.

Ключевые слова: тяговое электроснабжение, релейная защита, тяжеловесное движение, фидеры контактной сети

EDN: UZZAEK

В соответствии со Стратегией развития [1], к ключевым задачам в области развития инфраструктуры холдинга «РЖД» на период до 2030 года можно отнести:

- развитие инфраструктуры с целью перехода на тяжеловесное движение с весовыми нормами поездов 9 тысяч тонн и более;
- оптимизация издержек за счет роста энергоэффективности и производительности труда, рациональной организации ремонтных и эксплуатационных работ;
- повышение безопасности перевозок и снижение рисков, связанных с влиянием «человеческого фактора» на производственный процесс.

Реализация обозначенных задач связана выполнением требований, предъявляемых к релейной защите фидеров контактной сети, таких как надежность, быстродействие, селективность и чувствительность. В условиях обращения поездов повышенной массы — 12600 тонн и более — обеспечение указанных условий не всегда достижимо, что подтверждается статистикой работы релейной защиты фидеров контактной сети на полигоне Забайкальской железной дороги — филиала ОАО «РЖД» за 2018–2019 годы (рис. 1).

Увеличение массы составов негативно сказывается на работе направленной дистанционной защиты фидеров контактной сети (НДЗ ФКС), в том числе третьей резервной ступени. Одновременное уменьше-

Трифонов Руслан Сергеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроснабжение» Забайкальского института железнодорожного транспорта – филиала ФГБОУ ВО Иркутский государственный университет путей сообщения (ЗабИЖТ ИрГУПС). Область научных интересов: релейная защита и автоматизация в электроэнергетических системах. Автор более 30 научных работ.

Роголёв Андрей Владимирович, кандидат педагогических наук, доцент кафедры «Электроснабжение» Забайкальского института железнодорожного транспорта – филиала ФГБОУ ВО Иркутский государственный университет путей сообщения (ЗабИЖТ ИрГУПС). Область научных интересов: релейная защита и автоматизация в электроэнергетических системах. Автор более 20 научных работ.

Соловьёва Оксана Александровна, ассистент кафедры «Электроснабжение» Забайкальского института железнодорожного транспорта – филиала ФГБОУ ВО Иркутский государственный университет путей сообщения (ЗабИЖТ ИрГУПС). Область научных интересов: релейная защита и автоматизация в электроэнергетических системах. Автор более 20 научных работ.

ние межпоездного интервала приводит к стремлению рабочих токов принимать максимально допустимые значения в рабочем режиме, что приводит к снижению напряжения фидера контактной сети в ряде случаев до минимально допустимого значения.

Это актуально на участках со сложным профилем пути, к которым относятся участки полигона Забайкальской железной дороги. Понижение напряжения может привести к останову составов и перевозочного процесса. Увеличение тока — к перегоям контактного провода и ложным отключениям — как следствие, останов, износ коммутационного оборудования.

Данная ситуация обусловлена устаревшими алгоритмами, заложенными в основу защиты фидеров контактной сети после перехода на микропроцессорную базу для реализации терминалов НДЗ ФКС.

Устаревшие алгоритмы не позволяют однозначно разграничить нормальный и аварийный режимы работы системы при движении поездов повышенной массы, что является их фундаментальным недостатком. Данные алгоритмы показывают значительное повышение надежности систем тягового электроснабжения при нормативах весов и интервалах обычного грузового движения. В современных условиях они не обеспечивают должного уровня надежности, что подтверждается статистикой отключений.

Современная микропроцессорная элементная база позволяет использовать широкий спектр возможностей в применении новых подходов к разработке

алгоритмов дистанционных защит. Первым шагом при разработке новых алгоритмов и в целом повышении технического совершенства релейной защиты фидеров контактной сети является понимание процессов, происходящих в системе тягового электроснабжения при пропуске поездов повышенной массы.

С данной целью на тяговой подстанции «Сохондо» Забайкальской железной дороги выполнены экспериментальные замеры показателей качества электрической энергии фидера контактной сети №4 (ФКС-4) с помощью анализатора качества электрической энергии PQM-700 (Sonel). Анализ результатов и характер изменения параметров качества электрической энергии осуществлялся преимущественно при пропуске поездов повышенной массы.

Тяговая подстанция «Сохондо» является транзитной подстанцией. Выбор фидера для установки анализатора качества обусловлен пропуском поездов повышенной массы и регулярными ложными срабатываниями третьей ступени НДЗ ФКС. Согласно отчету подстанции за 2019 год, наибольшее количество отключений на ФКС-4 составило 89 отключений, что на 33% больше, чем в 2018 году.

На данном фидере установлен микропроцессорный терминал защиты ЦЗА-27,5 кВ, оснащенный всеми необходимыми типами защит согласно действующих норм и правил [2].

Замеры проводились в период с 2020-09-08 04:22:49.242 по 2020-09-19 18:03:11.715, что составило

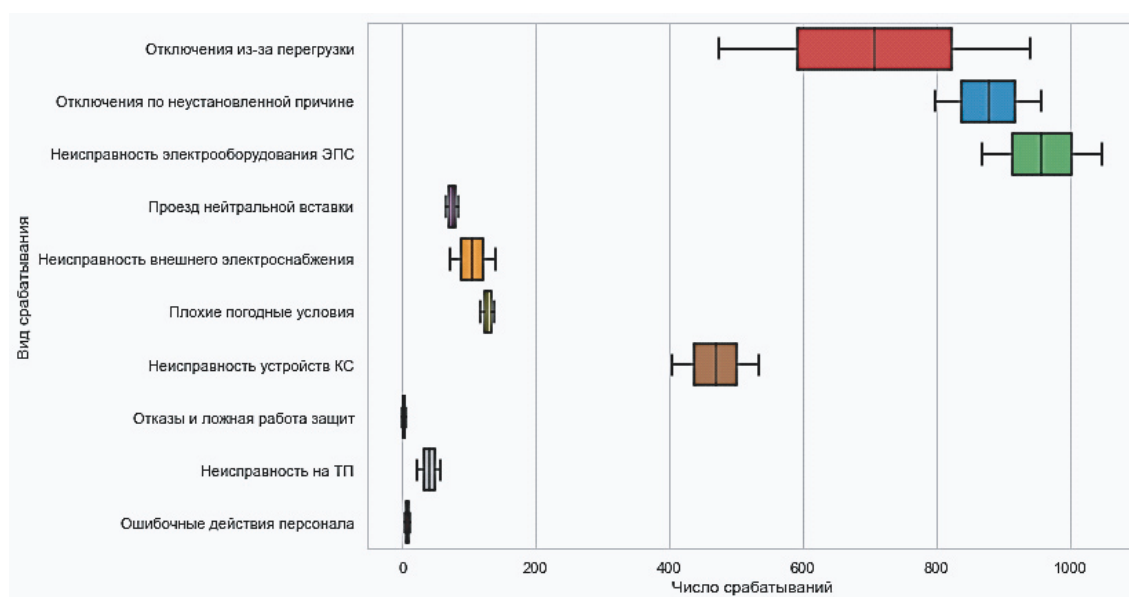


Рис. 1. Суммарная статистика работы релейной защиты фидеров контактной сети за 2018–2019 годы

общую продолжительность в 1 неделю, 4 дня, 13 часов, 40 минут и 22 секунды.

Измерялись параметры согласно [3] в количестве 14 штук. Частота дискретизации замеров составляла 1 секунду.

Для дальнейшего исследования отобраны параметры, представляющие интерес с точки зрения работы НДЗ ФКС, как для анализа текущих алгоритмов, так и для разработки новых подходов:

- U — действующее значение напряжения, кВ;
- I — действующее значение тока, А;
- CF_U и CF_I — коэффициенты пиковой амплитуды напряжения и тока;
- THD_U и THD_I — коэффициенты гармонических искажений напряжения и тока;
- U_{hx} и I_{hx} — гармоники напряжения кВ и тока, А;
- $\cos(\varphi)$ — коэффициент сдвига фаз.

Итоговая форма набора данных для исследования составила 89 переменных и 999610 наблюдений, общее количество значений 88965290. Пропущенных и дублирующих значений нет.

Перед выполнением дальнейшего анализа данных необходимо обозначить вторичные контролируемые параметры НДЗ ФКС, которые не измеряются напрямую анализатором качества, но были дополнительно рассчитаны.

Защита осуществляет расчет вторичных контролируемых уставочных параметров в виде:

$$Z(nT) = [U(nT), I(nT), \varphi_z]^T = \frac{U(nT)}{I(nT)},$$

$$\varphi_z = \arg[Z(nT)] = \arg\left[\frac{U(nT)}{I(nT)}\right],$$

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^9 I_h^2(nT)}}{I(nT)} \cdot 100\%.$$

где $Z(nT)$ — m -мерная вектор-функция, характеризующая сопротивление защищаемого фидера;

φ_z — m -мерный вектор, определяющий угол сопротивления;

$U(nT)$ и $I(nT)$ — дискретные значения вектор-функции напряжения и тока после фильтрации;

THD_I — коэффициент гармоник тока фидера;

n — количество выборок;

T — период дискретизации.

Результаты расчета описательных статистик измеренных параметров представлены в табл. 1.

Анализ описательных статистик действующего значения напряжения ФКС-4 тяговой подстанции «Сохондо» показывает, что среднее значение, равное 25.15 кВ, имеет значение, практически равное номинальному действующему значению, регламентируемому [3] и равному 25 кВ.

Стандартное отклонение, равное 0.57, указывает на то, что значения имеют незначительный разброс относительно среднего, также это подтверждает значение медианы или 50% (25.18 кВ). Эксцесс имеет значение, равное 0.39, что указывает на «острое» распределение значений напряжения, при этом наблюдаем незначительное отрицательное смещение -0.42 указывающее на то, что в целом значения смещены в большую сторону. С точки зрения работы НДЗ ФКС интерес представляет минимальное значение напряжение равное 21.93 кВ, которое приближено к минимально допустимому значению, регламентируемому [3].

На рис. 2 представлена диаграмма распределения в виде скрипичного графика (слева) и график функции

Таблица 1

Результаты расчета мер центральной тенденции

Описательные статистики	U , кВ	I , А	CF_U	CF_I	THD_U	THD_I	$\cos(\varphi)$	Z , Ом	φ , град
Среднее значение	25.15	355.06	1.59	1.59	13.51	24.11	0.47	135.28	25.15
Стандартное отклонение	0.57	186.71	0.06	0.26	3.36	10.18	0.27	259.60	0.57
Минимальное значение	21.93	5.59	1.42	1.25	2.80	8.08	-1.00	22.41	21.93
25 %	24.79	209.57	1.55	1.43	11.15	19.91	0.42	50.90	24.79
50 %	25.18	339.52	1.59	1.52	13.50	22.37	0.55	74.06	25.18
75 %	25.57	488.85	1.63	1.66	15.95	25.73	0.62	121.31	25.57
Максимальное значение	26.74	1033.10	1.97	5.95	26.22	327.67	1.00	4557.87	26.74
Смещение	-0.42	0.33	0.63	2.89	-0.03	10.94	-2.23	7.03	-0.42
Эксцесс	0.39	-0.52	0.90	12.23	-0.39	208.23	5.91	58.52	0.39

распределения (справа) значений напряжения, подтверждающая вышеуказанные выводы.

Анализ описательных статистик графиков распределения действующего значения тока, представленных на рис. 3, показывает, что среднее значение тока, равное 355.06 А, характерно для нормального режима в условиях организации грузового движения. Однако стандартное отклонение, равное 186.71 А, указывает на то, что значения тока имеют значительный разброс относительно среднего.

Медианное значение, равное 339.52 А, незначительно отличается от среднего, что указывает на смещение влево относительно среднего, также это подтверждается величиной асимметрии равной 0.33.

На рис. 4 представлено распределение значений коэффициента пиковой амплитуды напряжения. Анализ мер центральной тенденции показывает, что среднее значение равно 1.59, что достаточно близко к нормальному значению синусоидального сигнала, равному 1.414. Однако из-за переменного характера нагрузки и ряда других факторов, характерных для системы тягового электроснабжения, имеются значительные искажения напряжения, что хорошо видно по форме графика функции распределения. Стандартное отклонение равно 0.06, что указывает на незначительный разброс значений относительно среднего, также подтверждается тем, что значение медианы совпадает со значением среднего. Данные имеют нормальное распределение с небольшим смещением в сторону меньших значений так как значение смещения положительно и равно 0.63. Значение эксцесса коэффициента пиковой амплитуды напряжения равно 0.90, что указывает на наличие «острой» вершины распределения, также это подтверждается скрипичным графиком на рис. 4.

Распределение коэффициента пиковой амплитуды тока представлено на рис. 5. Совместный анализ (см.

табл. 1) показывает, что, как и напряжение, ток в среднем имеет форму, близкую к идеальной синусоиде, так как среднее значение аналогично значению коэффициента пиковой амплитуды напряжения и равно 1.59. Однако наблюдается значительно большее стандартное отклонение, равное 0.26, что указывает на смещение значений относительно среднего, также это подтверждается тем, что медиана отличается от среднего и равна 1.52. Значительная положительная величина асимметрии, равная 2.89, указывает на сдвиг распределения в сторону меньших значений, при этом сама величина смещения намного больше 1, что говорит о распределении данных по форме, отличной от нормального. Максимальное значение коэффициента пиковой амплитуды тока составляет 5.95, а эксцесс имеет значение, равное 12.23, что говорит о значительных пиковых значениях тока, составляющих примерно 5–8% от общего числа наблюдений согласно графику функции распределения.

На рис. 6 представлено распределение коэффициента гармонических искажений напряжения для основной гармоники 50 Гц. Среднее значение равно 13.51, что указывает на значительное присутствие высших гармонических составляющих в сигнале напряжения, что в целом является значимым фактором с точки зрения работы НДЗ ФКС, так как искажения сигнала в значительной степени влияют как на результаты замеров, так и на работу защиты. Стандартное отклонение равно 3.36, что указывает на незначительное смещение наблюдений относительно среднего, что дополнительно подтверждается тем, что медианное значение практически равно среднему и составляет 13.50. Максимальное значение коэффициента гармонических искажений напряжения равно 26.22, что указывает на значительное искажение формы сигнала, при этом число подобных наблюдений, согласно графику функции распределения,

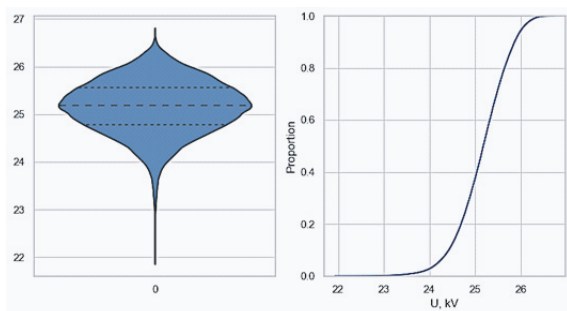


Рис. 2. Скрипичный график и график функции распределения напряжения

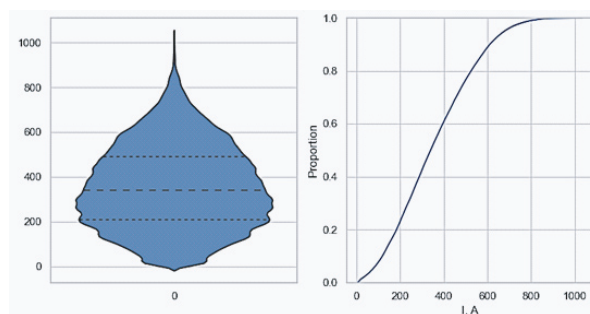


Рис. 3. Распределение тока

составляет от 3 до 5% от общего числа наблюдений. Значение смещения составляет -0.03 , а значение эксцесса -0.39 , что указывает на распределение данных, близкое к нормальному.

Распределение коэффициента гармонических искажений тока представлено на рис. 7. Согласно графику среднее значение коэффициента равно 24.11 , что свидетельствует о загрязнении сигнала тока высшими гармоническими составляющим по сравнению с напряжением. Данное обстоятельство негативно влияет на работу НДЗ ФКС.

Медиана, равная 22.37 , указывает на смещение значений влево относительно среднего, при этом величина асимметрии составляет 10.94 , что свидетельствует о сильном смещении в сторону меньших значений и форма распределения данных не является нормальной. Значительное значение эксцесса, равное 208.23 , показывает, что форма распределения имеет значительную острую вершину и длинные хвосты. Анализ скрипичного графика свидетельствует, что правый хвост распределения имеет значительную

величину из-за относительно редких тяжеловесных поездов по отношению к числу поездов других типов. Максимальное значение коэффициента гармонических искажений тока равно 327.67 и количество подобных наблюдений составляет от 3 до 5% от общего числа наблюдений, что характерно для поездов повышенной массы. Высокое максимальное значение коэффициента говорит о том, что при пропуске тяжеловесных поездов форма тока в значительной степени искажена.

На рис. 8 представлено распределение коэффициента сдвига фаз. Среднее значение коэффициента равно 0.47 , что указывает на неудовлетворительное качество электрической энергии. Медианное значение равно 0.55 , что говорит о смещении наблюдений относительно среднего значения в сторону больших значений. Минимальное и максимальное значения изменяются от -1 до 1 , что говорит об изменении характера нагрузки от емкостной до индуктивной. При этом большая часть нагрузки согласно графику функции распределения имеет индуктивный харак-

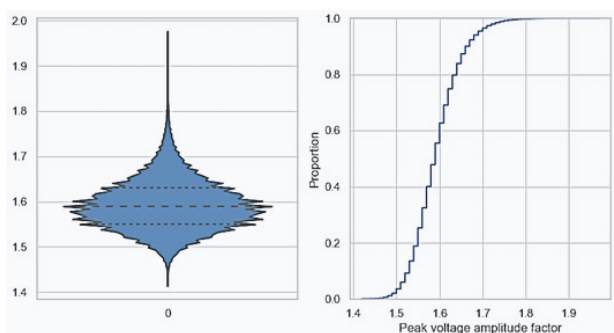


Рис. 4. Распределение коэффициента пиковой амплитуды напряжения

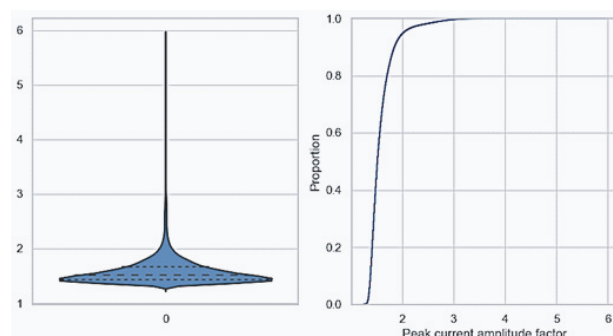


Рис. 5. Распределение коэффициента пиковой амплитуды тока

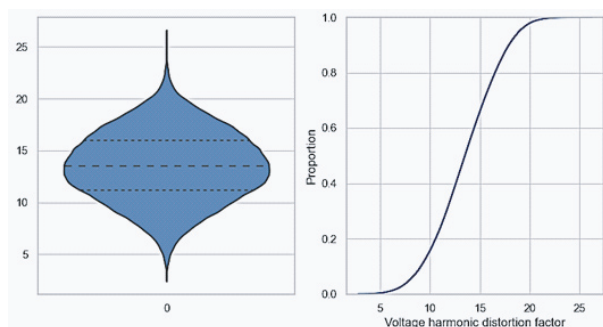


Рис. 6. Распределение коэффициента гармонических искажений напряжения

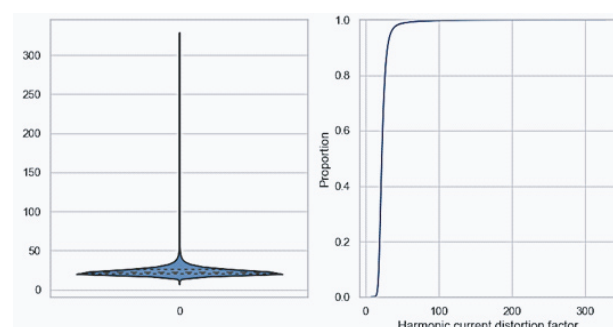


Рис. 7. Распределение коэффициента гармонических искажений тока

тер и длинный хвост в сторону емкостной нагрузки. С точки зрения работы НДЗ ФКС данное обстоятельство является осложняющим фактором, так как может привести к искажению дистанционных замеров и, как следствие, к отказам или ложным срабатываниям защиты. Отрицательное смещение, равное -2.23 указывает на сдвиг в сторону больших значений, а высокое значение эксцесса, равное 5.91 , говорит о том, что по краям распределения находится больше значений, чем вокруг среднего.

Распределение сопротивления нагрузки представлено на рис. 9. Среднее значение равно 135.28 Ом, что в целом нормально для грузового движения, так как согласно [4;6] к нормальному режиму по критерию сопротивления относятся значения $Z > 30$ Ом. Стандартное отклонение, равное 259.60 Ом, указывает на то, что значения сильно смещены относительно среднего, что также подтверждается формой скрипичного графика и значительным отличием медианы от среднего значения, равного 74.06 Ом.

Минимальное значение сопротивления составило 22.41 Ом, что, согласно критериям граничных условий, представленных в [4], свидетельствует о значениях нагрузки при пропуске тяжеловесных поездов повышенной массы ниже границы принятого нормального режима. Максимальное значение сопротивления нагрузки, равное 4557.87 Ом, образовано от минимального значения тока 5.59 А, что говорит о возможном наличии уравнильных токов на исследуемой межподстанционной зоне, что также является осложняющим фактором для НДЗ ФКС. Значительное положительное значение асимметрии, равное 7.03 Ом, говорит о сдвиге распределения в сторону меньших значений. Значение эксцесса сопротивления, равное 58.52 Ом, указывает на наличие длинных хвостов и показывает, что по краям рас-

пределения находится больше значений, чем вокруг среднего.

На рис. 10 представлено распределение фазового угла между первыми гармониками напряжения на шинах подстанции и током фидера. Среднее значение угла составляет 25.15° и является положительным фактором, так как согласно [4] граничным условием по углу является значения $\varphi < 40^\circ$. Относительно незначительная величина стандартного отклонения, равная 0.57 , а также практически совпадающее со средним значение медианы, равное 25.18 и отрицательное значение асимметрии, равное -0.42 указывают на незначительный разброс значений относительно среднего и их смещение в сторону больших значений. Положительное значение эксцесса угла, равное 0.39 , указывает на острую форму распределения, что подтверждается формой скрипичного графика.

В данной работе выполнено исследование основных мер центральной тенденции параметров, контролируемых релейной защитой фидеров контактной сети при организации движения поездов повышенной массы на примере четвертого фидера контактной сети тяговой подстанции «Сохондо» Забайкальской железной дороги.

Результаты исследования подтверждают гипотезу авторов о том, что при организации движения повышенной массы на регулярной основе наблюдается снижение напряжения в фидере контактной сети к граничным значениям минимально допустимого значения, регламентируемого [3], что представлено в виде хвоста с диапазоном значений от 23 до 22 кВ (см. рис. 2). При этом значения тока фидера также стремятся к максимально допустимым значениям и выходят за границы нормального режима, равного 850 А, указанного в [4]. Данный факт представлен в виде хвоста распределения значения тока на рис. 3.

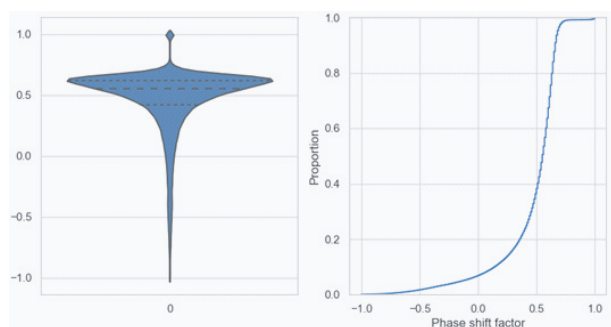


Рис. 8. Распределение коэффициента сдвига фаз

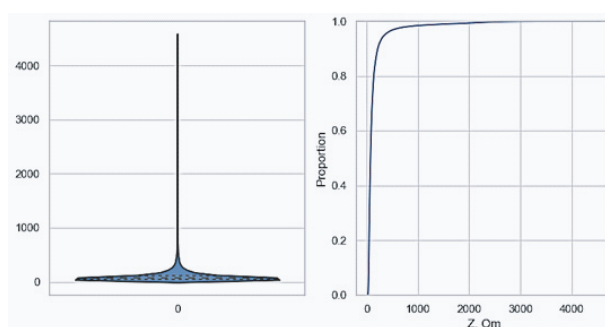


Рис. 9. Распределение сопротивления нагрузки

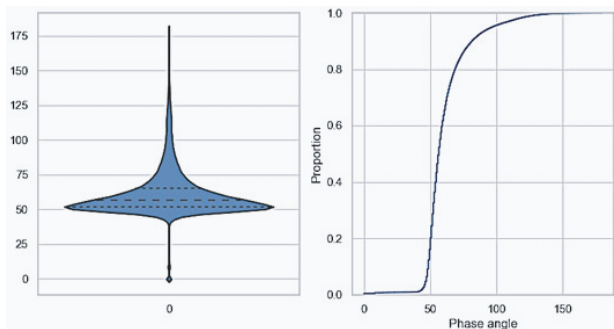


Рис. 10. Распределение фазового угла между первыми гармониками напряжения на шинах подстанции и током фидера

Организация движения повышенной массы не лучшим образом сказывается на качестве электрической энергии и приводит к значительным искажениям формы сигнала тока и напряжения, что подтверждается высокими значениями коэффициентов пиковой амплитуды в своем максимуме, достигающих 1.97 и 5.95 для напряжения и тока соответственно. При пропуске поездов повышенной массы наблюдается сильное «загрязнение» тяговой сети высшими гармоническими составляющими, что подтверждается высокими значениями коэффициентов гармонических искажений напряжения и тока, в своем максимуме достигающих значений 26.22 и 327.67 соответственно. Стоит отметить крайне низкое среднее значение, что указывает неудовлетворительное качество электрической энергии.

Вышеуказанные факты негативно сказываются на качестве и точности работы НДЗ ФКС и как

следствие на надежности перевозочного процесса. Распределение сопротивления нагрузки и угла между первыми гармониками напряжения на шинах подстанции и током фидера свидетельствует о том, что при организации движения поездов повышенной массы наблюдается перекрытие зон нормального и аварийного режимов. Результатом этого является неоднозначность в оценке режима НДЗ ФКС и увеличение числа срабатываний защит по перегрузке и неизвестным причинам.

Таким образом, текущая элементная база НДЗ ФКС позволяет реализовывать принципиально новые алгоритмы защиты, но используемые в настоящее время классические подходы не реализуют весь потенциал текущей элементной базы, не позволяют однозначно разграничить нормальный и аварийный режимы работы. Это приводит к невыполнению ключевых требований, предъявляемых к релейной защите в виде селективности, надежности и устойчивости.

Для решения обозначенных проблем авторами предлагается внести изменения в алгоритм работы резервной ступени НДЗ ФКС [7–9]. По мнению авторов, алгоритм должен быть не статическим, т.е. неизменным, а динамическим, постоянно меняющимся по отношению к нагрузке. Подобная адаптация к сопротивлению нагрузки позволит исключить ложное срабатывание резервной ступени НДЗ ФКС в нормальном режиме и в ряде случаев повысит ее чувствительность при токах нагрузки меньше токов КЗ. При аварийных режимах защита может возвращаться к обычной характеристике, используя данные гармонического спектра и скорость изменения напряжения. 

Литература

1. Стратегия развития холдинга «РЖД» на период до 2030 года (основные положения). — URL: <https://company.rzd.ru/ru/9353/page/105104?id=804> (дата обращения: 10.02.2022). — Текст: электронный.
2. СТО РЖД 07.021.1-2015. Защита систем электроснабжения железной дороги от коротких замыканий и перегрузки. Часть 1. Общие принципы и правила построения защит, блокировок и автоматики в системах тягового электроснабжения : утвержден и введен в действие Распоряжением ОАО «РЖД» от 27.05.2015 г. №1351р : дата введения : 2015-08-01. — Текст: электронный // Технорматив [сайт]. — URL: <https://normativ.su/catalog/standart/1001/387395/?ysclid=laaq8p6zvf805064738> (дата обращения: 10.11.2022).
3. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения = Electric energy. Electromagnetic compatibility of technical equipment. Power quality limits in the public power supply systems: национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное: введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 22 июля 2013 г. №400-ст: дата введения 2014-07-01 / разработан Обществом с ограниченной ответственностью «ЛИНВИТ» и Техническим комитетом по стандартизации ТК 30 «Электромагнитная совместимость технических средств». — Москва: Стандартинформ, 2014. — 20 с. — Текст: непосредственный.

4. СТО РЖД 07.021.4-2018 Защита систем электроснабжения железной дороги от коротких замыканий и перегрузки, часть 4. Методика выбора установок защит в системе тягового электроснабжения переменного тока, утверждена распоряжением ОАО «РЖД» от 07.04.2016 г. №615р.

5. Рыбакова, И.Ю. Влияние высших гармоник на надежность работы электрических сетей и потери электроэнергии / И.Ю. Рыбакова, И.Ф. Суворов, С.В. Хромов. — Текст: непосредственный // Актуальные проблемы электроэнергетики: сборник статей научно-технической конференции — Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева. — Нижний Новгород, 2020. — С. 226—231.

6. Рыбакова, И.Ю. Некоторые вопросы влияния качества электроэнергии на надежность работы энергосистем, потери мощности в электрических сетях и достоверность передаваемой информации в несинусоидальных и несимметричных режимах работы электрических систем / И.Ю. Рыбакова, И.Ф. Суворов, С.В. Хромов. — Текст: непосредственный // Наука и образование: актуальные исследования и разработки: материалы III Всероссийской научно-практической конференции; Забайкальский гос. университет. — Чита, 2020. — С. 50—56.

7. Патент №201026 Российская Федерация, МПК H02H 7/26 (2006/01) Устройство третьей ступени дистанционной защиты фидеров контактной сети: №2020111263: заявл.05.06.2020., опубликовано 24.11.2020; бюл. №33. / Р.С. Трифонов, С.А. Филиппов, Д.А. Яковлев, О.А. Соловьёва; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Иркутский государственный университет путей сообщения. — Текст: непосредственный.

8. Филиппов, С.А. Разработка способа идентификации режима работы системы тягового электроснабжения третьей ступенью дистанционной защиты фидеров контактной сети при пропуске поездов повышенной массы / С.А. Филиппов, Д.А. Яковлев, Р.С. Трифонов. — Текст: непосредственный // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. — 2015. — №2 (58). — С. 132—140.

9. Филиппов, С.А. Факторный анализ работы дистанционной защиты фидеров контактной сети в условиях организации тяжеловесного движения / С.А. Филиппов, Р.С. Трифонов, О.А. Соловьёва. — Текст: непосредственный // Транспорт Урала. — 2020. — №1 (64). — С. 94—99.

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ И ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ПРАВОНАРУШЕНИЙ НА ОБЪЕКТАХ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ



М.И. Муконина



В.Д. Швалов

В статье обоснована необходимость разработки и реализации интеллектуальной системы, осуществляющей контрольно-надзорную деятельность на объектах транспортной инфраструктуры. Преимущество предлагаемой системы состоит в возможности непрерывного анализа происходящих событий и выводе информации специалистам в режиме реального времени.

Ключевые слова: транспортная система, искусственный интеллект, машинное обучение, система видеонаблюдения

EDN: GYKDMY

Внедрение интеллектуальных цифровых технологий на сегодняшний день является одной из важнейших задач в области обеспечения безопасности на транспорте. Защита общества и государства от внешних и внутренних угроз в транспортной сфере является приоритетным направлением концепции транспортной безопасности. Антитеррористические требования в данной области носят объективный характер, так как обусловлен значительный рост террористических актов в мире, что является непосредственной опасностью для транспортного комплекса. Железнодорожный, автомобильный и водный транспорт продолжают оставаться сферами, наиболее подверженными угрозе террористических актов.

Однако опыт и исследования показывают, что не только террористические акты являются причиной, приводящей к несчастным случаям на транспорте.

В подавляющем большинстве случаев нарушения человеком правил поведения на транспорте приводит к травмированию или гибели людей. В связи с этим необходимо своевременно выявлять и призывать к ответственности нарушителей, тем самым снижая количество транспортных происшествий.

Ввиду большого количества транспортных объектов задача обеспечения круглосуточного качественного контроля является сложно реализуемой с точки зрения отсутствия необходимого количества специалистов, способных вести непрерывное наблюдение. Поэтому необходимость внедрения интеллектуальных цифровых технологий для обеспечения транспортной безопасности актуальна на данный момент.

Проблема внедрения интеллектуальных технологий на различных видах транспорта рассматривается в статье [1], основной целью которой является иссле-

Муконина Мария Ильинична, аспирант кафедры «Вычислительная техника и автоматизированные системы управления» Ростовского государственного университета путей сообщения (РГУПС). Область научных интересов: искусственный интеллект, big data, базы данных, разработка приложений на языке Python, информационные системы на транспорте. Автор 10 научных работ, в том числе одного учебника.

Швалов Валерий Дмитриевич, аспирант кафедры «Автоматика и телемеханика на железнодорожном транспорте» Ростовского государственного университета путей сообщения (РГУПС). Область научных интересов: нейронечеткие модели, иммунологические модели, интеллектуальные методы прогнозирования нештатных ситуаций, информационные системы на транспорте. Автор 16 научных работ.

дование тенденций инновационного развития транспортных систем с применением технологий искусственного интеллекта.

Системы искусственного интеллекта получили стремительное развитие в современной цифровой среде. Интеллектуальные программные продукты нашли свое применение во многих сферах жизни общества, в том числе и в транспортной отрасли [2]. В настоящее время искусственный интеллект является постоянно развивающимся направлением и применяется во многих системах и устройствах. В [3] рассмотрены основные технологии развития искусственного интеллекта, одна из которых — компьютерное зрение. Его главная задача — анализ изображений или видео с помощью методов, дающих возможность устройству извлечь информацию из увиденного. Такие системы состоят из видекамеры и программного обеспечения, способного распознавать объекты и работают по ранее запрограммированному алгоритму, тем самым демонстрируют способность самостоятельного мышления [4].

Анализ образа исследуемого объекта на изображении или серии изображений является одним из наиболее популярных методов получения информации об исследуемом объекте [5]. Например, в [6] описана программно-аппаратная система мониторинга и контроля, которая в качестве источника первичной информации о состоянии и поведении объекта использует изображения, полученные в видимом и инфракрасном диапазонах длин волн.

Целью статьи является рассмотрение ряда вопросов и проблем в области транспортной безопасности, а также разработка интеллектуальной информационной системы для обнаружения и предотвращения нештатных ситуаций при использовании средствами железнодорожного, автомобильного и водного транспорта.

Случаи нарушения правил пользования средствами железнодорожного, автомобильного и водного транспорта

Процесс глобальной информатизации и автоматизации является одним из основных векторов направления развития транспортной отрасли до 2030 года. В связи с этим, вектор развития института административной ответственности за правонарушения на транспорте, в рамках реформирования контрольно-надзорной деятельности, необходимо направить в сторону цифровизации и интеллектуализации систем контроля за правонарушениями, так как ручное отслеживание не всегда выполняется надежно, и противоправные действия часто остаются незамеченными. Например, отслеживание правонарушителя требует, чтобы кто-

то вручную следовал за ним в пределах определенной камеры. Когда он покидает поле зрения одной камеры, необходимо определить соответствующую камеру, также выбранную вручную. Кроме того, оператор должен поставить себя на новую точку зрения, чтобы поддерживать отслеживание. Очевидно, что это сильно ограничивает количество одновременно отслеживаемых лиц, что способствует частым случаям правонарушений при пользовании средствами железнодорожного, автомобильного и водного транспорта.

В июле 2021 года в Ростовской области на станции Азов школьник залез на крышу стоящего грузового вагона и был травмирован контактным проводом напряжением 27,5 киловольт. Школьник получил ожоги 90% тела. Спасти его не удалось. В ходе судебного заседания суд не нашел вины железнодорожников в случившемся, однако отметил, что железная дорога является источником повышенной опасности и возложил на ОАО «РЖД» материальную ответственность за произошедшее.

Еще один случай произошел в сентябре 2021 года в Ростовской области. На станции Зверево под колесами грузового поезда погиб мужчина. Причиной смертельного травмирования стало нарушение правил поведения на железной дороге, а именно — переход железнодорожный путей в неположенном месте.

В декабре 2017 года в Охотском море с судна СРТМ «Иоланта» выпал за борт и утонул боцман. Судно находилось на промысловом рейде. Следственный комитет провел проверку по признакам преступления, предусмотренного частью 2 статьи 143 Уголовного кодекса Российской Федерации (нарушение требований охраны труда, повлекшее по неосторожности смерть человека). Причина случившегося — нарушение требований охраны труда на борту.

В сентябре 2021 года в городе Невинномыске Ставропольского края был допущен наезд на пешехода, который пересекал проезжую часть дороги вне пешеходного перехода с прилегающей территории. В состоянии травматического шока, с контузией головного мозга пешеход доставлен в больницу. За рулем иномарки был местный житель. В момент аварии водитель был трезв, злостным нарушителем ПДД не являлся. Выяснилось, что пешеход был одет в темную одежду без световозвращающих элементов. Водитель не мог его заметить в сумерках.

Все вышеперечисленные случаи относятся к административным правонарушениям, предусмотренными статьей 104 Кодекса Российской Федерации об административных правонарушениях. Снижение подобных правонарушений и их своевременное выявление возможно путем применения интеллектуальной информационной системы для обнаружения и предотвращения

нарушений правил пользования средствами железнодорожного, автомобильного и водного транспорта.

Структура и функции интеллектуальной информационной системы видеонаблюдения

Данная система позволит с помощью средств видеофиксации и технологий искусственного интеллекта своевременно выявлять и предотвращать правонарушения на объектах транспортной системы. Автоматизированное круглосуточное наблюдение для обеспечения безопасности участников транспортного движения при соблюдении конфиденциальности станет залогом минимизации рисков для здоровья и жизни людей.

Предлагается подход, предусматривающий использование интеллектуальной камеры, применимый для наблюдения в зонах, чувствительных к конфиденциальности: основная обработка выполняется автоматически и встроена в каждый узел камеры. Цель предлагаемой системы состоит в том, чтобы анализировать реальный мир и отражать всю релевантную информацию в интегрированном виртуальном аналоге круглосуточно в режиме реального времени.

На сегодняшний день системы видеонаблюдения можно классифицировать по следующим критериям:

- ручной или автоматизированный — определяет, выполняется ли анализ видеоматериала оператором-человеком или соответствующая информация уже получена из необработанного видеопотока автоматическим способом;
- централизованный или распределенный — обработка выполняется на централизованной установке сервера или распределена и встроена в сеть интеллектуальных камер [7].

Существует множество архитектур интеллектуальных камер, разработанных в научных кругах и промышленности. Они предназначены для приложений машинного зрения и автоматизации, а также используются в системах видеонаблюдения. Все интеллектуальные камеры объединяет сочетание датчика, встроенного процессора и подключения, которое в настоящее время часто является сетевым устройством. Средства обработки могут быть классифицированы в процессорах цифровых сигналов, процессорах общего назначения.

В секторе видеонаблюдения, появляются IP-камеры, основной целью которых является передача видеопотоков в реальном времени в сеть с помощью автономных камер с беспроводным подключением по *Ethernet* и встроенная обработка, которая обеспечивает получение изображений, сжатие (*mjpeg* или

mpeg4), веб-сервер и стек *TCP/IP* [7]. Дальнейшая обработка обычно ограничивается определяемым пользователем обнаружением движения. Все базовые вычислительные ресурсы скрыты от пользователя. Граница между двумя сторонами становится все более и более размытой по мере того, как интеллектуальные камеры машинного зрения получают подключение *Ethernet*, а с другой стороны *IP*-камеры получают больше вычислительной мощности и доступа пользователей к ресурсам обработки.

Архитектура верхнего уровня данной системы наблюдения и визуализации состоит из трех уровней: уровень сенсорного анализа, уровень виртуального мира и уровень визуализации.

В компоненте «съемка сцены» рассматривается получение трехмерной модели фоновых сцен с помощью мобильной сенсорной платформы. В качестве альтернативы можно использовать двумерный (*2D*) план местности.

Компонент «анализ сцен» — это распределенная сеть интеллектуальных камер для анализа сцен, в которой в каждом узле камеры одновременно выполняются как отслеживание с географической привязкой, так и распознавание активности. Все узлы камеры передают свои результаты на уровень сервера [8]. Этот подход к интеллектуальной камере обеспечивает оптимальную масштабируемость, т.е. требования к обработке нового узла камеры полностью покрываются встроенными средствами обработки. Требования к пропускной способности и производительности сервера постепенно возрастают с каждым узлом камеры.

Виртуальный мир действует как интерфейс абстракции для отделения клиентов визуализации от анализа сцены на основе камеры. Он реализован на уровне сервера для получения всей информации из сети смарт-камер, сохраняет ее в модели виртуального мира и предоставляет доступ к этой модели клиентам визуализации. Виртуальный мир управляет настройкой и инициализацией всех узлов камеры, собирает результирующие данные отслеживания и распознавания активности и обеспечивает передачу объектов между камерами. Он содержит узел сервера камеры в качестве основного компонента, веб-сервер и узел веб-приложения, узел хранения базы данных, узел статистики и узел сигнализации. Масштабируемость системы также обеспечивается на уровне сервера. Каждый узел может работать на выделенном сервере, однако все узлы уровня сервера могут работать вместе на одном серверном компьютере.

Соответствующие результаты анализа распределенных сцен встроены в реальном времени в одну согласованную трехмерную модель мира с географи-

ческой привязкой. Статическое размещение каждой камеры позволяет использовать фоновую модель для сегментации движущихся объектов. Это устройство предназначено для моделирования фактического фона в режиме реального времени, т.е. объекты переднего плана могут быть извлечены очень надежно. Кроме того, важно, чтобы модель адаптировалась к медленным изменениям внешнего вида, например, освещения фона сцены. Из-за встроенного характера данной системы устройство должно быть очень эффективным в вычислительном отношении, чтобы соответствовать требованиям реального времени. Для обработки сегментации, т.е. преобразования с уровня необработанного пикселя на уровень объекта применяются этапы эрозии и увеличения области.

Подавление тени требуется для повышения надежности приложений поверх отслеживания — для работы распознавания активности. Если объект еще не отслеживается существующим фильтром частиц, создается экземпляр нового фильтра с текущим внешним видом в качестве целевого и назначается этому объекту. Существующий фильтр твердых частиц, который не находит интересующую область достаточно близко в течение определенного промежутка времени, удаляется. Это позволяет отслеживать несколько объектов, где каждый объект представлен отдельным цветовым фильтром частиц. Два фильтра частиц, которым назначена одна и та же область интереса, например, два человека, которые идут рядом друг с другом после встречи, обнаруживаются на последнем этапе, и один из них удаляется, если объект не разделяется снова через определенное время.

Выборка максимального правдоподобия, представляющая наиболее вероятное положение и масштаб в координатах камеры, дополнительно обрабатывается в 2D-формате. В качестве альтернативы можно использовать среднее значение. Однако в случае мультимодальных распределений, с которыми могут работать фильтры твердых частиц, данный способ приведет к худшей оценке. Это устройство преобразует область изображения в общую и привязанную к географической привязке трехмерную мировую систему координат, используя предположение о плоском полу и данные калибровки камеры. Подводя итог, можно сказать, что каждый узел интеллектуальной камеры предоставляет свои результаты в мировых координатах с географической привязкой с учетом происхождения локальной модели, например, плана местности, местоположение которой известно по GPS. Пример работы вышеописанной системы представлен на рисунке.

Для достижения бесшовного межкамерного отслеживания, отделенного от каждого соответствующего узла датчика, блок передачи объединяет объ-

екты, отслеживаемые разными узлами камеры, если они находятся в пространственной близости. Чтобы уменьшить несоответствия во время передачи из-за пространственных неоднозначностей, также учитывается внешний вид объекта.

Для того, чтобы система могла идентифицировать человека, намеревающегося совершить правонарушение и предупредить об опасности и противоправности его действий, необходимо использовать технологии искусственного интеллекта. Так, при появлении человека на путях, где осуществляется движение поездов, или при попытке перехода дороги на красный сигнал светофора, система должна распознать человека и сигнализировать об опасности с помощью подачи звукового сигнала. Интеллектуальная система также направлена на предотвращение несанкционированного проникновения на подвижной состав и средства водного транспорта, а также информирование сотрудников надзорного ведомства о совершении правонарушения.

Разработка информационной системы для обнаружения и предотвращения нарушений правил пользования средствами железнодорожного, автомобильного и водного транспорта позволит на основе собранных статических данных решить задачу регрессии и принять меры по дополнительной защите объектов транспорта.

Для повышения эффективности работы системы обработка данных информационной системы будет производиться на основе технологий искусственного интеллекта с применением нейронных сетей.

Таким образом, разработка интеллектуальной информационной системы для обнаружения и предотвращения нарушений правил пользования средствами железнодорожного, автомобильного и водного транспорта позволит с помощью средств видеофиксации и технологий искусственного интеллекта идентифицировать человека, нарушающего правила пользования объектами транспортной системы, с помощью систем оповещения сделать ему предупреждение о неправомерности его действий, а также составить статистику, позволяющую заранее спрогнозировать опасные участки транспортной инфраструктуры и предотвратить правонарушения. 🚦

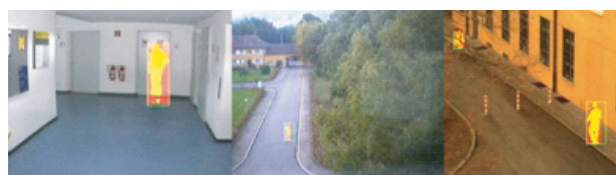


Рисунок. Примеры отслеживания smart-камер

Литература

1. Чеченова, Л.М. «Интеллектуальные» перспективы железной дороги / Л.М. Чеченова. — Текст: непосредственный // Тренды экономического развития транспортного комплекса России: форсайт, прогнозы и стратегии, МОСКВА, 21 апреля 2021 года / Институт экономики и финансов Российского университета транспорта (МИИТ). — Москва: ООО «Научно-издательский центр Инфра-М», федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет транспорта», 2021. — С. 317–320.
2. Москат, Н.А. Место систем искусственного интеллекта в современной транспортной отрасли / Н.А. Москат, Н.Р. Осипова. — Текст: непосредственный // Сборник научных трудов «Транспорт: наука, образование, производство»: Труды Международной научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, 20–22 апреля 2021 года. — Ростов-на-Дону: Ростовский государственный университет путей сообщения, 2021. — С. 150–153.
3. Лященко, З.В. Технологии развития искусственного интеллекта / З.В. Лященко, В.Р. Хусаинов. — Текст: непосредственный // Цифровые инфокоммуникационные технологии: сборник научных трудов, Ростов-на-Дону, 07 сентября 2021 года. — Ростов-на-Дону: Ростовский государственный университет путей сообщения, 2021. — С. 68–71.
4. Лященко, А.М. Проблемы и перспективы применения искусственного интеллекта на железнодорожном транспорте / А.М. Лященко, Д.В. Швалов. — Текст: непосредственный // Современное развитие науки и техники: сборник научных трудов Всероссийской национальной научно-практической конференции Наука-2020; РГУПС. — Ростов-на-Дону: Ростовский государственный университет путей сообщения, 2022. — С. 194–197.
5. Локтев, Д.А. Моделирование функции размытия образов на изображениях, используемых в системах мониторинга транспортных объектов / Д.А. Локтев, В.А. Кочнев, А.А. Локтев // Наука и техника транспорта. — 2020. — №3. — С. 83–90.
6. Локтев, Д.А. Возможность распознавания лиц в инфракрасном диапазоне / Д.А. Локтев, В.А. Кочнев, А.А. Локтев // Наука и техника транспорта. — 2019. — №2. — С. 77–83.
7. Carey, S. Low power high-performance smart camera system based on SCAMP vision sensor / S. Carey, D. Barr, P. Dudek. — Journal of Systems Architecture Volume 59, Issue 10, Part A, November 2013, Pages 889–899. — Текст: непосредственный.
8. Шалев—Шварц, Ш. Идеи машинного обучения: от теории к алгоритмам: учебное пособие / Ш. Шалев—Шварц, Ш. Бен-Давид; пер. с англ. А.А. Слинкина. — Москва: ДМК Пресс, 2019. — 436 с. — Текст: непосредственный.
9. Шумский, С.А. Машинный интеллект. Очерки по теории машинного обучения и искусственного интеллекта / С.А. Шумский. — Москва: РИОР, 2019. — 340 с. — DOI: <https://doi.org/10.29039/02011-1>. — ISBN 978-5-369-02011-1. — Текст: непосредственный.

АНАЛИЗ СЛУЧАЕВ ТРАНСПОРТНЫХ НАРУШЕНИЙ, ВЛИЯЮЩИХ НА ТЕХНОСФЕРНУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Подробно проанализированы количество и причины транспортных нарушений, вызвавших нарушение безопасности движения в результате профессиональной деятельности оперативного персонала за 2017–2021 гг.; выполнена соответствующая классификация.

Ключевые слова: транспортное нарушение, анализ нарушений, безопасность перевозок, техносферная безопасность

EDN: JDSFOO



В.А. Аксенов



Г.М. Биленко

В условиях повсеместной автоматизации производственных процессов может показаться, что роль человека уменьшается. Но на самом деле, несмотря на широкое внедрение средств автоматики, телемеханики и вычислительной техники, роль человека как звена системы управления не снижается, а возрастает [1].

Статистика показывает, что люди погибают или становятся инвалидами от воздействия различных неблагоприятных факторов природного, техногенного, антропогенного, биологического, экологического и

социального характера. Изменения и реформы, происходящие на железнодорожном транспорте, существенно влияют на состояние безопасности перевозок [2].

Проблема повышения уровня техносферной безопасности на транспорте является актуальной, в этой связи целесообразно рассмотреть взаимосвязь транспортных инцидентов и человеческого фактора, их влияние на техносферную безопасность [6].

Для того, чтобы понять, что необходимо предпринять, какие рекомендации разработать и как повысить

Аксенов Владимир Алексеевич, доктор технических наук, профессор, Заслуженный деятель науки РФ, заведующий кафедрой «Техносферная безопасность» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: технология транспортного машиностроения, ресурсосберегающие технологии на транспорте. Автор более 200 научных работ, в том числе четырех монографий, одного учебника и 14 учебных пособий.

Биленко Геннадий Михайлович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Управление транспортными процессами» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: вопросы расчета и анализа, выбора способов усиления пропускной способности железнодорожных станций, участков и направлений, совершенствования технологии работы железнодорожных станций. Автор 47 научных работ.

Завьялов Антон Михайлович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Техносферная безопасность» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: обеспечение надежности и безопасности железнодорожного транспорта. Автор 60 научных работ, в том числе одной монографии.

Власова Елена Сергеевна, старший преподаватель кафедры «Управление транспортными процессами» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: техносферная безопасность, управление перевозками, безопасность движения, совершенствование технологии перевозочного процесса, современные технологии работы станций, математическое моделирование транспортных процессов, технологии системы обслуживания грузоперевозчика, грузовая работа на станции. Автор 25 научных работ.

качество работы сотрудников, вовлеченных в перевозочный процесс, авторами выполнен анализ статистических данных об инцидентах на железнодорожном транспорте по сети дорог за 2017–2020 гг.

Данные статистики по транспортным происшествиям и иным событиям, допущенным в Российской Федерации за 2017–2021 гг. и отнесенным к ответственности хозяйства железнодорожных перевозок, представлены на рис. 1. Здесь видно, что наименьшее количество транспортных происшествий наблюдалось в 2020 г.

Если сравнить 2020 и 2021 гг., то в последнем наблюдается резкий скачок происшествий, связанных с нарушением безопасности движения и эксплуатации железнодорожного транспорта. Максимальное число допущенных транспортных происшествий приходится на I и IV кварталы (рис. 2).

Согласно нормативным документам [3;4] составлена классификация транспортных нарушений и иных событий за 2017–2021 гг. по всей сети железных дорог, представленная в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что основная доля транспортных событий приходится на сход подвижного состава при маневрах (рис.3).

Наибольшее количество транспортного случая пришлось на 2020 г. Но в целом видно, что процент свершения транспортного случая — схода подвижного состава — всегда высок и колеблется от 46 до 70%. В 2021 г. резко (на 10 случаев) выросло количество столкновений подвижного состава при маневрах в сравнении с 2020 г.

В указанный период появилось новое событие — столкновение при поездной работе (2 случая). Распределение событий за 2021 г. показано в табл. 2.

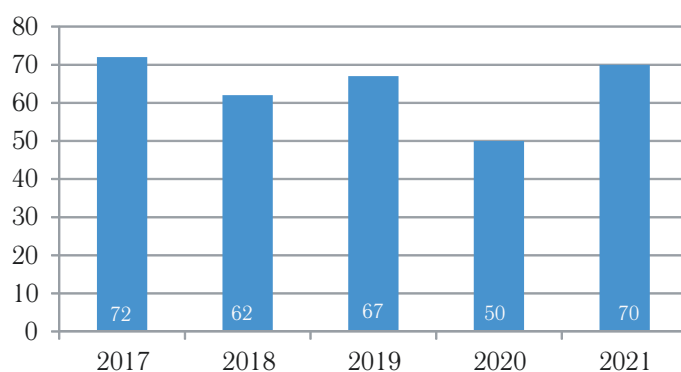


Рис. 1. Статистика транспортных событий за 2017–2021 гг.

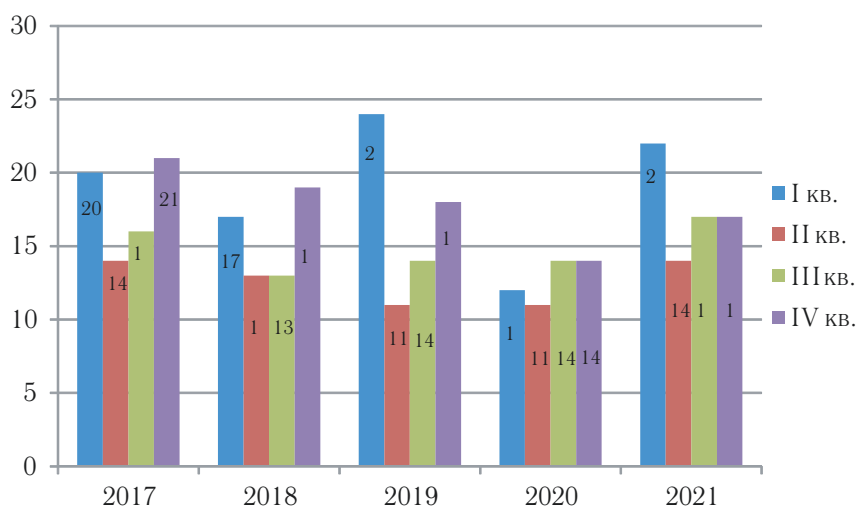


Рис. 2. Статистика транспортных событий по кварталам за 2017–2021 гг.

Таблица 1

Классификация нарушений

Вид нарушения	Количество случаев				
	2017	2018	2019	2020	2021
Авария	1	—	—	—	—
Крушение	—	—	1	—	—
Столкновения поездов с другими поездами или железнодорожным подвижным составом	—	2	1	—	—
Сход подвижного состава при поездной работе	—	2	3	3	2
Прием поезда на занятый путь	4	—	1	—	—
Отправление поезда на занятый перегон	1	1	2	—	1
Прием и отправление поезда по неготовому маршруту	8	2	6	6	4
Несанкционированное движение на маршрут приема, отправления поезда или на перегон	1	0	1	—	—
Столкновения подвижного состава при маневрах	13	17	8	3	13
Сходы подвижного состава при маневрах	33	38	40	37	48
Проезд железнодорожным подвижным составом запрещающего сигнала светофора или предельного столбика	—	—	4	—	—
Столкновение при поездной работе	—	—	—	—	2
Перевод стрелки под подвижным составом	—	—	—	1	—
Наезд поезда на посторонний предмет (объект)	1	—	—	—	—
Взрез стрелки	7	—	—	—	—
Неисправности технических средств, приведшие к задержке поезда более 1 часа	3	—	—	—	—
Всего	72	62	67	50	70

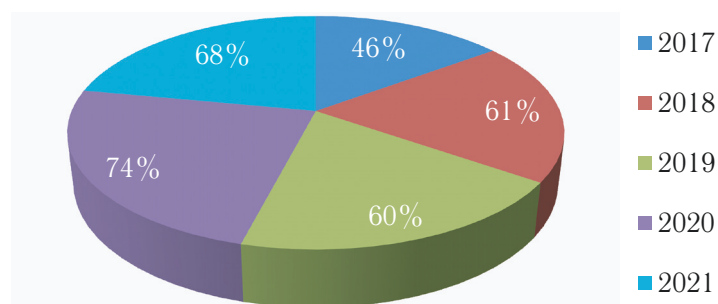


Рис. 3. Распределение схода подвижного состава при маневровых передвижениях в процентном соотношении по годам

Случаи сходов подвижного состава при производстве маневровой работы составляют большую часть от общего числа событий, допущенных за анализируемый период — 68%.

Необходимо учесть, что 49% от общего количества событий (34 из 70) было допущено при роспуске составов с горок.

Наибольшее количество нарушений безопасности движения (рис. 4, а) допущено на сортировочных станциях (40% от общего количества), грузовых (23% от общего количества), участковых (18% от общего количества). По классности станций события распределились следующим образом: 74% случаев допущено работниками внеклассных и станций 1 класса; 16% — станций 2 и 3 класса (рис. 4, б).

Основной причиной транспортных происшествий, произошедших на структурных предприятиях Центральной дирекции управления движением — филиала ОАО «РЖД» в 2021 г., являлся «человеческий фактор», а именно:

- необеспечение выполнения условий безопасности движения;
- необеспечение степени торможения отцепя;

- переход из автоматизированного режима КСАУ СП в ручной режим, приведший к растормаживанию замедлителя и выходу отцепя с превышенной скоростью;

- подача команды на движение без проверки положения стрелок в маршруте и незапирание стрелок;

- отсутствие наблюдения за положением стрелок в маршруте;

- отсутствие контроля роспуска состава, необеспечение регулирования скорости отцепя;

- неправильное восприятие машинистом информации о занятости пути;

- неостановка роспуска при отсутствии места, достаточного для прохождения отцепя;

- превышение скорости роспуска, интервала между движущимися отцепями и несоблюдение степени торможения;

- поздняя подача команды на остановку;

- несоблюдение регламента действий при осаживании подвижного состава на путях станции;

- невыявление неисправности устройств (причины неперевода стрелки);

Таблица 2

Распределение событий в 2021 г.

70 событий	87%	61 событие (из них 34 на горке)	При организации маневровой работы	48	68,6%	Сход подвижного состава
				13	18,6%	Столкновение подвижного состава
	13%	9 событий	При организации поездной работы	4	5,7%	Прием поезда по неготовому маршруту
				2	2,9%	Столкновение подвижного состава
				2	2,9%	Сход подвижного состава
				1	1,4%	Отправление на занятый перегон

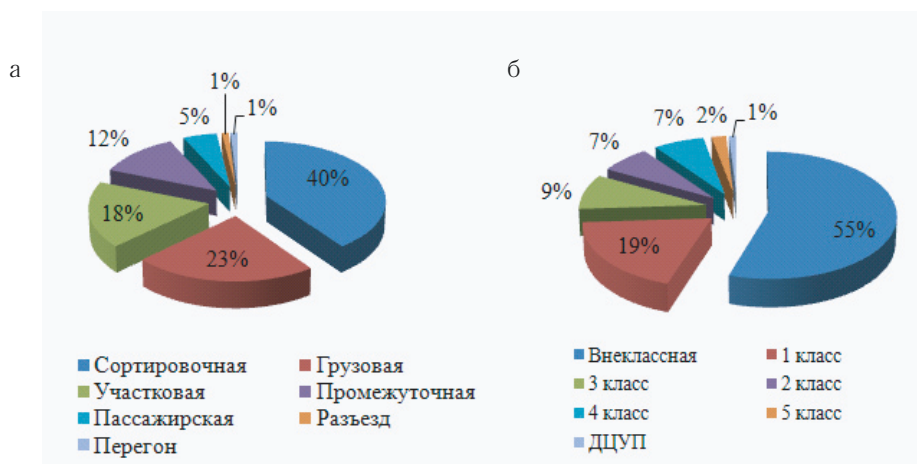


Рис. 4. Распределение случаев нарушения безопасности по характеру работы (а) и классности станций (б)

- подача команды на движение без убеждения в изъятии всех тормозных башмаков из-под подвижного состава;
- нарушение порядка и правильности закрепления подвижного состава;
- приготовление маршрута следования поезду на неэлектрифицированный путь (при электровозной тяге);
- прекращение движения по взрезанной стрелке;
- нарушение требований местных инструкций, технологического процесса работы станции и техническо-распорядительного акта станции;
- неубеждение в надежности сцепления автосцепок и организация маневровой работы вперед вагонами с выключенными автотормозами;
- несогласованность необходимости производства маневровой работы на железнодорожном пути необщего пользования (путь не очищен от наледи и напрессовки снега);
- прекращение действия автоблокировки без убеждения в свободности перегона от подвижного состава;
- неубеждение в наличии препятствий перед передвижением подвижного состава в местах выгрузки грузов;
- отправление поезда при несоответствующем направлении движения на перегоне;
- подача команды на движение без убеждения в правильности приготовления маршрута следования;
- несогласованные действия участников процесса (включая нарушение регламента переговоров);
- неисправность устройств СЦБ;
- вмешательство в автоматический режим роспуска составов;
- неочистка путей и стрелочных переводов от снега и льда;
- неубеждение в отсутствии препятствий по маршруту следования;
- несвоевременная дача команды на остановку;
- нарушение процесса стажировки;
- нерасчетливое торможение.

Учет влияния человеческого фактора в производственной деятельности — одна из важнейших задач обеспечения безопасности движения и гарантированного выполнения технологии перевозочного процесса [2].

Из анализа видно, что человеческий фактор является основной причиной инцидентов на транспорте. Это не только явные ошибки, но и случайности, стечения обстоятельств, на которые своевременно и правильно не смогли отреагировать работники ОАО «РЖД» [5]. От их профессионализма и бдительности зависит техносферная безопасность.

Снижение рассмотренных нарушений позволит повысить техносферную безопасность на железнодорожном транспорте.



Литература

1. Аксенов, В.А. Повышение безопасности производственной деятельности на железнодорожном транспорте на основе снижения влияния человеческого фактора / В.А. Аксенов, А.М. Завьялов. — Текст: непосредственный // Гражданская авиация на современном этапе развития науки, техники и общества: сборник тезисов докладов. — Москва: Академия имени Н.Е. Жуковского, 2018. — С.113.
2. Морозов, В.Н. Безопасность перевозок — на уровень современных требований / В.Н. Морозов. — Текст: непосредственный // Железнодорожный транспорт. — 2011. — №11. — С. 4—8.
3. События, классифицированные в соответствии с приказом Минтранса от 18 декабря 2014 года №344 от 18 декабря 2014 г. №344 «Об утверждении Положения о классификации, порядке расследования и учета транспортных происшествий и иных событий, связанных с нарушением правил безопасности движения и эксплуатации железнодорожного транспорта»: [сайт]. — URL: <https://mintrans.gov.ru/documents/7/4246?ysclid=I9i442oe2o130402619> (дата обращения: 21.10.2022).
4. Корпоративные нарушения, классифицированные в соответствии с распоряжением ОАО «РЖД» от 17 ноября 2015 года № 2703р «Об утверждении Положения о порядке учета транспортных происшествий и иных событий, связанных с нарушением правил безопасности движения и эксплуатации железнодорожного транспорта на инфраструктуре ОАО «РЖД», в автоматизированной системе управления безопасностью

движения»: [сайт]. — URL: <https://base.garant.ru/71659254/?ysclid=I9i4d389ld151760064> (дата обращения: 21.10.2022).

5. Бойчук, Ю.Н. Человеческий фактор как основа культуры транспортной безопасности. — Текст: электронный // IX международный форум Безопасность на транспорте: сборник докладов — Санкт-Петербург, 2019. — С. 4. — URL: <http://ukros.ru/wp-content/uploads/2019/07/%D0%91%D0%B5%D0%B7%D0%BE%D0%BF%D0%B0%D1%81%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C-%D0%BD%D0%B0-%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BD%D1%81%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%82%D0%B5.pdf> (дата обращения: 21.10.2022).

6. Ахтямов, Р.Г. Проблемы и перспективы обеспечения техносферной безопасности на железнодорожном транспорте / Р.Г. Ахтямов. — Текст: электронный // Научный журнал «Доклады Башкирского университета». — 2017. — Т. 2, № 3. — С. 433–437. — URL: <http://dokbsu.ru/archive/2017/3/13> (дата обращения 21.10.2022).

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ПО ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ

В статье рассмотрены проблемы электромагнитной безопасности персонала, обслуживающего электроподвижной состав. Установлено, что суммарные уровни энергетической нагрузки в кабинах магистрального электроподвижного состава постоянного тока не оказывают вредного воздействия на электротехнический персонал. Обоснована необходимость применения в электроподвижном составе переменного тока средств контроля электрических и магнитных полей постоянного и переменного тока.



А.Р. Закирова

***Ключевые слова:** электромагнитная безопасность, электротехнический персонал, охрана труда, магнитные поля, электрические поля*

EDN: AXJUUT

В настоящее время на сети железных дорог эксплуатируются электровагоны как постоянного, так и переменного тока. При эксплуатации электрооборудования электроподвижного состава электротехнический персонал находится под воздействием электрических и магнитных полей. Оборудование, расположенное в электроподвижном составе, работает при разных токах и напряжениях. В электроподвижном составе переменного тока применяются двухпульсовые выпрямители, поэтому в кривых выпрямленного напряжения содержатся гармоники канонических частот этих выпрямителей, а также синусные и косинусные высших гармонических составляющих тока. Соответственно, на рабочих местах локомотивных бригад могут одновременно присутствовать электромагнитные поля (ЭМП) разного рода тока, а в настоящее время ни в международных, ни в российских стандартах электромагнитные вредные воздействия на персонал в полосе частот до

1 кГц, кроме 50 Гц, не нормируются [1]. Влияние энергии ЭМП низкой частоты на персонал не учитывается, в отличие от воздействия электроустановок высокой частоты. В соответствии со статьей 22 ТК РФ [2] работодатель обязан на рабочих местах обеспечивать безопасные условия труда. Существует необходимость в оценке ЭМП, так как в ряде случаев отмечается рост заболеваний, вызываемых этим воздействием. Таким образом, эта проблема является актуальной и требует решения на уровне научного исследования. Решение проблемы направлено на достижение новых научных результатов в области охраны труда и электромагнитной безопасности персонала.

Теоретические и экспериментальные исследования

Проведены теоретические исследования уровней энергетической нагрузки ЭМП на электроподвижном

Закирова Альфия Резавановна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Техносферная безопасность» Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), академик Международной академии наук, экологии, безопасности человека и природы (МАНЭБ). Область научных интересов: охрана труда, электромагнитная безопасность персонала. Автор 53 научных работ, в том числе одной монографии. Имеет пять патентов на изобретения.

составе, основанные на экспериментальных исследованиях уровней напряженности электрических и магнитных полей.

Функциональные зависимости, подлежащие исследованию по энергетической характеристике ЭМП:

$$\mathcal{E} = f_1(E, H), \quad (1)$$

где $\mathcal{E}$ — энергетическая нагрузка ЭМП (вектор Пойнтинга), Вт/м²; E — напряженность электрического поля (ЭП), В/м; H — напряженность магнитного поля (МП), А/м.

Энергетическую нагрузку ЭМП электрооборудования электроподвижного состава можно определить следующим образом:

$$\mathcal{E} = EH, \quad (2)$$

где E — напряженность электрического поля электрооборудования электроподвижного состава, В/м; H — напряженность магнитного поля электрооборудования электроподвижного состава, А/м.

Экспериментальные исследования ЭМП выполнены на рабочих местах локомотивных бригад электроподвижного состава — электровозов (ВЛ11, 2ЭС10) и тяговых агрегатов (EL20, НП1, ОПЭ1АМ). На основе полученных уровней напряженности электрических и магнитных полей до 1 кГц в кабинах промышленных электровозов определена энергетическая нагрузка ЭМП $\mathcal{E}_f$ (рис. 1).

При проведении экспериментальных исследований в кабинах и машинных отделениях электроподвижного состава, кроме ЭМП 50 Гц, зафиксированы напряженности МП и ЭП со спектром частот 25, 75, 125, 150, 175, ..., 625 Гц. Характер изменения $\mathcal{E}_f$ от частоты определяется особенностями высших гар-

монических составляющих тока. В пределах частот 25–50 Гц отмечено существенное увеличение уровней энергетической нагрузки ЭМП, а в пределах 100–625 Гц — их снижение. Как показывают проведенные исследования, максимальный уровень $\mathcal{E}_f$ зафиксирован в кабине тягового агрегата ОПЭ1АМ и составляет 31978 ВА/м², что в 1,88 раза выше, чем в EL20 (17004 ВА/м²) и в 28,7 раза выше, чем в НП1 (1116 ВА/м²). Так как энергетическая нагрузка ЭМП от 25 до 675 Гц воздействует одновременно и аддитивно на электротехнический персонал, то необходимо определить суммарную $\mathcal{E}_f^{\Sigma}$ и сравнить с предельно безопасным уровнем (ПБУ) [3].

Суммарные уровни энергетической нагрузки ЭМП от 25 до 675 Гц в кабинах электроподвижного состава магистрального и промышленного транспорта приведены на рис. 2.

Определение суммарной энергетической нагрузки ЭМП от 25 до 675 Гц проведено с учетом оценки каждой гармоники, входящей в энергетическую нагрузку ЭМП. В результате исследования установлено, что в кабинах электроподвижного состава уровни суммарной энергетической нагрузки ЭМП не превышают ПБУ (89 кВА/м²).

Электрооборудование, расположенное в машинном отделении электроподвижного состава, также является источником энергетической нагрузки ЭМП. Исследованные уровни $\mathcal{E}_f$ в машинных отделениях промышленных электровозов представлены на рис. 3.

Из полученных данных следует, что характер изменения $\mathcal{E}_f$ от частоты в машинном отделении аналогичен характеру изменения $\mathcal{E}_f$ в кабинах промышленных электровозов, однако уровни энергетической нагрузки ЭМП различаются в несколько раз. Например, в

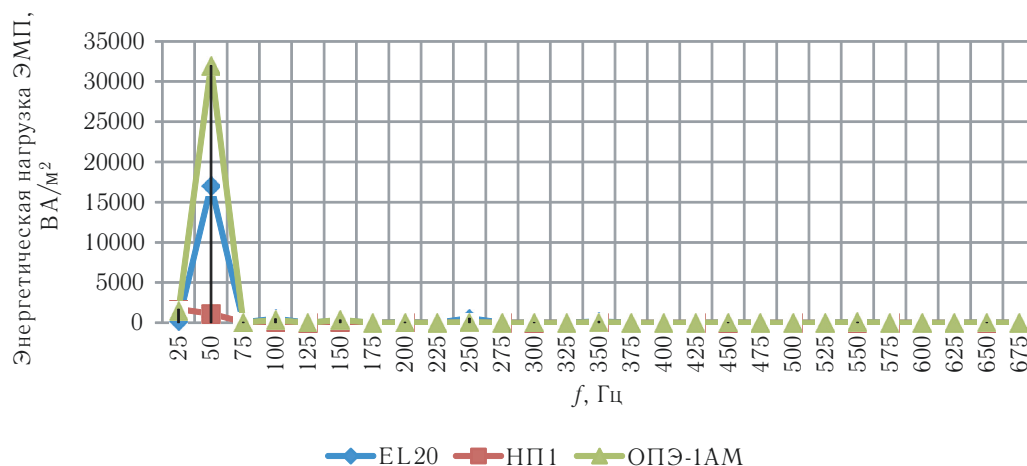


Рис. 1. Уровни энергетической нагрузки ЭМП от 25 до 675 Гц в кабинах тяговых агрегатов

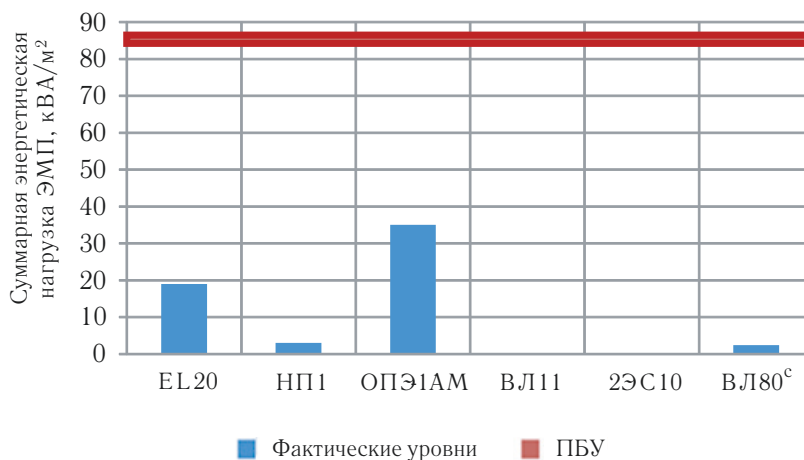


Рис. 2. Суммарные уровни энергетической нагрузки ЭМП в кабинах электроподвижного состава

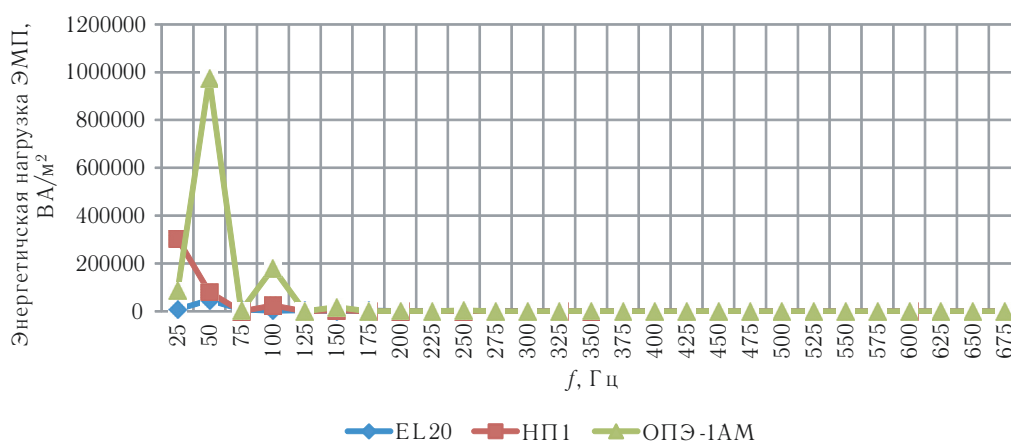


Рис. 3. Уровни энергетической нагрузки ЭМП от 25 до 675 Гц в машинных отделениях тяговых агрегатов

машинных отделениях тяговых агрегатов ОПЭ1АМ (947400 ВА/м²) они в 32 раза выше, чем в кабинах электроподвижного состава.

На рис. 4 представлены суммарные (фактические) уровни Σf (машинные отделения электроподвижного состава магистрального и промышленного транспорта) и их ПБУ.

Анализ полученных данных (см. рис. 4) показал, что уровни суммарной энергетической нагрузки ЭМП в машинных отделениях электровозов ВЛ80с и тяговых агрегатов ОПЭ1АМ и НП1 превышают ПБУ (185 кВА/м²) и оказывают вредное действие на персонал, поэтому необходимо разработать технические предложения по защите персонала от данного производственного фактора. Допустимые условия труда по суммарным уровням энергетической нагрузки ЭМП установлены на рабочих местах персонала, обслу-

живающего тяговые агрегаты EL20 и электровозы ВЛ11 и 2ЭС10.

Таким образом, установлено, что суммарные уровни энергетической нагрузки в кабинах магистрального электроподвижного состава постоянного тока не оказывают вредного воздействия на электротехнический персонал. В машинных отделениях на тяговых агрегатах ОПЭ1АМ и НП1 уровни Σf превышают ПБУ, что требует внедрения систем защиты.

Выводы

По результатам работы можно сделать следующие выводы.

1. Проведена оценка электрических и магнитных полей на их энергетической характеристике, основанной на энергетической нагрузке ЭМП в виде вектора Пойнтинга.

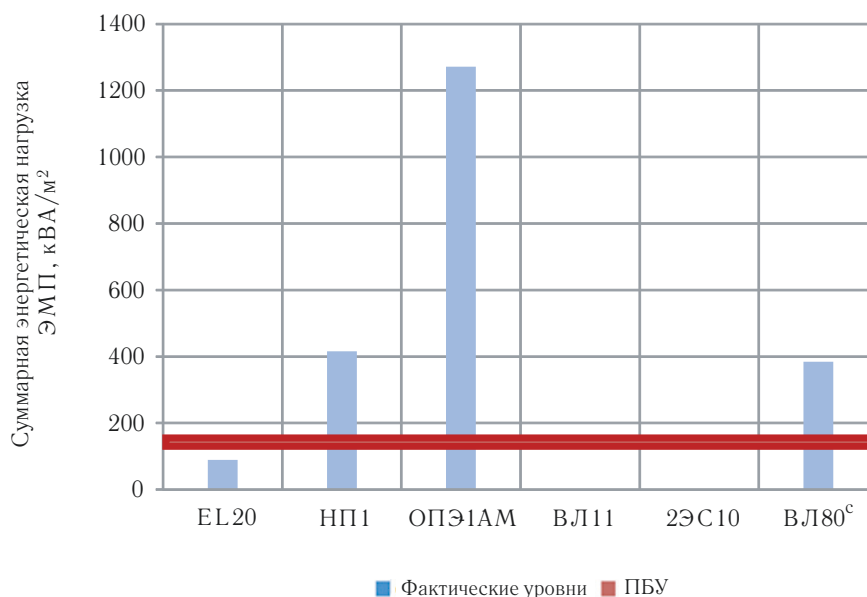


Рис. 4. Суммарные уровни энергетической нагрузки ЭМП в машинных отделениях электроподвижного состава

2. Определены теоретические закономерности изменения энергетической нагрузки ЭМП электроустановок электроподвижного состава тяговой сети от специфики их работы, позволяющие установить следующее:

- на рабочих местах электротехнического персонала в электровагонах постоянного тока (ВЛ11 и 2ЭС10) уровни энергетической нагрузки ЭМП не превышают ПБУ, рабочие места считаются безопасными;
- на электровагонах переменного тока (ВЛ80°) и тяговых агрегатах (НП1, EL20, ОПЭ1АМ) уровни энергетической нагрузки ЭМП в кабинах не превышают ПБУ, а в машинных отделениях наблюдается превышение ПБУ. Для снижения уровней параметров ЭМП требуются разработка и внедрение защитных мер, например: изменение конструкции электровагона (тягового агрегата), в том числе установка защитных экранов, применение устройств для измерения и контроля параметров ЭМП (защита временем).

3. Персонал, обслуживающий электровагоны постоянного тока (ВЛ11 и 2ЭС10), подвергается минимальным уровням напряженности электрических и магнитных полей разного рода тока как в кабине электровагона, так и в машинном отделении. Зафиксированы ЭМП со спектром частот от 25 до 150 Гц, уровни которых в России не подлежат нормированию, что не обеспечивает электромагнитную безопасность персонала.

4. В машинных отделениях электровагонов переменного тока наблюдается превышение ПДУ МП 50 Гц

при двух-часовой экспозиции, при этом напряженность МП 50 Гц распределена неравномерно как по высоте, так и по длине кузова. Наибольший уровень МП приходится на зоны размещения выпрямительных установок:

- электротехнический персонал в кабинах и машинных отделениях электровагонов переменного тока ВЛ80° подвергается воздействию напряженности МП и ЭП со спектром частот 25, 50, 75, 125, 150, 175, ..., 625 Гц, безопасные уровни которых в настоящее время в России не нормируются, не подлежат оценке и контролю, кроме 50 Гц.

5. На тяговых агрегатах горно-обогатительных комбинатов выявлено следующее:

- в машинных отделениях промышленных электровагонов НП1 и ОПЭ1АМ уровни напряженности МП 50 Гц превышают ПДУ МП 50 Гц (80 А/м);
- в кабинах и машинных отделениях тяговых агрегатов НП1, EL20, ОПЭ1АМ зафиксированы МП и ЭП со спектром частот 25, 50, 75, 125, 150, 175, ..., 625 Гц.

6. Для снижения вредного действия параметров ЭМП на электротехнический персонал предлагаются следующие способы и средства контроля ЭП и МП переменного и постоянного токов [4–7]:

- контроль уровня напряженности МП электроустановок переменного тока и устройство для его осуществления;
- устройство для измерения плотности потока энергии электромагнитного поля;

- контроль уровня напряженности МП по приведенным уровням высших гармонических составляющих переменного тока и устройство для его осуществления;
- устройство для контроля напряженности МП переменного и постоянного токов.



Литература

1. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 №2 «Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» (вместе с СанПиН 1.2.3685-21). – Текст: электронный // Консультант Плюс: [сайт]. – URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&ts=udCKd8TGym1ROyUX2&cacheid=11198D3D4BFAB65D3F6FFBE32424458C&mode=splus&base=LAW&n=375839#LJHKd8TG5ApdE8HI> (дата обращения: 12.06.22).
2. Российская Федерация. Законы. Трудовой кодекс Российской Федерации: Федеральный закон от 30 декабря 2001 г. №197-ФЗ. – Текст: электронный // Консультант Плюс: [сайт]. URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&ts=udCKd8TGym1ROyUX2&cacheid=7B5367280A8416A29F224ADEEF64961D&mode=splus&base=LAW&n=389182#v9aMd8TxeBu6WcR> (дата обращения: 12.06.22).
3. Закирова, А.Р. Защита электротехнического персонала от вредного воздействия электромагнитных полей = Electrotechnical personnel protection from damage effect of electromagnetic field: монография / А.Р. Закирова; Федеральное агентство железнодорожного транспорта, Уральский государственный университет путей сообщения. – Екатеринбург: УрГУПС, 2018. – 171 с. – ISBN 978-5-94614-428-5. – Текст: непосредственный.
4. Патент №2436111 Российская Федерация, МПК G 01 R 33/02 (2006.01) Способ контроля уровня напряженности магнитного поля электроустановок переменного тока и устройство для его осуществления: №2010125789/28: заявл. 23.06.2010; опубл. 10.12.2011, бюл. №34/Закирова А.Р., Кузнецов К.Б.; Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уральский государственный университет путей сообщения» (УрГУПС) (RU). – Текст: непосредственный.
5. Патент №2441248. Российская Федерация, МПК G01R29/08 (2006.1) Устройство для измерения плотности потока энергии электромагнитного поля: №2010130964/28: заявл. 23.07.2010; опубл. 27.01.2012, бюл. №3. – /Закирова А.Р., Кузнецов К.Б.; Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уральский государственный университет путей сообщения» (УрГУПС) (RU). – Текст: непосредственный.
6. Патент №2457500. Российская Федерация, МПК G01R33/02 (2006/01) Способ контроля уровня напряженности магнитного поля по приведенным уровням высших гармонических составляющих переменного тока и устройство для его осуществления: №2010151331/28: заявл. 14.12.2010; опубл. 27.07.2012, бюл. №21/Закирова А.Р., Кузнецов К.Б.; Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уральский государственный университет путей сообщения» (УрГУПС) (RU). – Текст: непосредственный.
7. Патент №2589497. Российская Федерация, МПК G 01R29/08 Устройство для создания переменного магнитного и электрического полей: №2015112986/28: заявл. от 08.04.2015; опубл. 10.07.2016, бюл. №19 / Кузнецов К.Б., Закирова А.Р., Миронов И.А.; Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уральский государственный университет путей сообщения» (УрГУПС) (RU). – Текст: непосредственный.

РИСК-МЕНЕДЖМЕНТ СОСТОЯНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ОБЪЕКТАХ И ПОДВИЖНОМ СОСТАВЕ ОАО «РЖД» В 2021 ГОДУ



А.И. Шевченко



А.А. Шарапов

В статье изложены анализ и оценка состояния пожарной безопасности на объектах и подвижном составе ОАО «РЖД» в 2021 году.

Ключевые слова: пожарная безопасность, устойчивость перевозочного процесса, опасные факторы пожаров

EDN: UAQXFQ

Железнодорожный транспорт как сложная, многоуровневая, многофункциональная система относится к одной из самых высоких категорий рисков возникновения пожаров.

Поэтому проблема обеспечения устойчивости перевозочного процесса в условиях возникновения чрезвычайных ситуаций (далее — ЧС), связанных с пожарами имеет важнейшее и все возрастающее значение.

Общее положение по пожарам в ОАО «РЖД» в 2021 г. [9]

В 2021 г, на объектах и подвижном составе ОАО «РЖД» зарегистрировано 204 пожара (2020 — 154), из которых по ответственности за хозяйствами отнесено 43

пожара (2020 — 29). На пожарах погибло 3 человека (2 работника ОАО «РЖД» и 1 работник ООО «ЛокоТех-Сервис») (в 2020 году — 1).

Из общего количества пожаров: на подвижном составе зарегистрировано 42 случая, прямой материальный ущерб составил 26,3 млн руб.; на стационарных объектах зарегистрировано 37 случаев, прямой материальный ущерб составил 9,9 млн руб.; в полосе отвода — 125 случаев, прямой материальный ущерб не нанесен (рис. 1, 2).

Общий прямой материальный ущерб от пожаров составил 36,3 млн руб., из которых 11 млн руб. отнесены за хозяйствами (2020 — 126,6 млн руб., по ответственности — 42,3 млн руб.).

Шевченко Анатолий Иванович, кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Комплексная безопасность и специальные программы» Российской академии путей сообщения Российского университета транспорта (РАПС РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: обеспечение безопасности и устойчивости перевозочного процесса на железнодорожном транспорте в чрезвычайных ситуациях. Автор 40 научных работ.

Шарапов Андрей Александрович, заместитель начальника Департамента экологии и техносферной безопасности — начальник отдела производственной безопасности ОАО «РЖД». Область научных интересов: обеспечение безопасности и устойчивости перевозочного процесса на железнодорожном транспорте, транспортная безопасность. Автор одной научной работы.

Денисов Владимир Васильевич, кандидат военных наук, доцент кафедры «Комплексная безопасность и специальные программы» Российской академии путей сообщения Российского университета транспорта (РАПС РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: обеспечение безопасности и устойчивости перевозочного процесса на железнодорожном транспорте, транспортная безопасность. Автор 13 научных работ.

Шетиллов Виктор Леонидович, старший преподаватель кафедры «Комплексная безопасность и специальные программы» Российской академии путей сообщения Российского университета транспорта (РАПС РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: обеспечение безопасности и устойчивости перевозочного процесса на железнодорожном транспорте, транспортная безопасность. Автор одной научной работы.

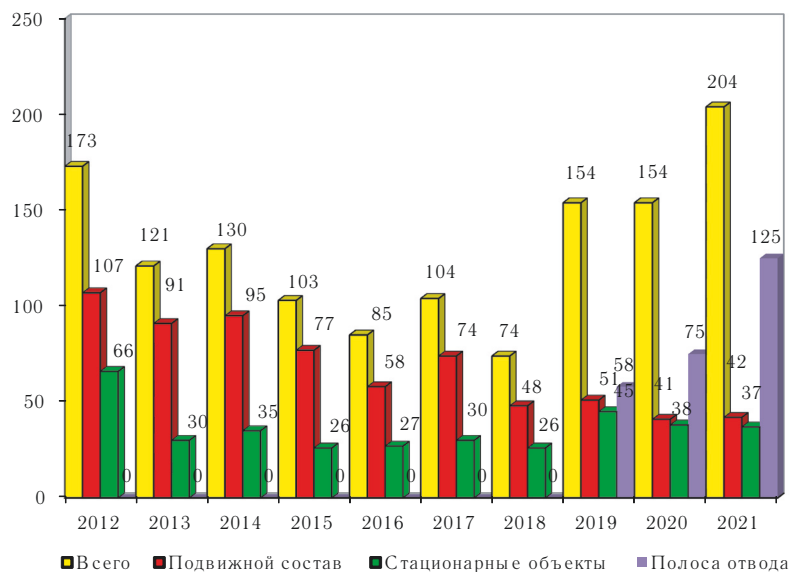


Рис. 1. Данные о пожарах, зарегистрированных на стационарных объектах и подвижном составе ОАО «РЖД» за 2012–2021 гг. [9]

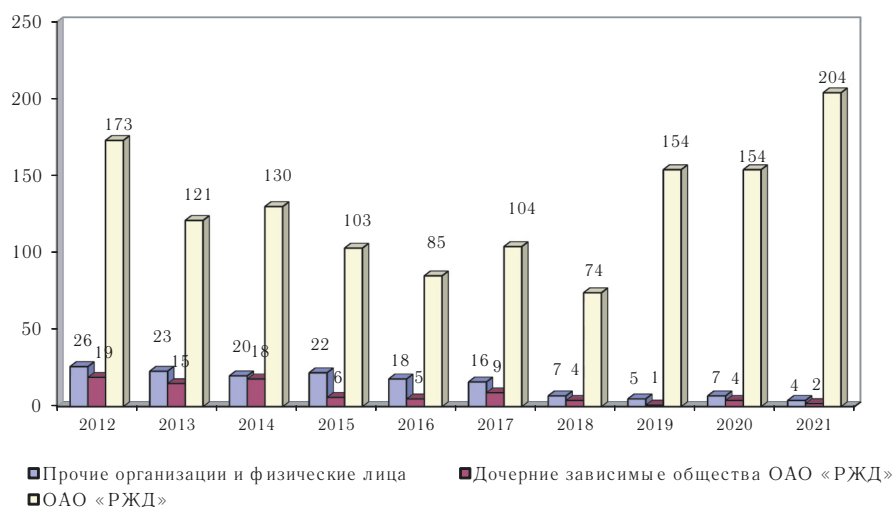


Рис. 2. Распределение пожаров, произошедших на железнодорожном транспорте в 2012–2021 гг. [9]

Пожары на подвижном составе ОАО «РЖД», дочерних зависимых обществ ОАО «РЖД» и сторонних организаций [9]

По видам подвижного состава пожары в 2021 г. распределились следующим образом: 24 пожара произошли при эксплуатации тягового подвижного состава (2020 — 21); 4 пожара произошло в вагонах электропоездов (2020 — 4); 4 пожара произошло в специальных машинах и специальных вагонах (2020 — 13); 10 пожаров произошло в грузовых вагонах (2020 — 2).

В грузовом подвижном составе дочерних зависимых обществ произошел 1 пожар (2020 — пожаров не было).

Наибольший материальный ущерб на подвижном составе нанесен пожаром, произошедшим 05.11.2021 на ст. Кюхельбекерская Северобайкальского региона Восточно-Сибирской железной дороги в секции № 1091 электровоза ВЛ80^{ТК} № 1309/1091(1) приписки эксплуатационного локомотивного депо Абакан (ТЧЭ-17) Красноярской железной дороги. В результате пожара повреждены: кабина управления, бло-

кировочный переключатель «Сигнализация», пневматический вентиль токоприемника, блоки приборов безопасности и др. Причина пожара — перетирание изоляции провода киловольтметра «Сеть» о металлическую скобу крепления щита межэлектровозного соединения за кабиной машиниста с последующим возникновением электрической дуги и воспламенением кондукта. Материальный ущерб составил 7 млн 264 тыс. 274 руб.

Из 24 пожаров на тяговом подвижном составе 11 пожаров произошло на электровозах (2020 — 9) и 13 пожаров на тепловозах (2020 — 12). Прямой материальный ущерб от пожаров на электровозах составил 20,4 млн руб. (2020 г. — 13,3 млн руб.), на тепловозах — 4,3 млн руб. (2020 г. — 65,6 млн руб.) (рис. 3, 4).

Расследование случаев пожаров проводится в соответствии с Регламентом по организации служебных расследований, учета пожаров и их последствий в ОАО «РЖД», на основании которого представитель ведомственной пожарной охраны ФГП ВО ЖДТ России

включается в состав комиссии по служебному расследованию пожара, а также подготавливает и представляет в указанную комиссию заключение о непосредственной (технической) причине возникновения пожара [7].

Основные причины пожаров на тепловозах (2021 — 13 пожаров, 2020 — 12 пожаров, 2019 — 18 пожаров, 2018 — 21 пожар) [9]:

- короткое замыкание силовой и вспомогательной цепей — 6 пожаров;
- неисправность турбокомпрессора — 1 пожар;
- неисправность выхлопного тракта — 1 пожар;
- неисправность дизеля — 1 пожар;
- неисправность топливпровода — 1 пожар;
- прочие причины — 3 пожара (заклинивание топливного насоса, искры сварки, искры из топки) (рис. 5).

Основные причины пожаров на электровозах (2021 — 11 пожаров, 2020 — 9 пожаров, 2019 — 13 пожаров, 2018 — 16 пожаров) [9]:

- неисправность тягового электродвигателя — 4 пожара;

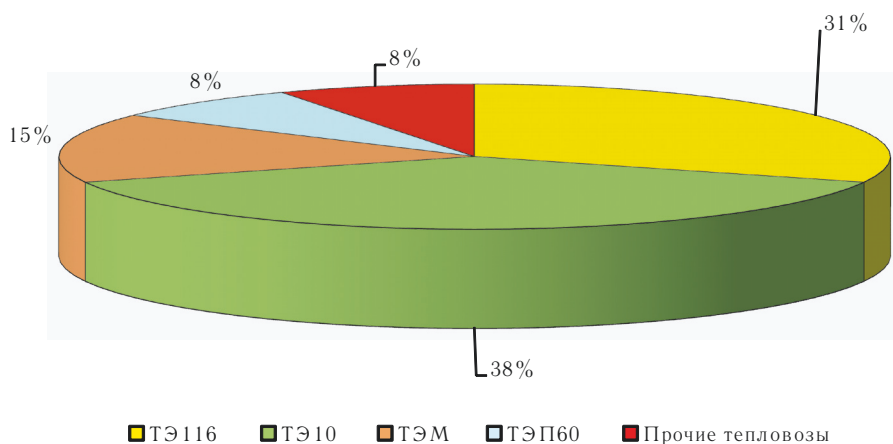


Рис. 3. Распределение пожаров по сериям тепловозов

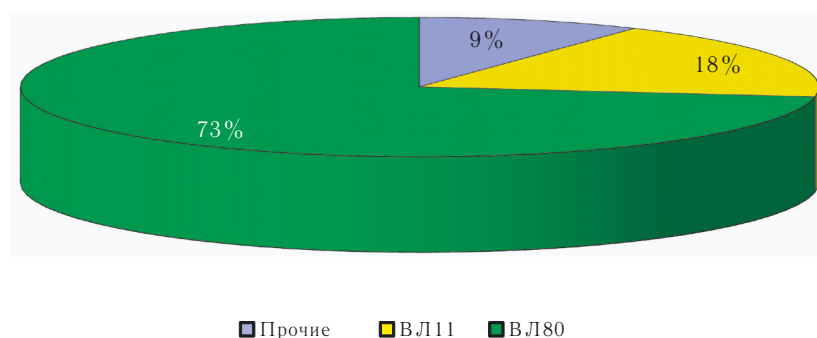


Рис. 4. Распределение пожаров по сериям электровозов

- неисправность высоковольтных цепей — 3 пожара;
- неисправность тягового трансформатора — 1 пожар;
- прочие причины — 3 пожара (рис. 6).

Четыре пожара в электропоездах (2020 — 4) произошло по следующим причинам: неисправность приборов отопления — 1 пожар; неисправность электрооборудования — 3 пожара.

В грузовом подвижном составе ОАО «РЖД» произошло 10 пожаров (2020 — 2 пожара) по следующим причинам: неосторожное обращение с огнем неустановленными лицами — 7 пожаров; искры тепловозов — 2 пожара; неисправность электрооборудования — 1 пожар (рис. 7).

На специальном железнодорожном подвижном составе (спецагоны и спецмашины) произошло 4 пожара (2020 — 13 пожаров). Причина пожаров на

специальных машинах: короткое замыкание силовых кабелей — 2 пожара. Причина пожаров в специальных и служебно-технических вагонах: неосторожное обращение с огнем — 2 пожара.

Пожары на стационарных объектах ОАО «РЖД» [9]

Из 37 пожаров, зарегистрированных на стационарных объектах ОАО «РЖД», 19 произошло в производственных зданиях, 12 — в служебных, 2 — в общественных (вокзалы), 2 — в прочих (банный комплекс и неэксплуатируемое здание), 1 — в жилых и 1 — в служебно-технических.

Пожар с наибольшим материальным ущербом на стационарных объектах произошел 14.07.2021 в здании жилого дома по адресу: станция Андриановская, ул. Железнодорожная, д. 11, принадлежащего Иркутск-Пассажирской дистанции гражданских сооружений

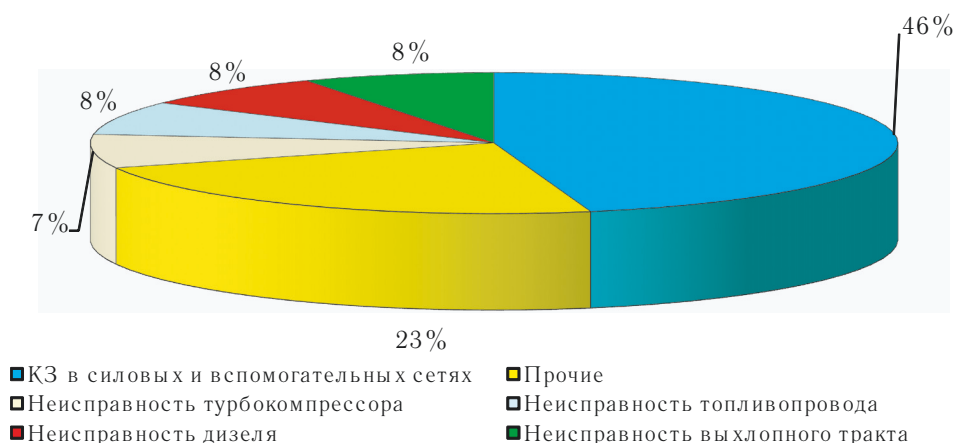


Рис. 5. Технические неисправности тепловозов, приведшие к пожарам

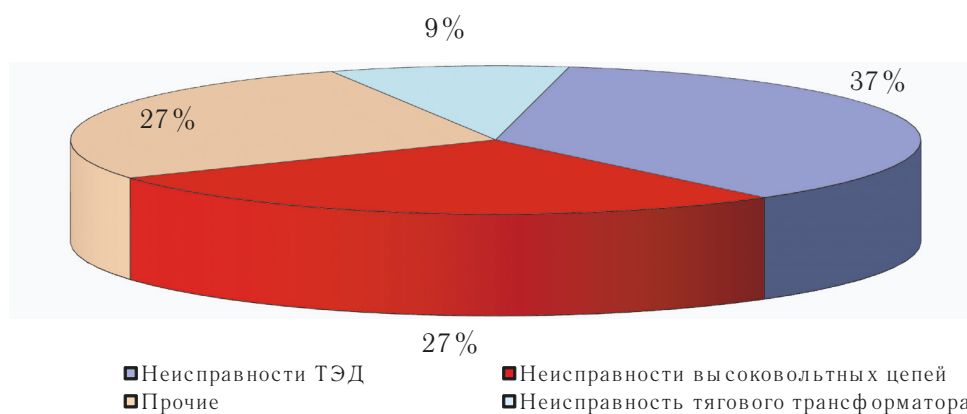


Рис. 6. Технические неисправности электропоездов, приведшие к пожарам

Восточно-Сибирской железной дороги. В результате пожара дом поврежден полностью по всей площади (200 кв.м). В ходе разборки строительных конструкций обнаружен погибший монтер пути ПЧ-9. Причина пожара — неосторожное обращение с огнем пользователями помещения. Материальный ущерб составил 3 млн 031 тыс. 481 руб. В 2021 г. на постах ЭЦ зарегистрирован 1 пожар (2020 — 2) (рис. 8).

Пожар на посту ЭЦ произошел 16.11.2021 в сушильном шкафу бытового помещения служебно-технического здания ст. Курья Пермской дистанции гражданских сооружений Свердловской железной дороги. В результате пожара повреждено лакокрасочное покрытие сушильного шкафа, в левом отсеке шкафа оплавлены корпуса вентилятора и электропровода длиной 0,15 м. Причина пожара — неисправность катушки электродвигателя вентилятора отопителя с последующим быстрым нагревом нагревательного элемента отопителя, от прямого контакта с которым произошло плавление сигнального жилета с обильным выделением дыма. Материальный ущерб пожаром не причинен.

Причины возникновения пожаров на стационарных объектах [9]:

- неосторожное обращение с огнем — 6 пожаров (16,2%);
- прочие причины — 3 пожара (8,1%);
- неисправность электрооборудования — 20 пожаров (54,1%);
- недосмотр за приборами электрооборудования — 2 пожара (5,4%);
- неисправность приборов отопления — 4 пожара (10,8%);
- поджог — 1 пожар (2,7%);
- искры тепловоза — 1 пожар (2,7%).

Обстановка с пожарами и обеспечением пожарной безопасности некоторых филиалов ОАО «РЖД»

Дирекция железнодорожных вокзалов (ДЖВ)

В 2021 г. по ответственности за Дирекцией пожаров не зарегистрировано (в 2020 г. пожаров не зарегистрировано).

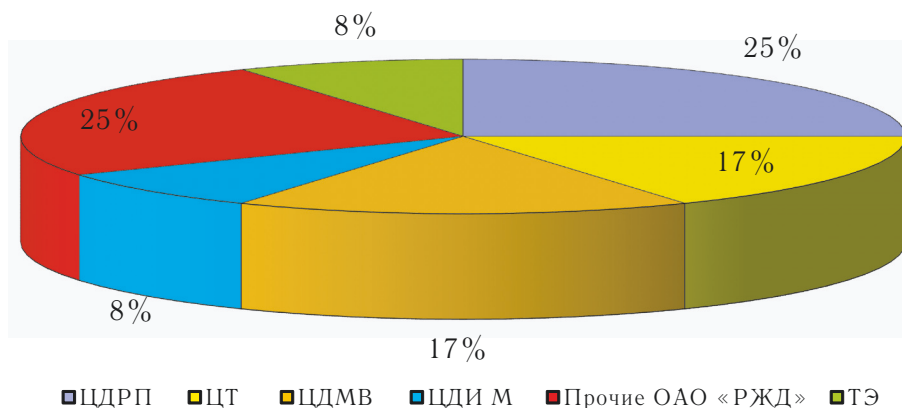


Рис. 7. Распределение пожаров на железнодорожном подвижном составе по ответственности

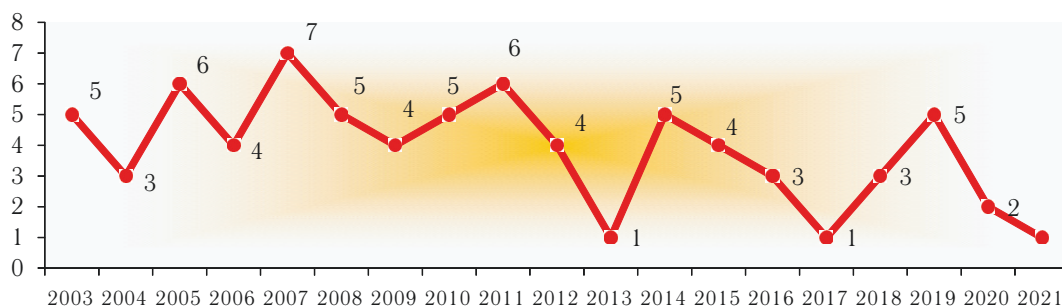


Рис. 8. Пожары на постах ЭЦ в период с 2003 по 2021 гг.

В 2021 г. при проведении проверок противопожарного состояния объектов ДЖВ, выявлено 3178 нарушений требований пожарной безопасности, 2 118 нарушений устранено.

По результатам проведенных проверок приостанавливалась работа 168 объектов железнодорожных вокзальных комплексов, электрооборудования, участков электропроводки. Наибольшее количество приостановок отмечалось на Октябрьской — 50, Западно-Сибирской — 27 и Северо-Кавказской — 25 железных дорогах.

Дирекция тяги (ЦТ)

В 2021 г. на стационарных объектах и подвижном составе дирекции зарегистрирован 27 пожаров (2020 — 21 пожар). Прямой материальный ущерб составил 24,6 млн руб. (2020 — 78,9 млн руб.). Из них:

- на подвижном составе дирекции зарегистрировано 24 пожара (2020 — 21 пожар);
- на стационарных объектах — 3 пожара (2019 г. пожаров не допущено).

Снижение количества проверок локомотивов в период комиссионных осмотров в основном связано с пандемией коронавируса COVID-19. [9]

В 2021 г. зарегистрировано снижение количества пожаров на локомотивах в период осеннего комиссионного осмотра, благодаря профилактике (таблица, рис. 9, 10).

Результаты осеннего комиссионного осмотра локомотивов в 2021 г.

Всего прошло осмотр 25210 секций тягового подвижного состава. По результатам осмотра выдано 4824 предписания об устранении нарушений требований пожарной безопасности, по которым к выполнению

предложено 21083 противопожарных мероприятий, из которых выполнено 20712 (98,2%). Отстранена от эксплуатации (выдано предписание на приостановку эксплуатации) 951 секция (2020 — 1 301) тягового подвижного состава, находящегося в пожароугрожаемом состоянии.

Проведенный осенний комиссионный осмотр выявил, что наиболее часто встречающиеся нарушения на тяговом подвижном составе — это [9]:

- неисправность систем обнаружения и тушения пожаров;
- неисправность имеющихся первичных средств пожаротушения;
- некомплект первичных средств пожаротушения (огнетушителей);
- применение некалиброванных плавких вставок;
- подтекание масла и топлива;
- отсутствие защитных плафонов на электросветильниках;
- эксплуатация электропроводки с нарушениями.

Дополнительно о мерах пожарной безопасности и порядке действий в случае возникновения пожара было проинструктировано 22527 работников локомотивного хозяйства ОАО «РЖД».

Из прошедших осмотр 25210 секций тягового подвижного состава оценку за противопожарное состояние «удовлетворительно» получили 25190 (99,92%). По электровозам оценок «удовлетворительно» 15336 (99,91 %), по тепловозам 9854 (99,94 %).

По сравнению с осенним комиссионным осмотром 2020 г., положение с обеспечением пожарной безопасности тягового подвижного состава ухудшилось. Так, количество оценок «неудовлетворительно» увеличилось с 0,02 до 0,08%. Неудовлетворительные оценки

Таблица

Суммарные показатели профилактики пожаров на локомотивах при весенних и осенних комиссионных осмотрах за период с 2013 по 2021 гг.

Наименование профилактического показателя	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Проведено проверок локомотивов	49920	51123	52997	49670	52331	51966	52179	48633	48542
Выдано предписаний на устранение нарушений	8788	8214	12853	13265	14875	13107	11439	9458	9407
Выявлено нарушений	60130	67248	59965	60257	61447	58644	51690	41081	41210
Устранено нарушений	55607	59375	54910	57195	58693	55601	49303	39883	40511
Выдано предписаний на приостановление эксплуатации	1938	2038	2584	2951	3252	3419	3029	2545	1856



Рис. 9. Динамика роста количества проверок локомотивов при комиссионных осмотрах в период с 2013 по 2020 гг.



Рис. 10. Диаграмма количества пожаров в локомотивах в период осенних комиссионных осмотров 2011–2021 гг.

получили 14 секций электровозов (13 секций ТЧЭ-5 Екатеринбург-Сортировочный и 1 ТЧЭ-11 Белогорск) и 6 секций тепловозов (ТЧЭ-6 Уссурийск) [9].

Из имеющихся на тяговом подвижном составе 21185 автоматических установок пожарной сигнализации исправно 21172 (99,94%), из 17273 автоматических установок пожаротушения исправно 17254 (99,9%). Также из имеющихся 5884 установок пожаротушения с ручным пуском исправны 5884 (100%) [9].

Анализ сведений по отнесению ответственности за произошедшие пожары на подвижном составе в 2021 году видно, что основным ответственным за произошедшие пожары на подвижном составе ОАО «РЖД» являются обслуживающие организации, силами которых проводятся ремонты локомотивов.

Центральная дирекция по ремонту пути (ЦДРП)

В 2021 г. на стационарных объектах и подвижном составе дирекции допущено 6 пожаров (2020 — 7). Прямой материальный ущерб от пожаров составил

0,67 млн руб. (2020 — 36,25 млн руб.). Из общего количества пожаров — 1 на стационарных объектах и 5 на подвижном составе (2020 — 4 на стационарных объектах, 2 на подвижном составе и 1 в полосе отвода).

В 2021 г. на пожаре погиб один работник — монтер пути ПМС-170 станции Голышманово Свердловской железной дороги (в 2020 г. погибших на пожаре не было). Причиной пожара на стационарном объекте ЦДРП стала неисправность электрооборудования, на подвижном составе следующие причины: неосторожное обращение с огнем — 4; искры тепловоза — 1.

За отчетный период 2021 г. работниками ведомственной пожарной охраны при проведении проверок противопожарного состояния стационарных объектов ЦДРП выявлено 5997 нарушений требований пожарной безопасности, в том числе 1400 нарушений, для устранения которых требуются капитальные затраты. В течение года устранено 2747 нарушений, из них 317 — с капитальными затратами. В 2021 г. руководителям объектов работниками ведомственной пожарной

охраны вручено 268 предписаний на приостановку эксплуатации объектов, помещений, электрооборудования или отдельных участков электропроводки.

Центральная дирекция моторвагонного подвижного состава (ЦДМВ)

В 2021 г. на стационарных объектах и моторвагонном подвижном составе, принадлежащих дирекции зарегистрировано 5 случаев пожаров (2020 — 4 пожара), прямой материальный ущерб от которых составил 0,98 млн руб. (2020 — 1,6 млн руб.).

В 2021 г. работниками ведомственной пожарной охраны при проведении проверок противопожарного состояния стационарных объектов ЦДМВ выявлено 1405 нарушений требований пожарной безопасности, в том числе 229 нарушений, для устранения которых требуются капитальные затраты. В течение года устранено 937 нарушений, из них 99 с капитальными затратами. В 2020 г. руководителям объектов работниками ведомственной пожарной охраны вручено 74 предписания на приостановку эксплуатации объектов, помещений, электрооборудования или отдельных участков электропроводки.

При проведении осеннего комиссионного осмотра прошло осмотр 1387 составов моторвагонного подвижного состава. По результатам осмотра выдано 429 предписаний об устранении нарушений требований пожарной безопасности, по которым к выполнению предложено 2302 противопожарных мероприятий, из которых выполнено 100%.

Отстранялось от эксплуатации (выдано предписаний на приостановку эксплуатации) 39 составов (2,8 % находившихся в пожароугрожаемом состоянии).

Дополнительно о мерах пожарной безопасности и порядке действий в случае возникновения пожара было проинструктировано 1997 работников.

Из прошедших осмотр 1387 составов оценку за противопожарное состояние «удовлетворительно» получили 89%. Случаев выпуска на линию составов, эксплуатация которых приостанавливалась в период осеннего комиссионного осмотра не выявлено.

Дирекция скоростного сообщения (ДОСС)

На подведомственных объектах и подвижном составе дирекции в 2021 г., как и в 2020 г., пожаров не произошло.

При осуществлении осеннего комиссионного осмотра прошел осмотр 161 состав. По результатам осмотров выдано 45 предписаний об устранении нарушений требований пожарной безопасности, по которым к выполнению предложено 108 противопожарных мероприятий, из них выполнено 108 (100%). За нарушения требований пожарной безопасности в период комиссионного осмотра подвижной состав от эксплуатации не отстранялся.

Центральная дирекция пассажирских обустройств

В 2020 г. на объектах дирекции допущен 1 пожар (2020 — 4). Прямой материальный ущерб от пожаров отсутствует (2020 — 86,2 тыс. руб.). Пожар произошел на стационарном объекте.

По ответственности за дирекцией в 2021 г. зарегистрирован 1 пожар (в 2020 г. пожаров не зарегистрировано).

В 2021 г. при проведении проверок противопожарного состояния объектов ЦДПО, выявлено 6537 нарушений требований пожарной безопасности, 4330 нарушений устранено.

По результатам проведенных проверок приостанавливалась работа 152 объектов дирекции, электрооборудования, участков электропроводки.

Трансэнерго

На подведомственных объектах и подвижном составе Трансэнерго в 2020 году зарегистрировано 7 пожаров, все пожары отнесены за Трансэнерго (в 2020 году — 3 пожара). Материальный ущерб составил 4 млн. руб. (в 2020 году — отсутствует). Причиной пожаров послужили — неисправность электрооборудования (6 пожаров) и недосмотр за приборами отопления (1 пожар).

*Центральная дирекция инфраструктуры
Управление пути и сооружений (ЦДИ П)*

По ответственности за управлением в 2021 г. отнесено 5 пожаров (2020 — 5). При этом прямой материальный ущерб от пожаров снизился с 2,7 млн руб. до нуля. В 2021 г., как и в 2020 г., погибших на пожарах не было. При этом все 5 пожаров произошли на стационарных объектах.

Причины возникновения пожаров:

- неисправность электрооборудования — 3 случая;
- неосторожное обращение с огнем — 1 случай;
- неисправность приборов отопления — 1 случай.

По балансовой принадлежности на объектах управления произошло 127 пожаров (в связи с принятием к учету пожаров в полосе отвода), в 2020 г. — 74 пожара.

В 2021 г. работниками ведомственной пожарной охраны при проведении проверок противопожарного состояния стационарных объектов ЦДИ П выявлено 20071 нарушение требований пожарной безопасности, в том числе 2133 нарушения, для устранения которых требуются капитальные затраты. В течение года устранено 12221 нарушение, из них 565 — с капитальными затратами. В 2021 г. руководителям объектов работниками ведомственной пожарной охраны вручено 613 предписаний на приостановку эксплуатации объектов, помещений, электрооборудования или отдельных участков электропроводки.

Дирекция по эксплуатации зданий и сооружений (ДЭЗ)

В 2020 г. на объектах дирекции допущено 14 пожаров (2020 — 11). При этом прямой материальный ущерб от пожаров снизился с 4,2 млн руб. (в 2020 г.) до 3,1 млн руб.

В 2021 г. в Едином комплексе по управлению деятельностью компании по охране окружающей среды, пожарной и промышленной безопасности (далее — ЕК АСУ ОПБ) разработан новый функционал:

- программный модуль для контроля за работоспособностью навигационно-связевых модулей пожарных поездов (НСМПП);
- программный модуль для контроля за работоспособностью систем пожарной автоматики на стационарных объектах ОАО «РЖД»;
- программный модуль для контроля за обучением мерам пожарной безопасности работников ОАО «РЖД»;
- программный модуль для контроля за выполнением мероприятий по устранению нарушений требований пожарной безопасности, выявленных при проверках ФГП ВО ЖДТ России.

В 2021 г. государственным пожарным надзором МЧС России проводились плановые и внеплановые проверки противопожарного состояния стационарных объектов компании. По данным АСУ ПБ на 31 декабря 2021 года выдано 344 предписания, выявлено 3392 нарушения требований пожарной безопасности, устранено со сроками исполнения — 754 (22 %). Остальные 2638 нарушений со сроком исполнения в 2022 г.

С 2021 г. в ОАО «РЖД» проводится пилотный проект централизации технического обслуживания и ремонта систем пожарной автоматики на полигоне Октябрьской железной дороги, дочерним зависимым обществом ООО «ЦТПС Автоматизация».

Несмотря на короткий срок проведения проекта, достигнуты: положительная динамика повышения коэффициента технической готовности систем пожарной автоматики, сокращение времени реагирования на отказы оборудования, улучшение качества проводимого технического обслуживания систем пожарной автоматики. В 2022 г., по отдельно разработанному плану-графику организовано тиражирование проекта на всю сеть.

Договор на оказание услуг в области пожарной безопасности

В соответствии с договором от 10.02.2020 года №3823106 об оказании услуг в области пожарной безопасности на объектах ОАО «РЖД» в 2021 г. работниками ведомственной пожарной охраны на стационарных объектах ОАО «РЖД» проведено более 82,1 тыс. плановых и более 85,3 тыс. внеплановых проверок.

В период указанных проверок выявлено более 250 тыс. нарушений, из которых устранено более 138,4 тыс. (55,2 %).

Важное внимание также уделялось противопожарному состоянию подвижного состава железнодорожного транспорта, проведено более 433 тыс. пожарно-технических обследований железнодорожного подвижного состава ОАО «РЖД» и АО «ФПК», выявлено более 88 тыс. нарушений, из которых устранено более 73,8 тыс.

При проведении этой работы особое значение имели:

- проверка противопожарного состояния тягового, моторвагонного и скоростного подвижного состава в период весеннего и осеннего комиссионного осмотра;
- проведение весеннего комиссионного осмотра специального подвижного состава и служебно-технических вагонов, привлекаемых к путевым работам;
- проведение внеплановых пожарно-технических проверок служебно-технических вагонов, предназначенных для проведения летних путевых работ.

В 2021 г. на сети железных дорог Российской Федерации в режиме постоянной готовности функционировали 309 пожарных поездов. В течение 2021 г. пожарные поезда выезжали в различных целях 1028 раз, что на 211 выездов (20,53 %) больше, чем в 2020 г. (рис. 11).

Больше всего привлекались для проведения аварийно-спасательных работ, связанных с тушением пожаров (далее — проведение АСР), для участия в обеспечении пожарной безопасности в местах проведения работ по ликвидации аварийных ситуаций с опасными грузами (далее — участие в ликвидации ЧС), для оказания помощи пожарным подразделениям МЧС России и на учения пожарные поезда, дислоцирующиеся на Октябрьской железной дороге (140 раз или 13,62% от общего количества выездов), на Свердловской железной дороге (119 раз или 11,6%), на Южно-Уральской железной дороге (110 раз или 10,7%), на Московской железной дороге (99 раз или 9,63%), на Дальневосточной железной дороге (83 раза или 8,08%), на Горьковской и Куйбышевской железных дорогах (по 79 раз или 7,69%), на Западно-Сибирской железной дороге (57 раз или 5,55%), на Северной железной дороге (47 раз или 4,58%) и на Забайкальской железной дороге (39 раз или 3,8%) [9].

В сравнении с 2020 г. зарегистрировано наибольшее снижение интенсивности привлечения пожарных поездов для проведения АСР, участия в ликвидации ЧС, оказания помощи пожарным подразделениям МЧС России и на учения на Северо-Кавказской железной дороге на 42,38 % (25 выездов), на Юго-

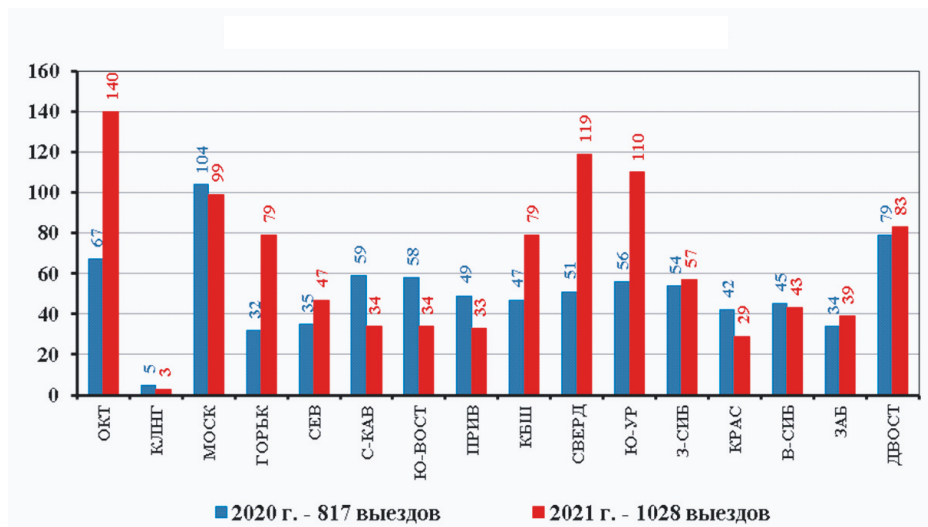


Рис. 11. Общее количество выездов пожарных поездов

Восточной железной дороге на 41,38 % (24 выезда), на Приволжской железной дороге на 32,66 % (16 выездов) и на Красноярской железной дороге на 30,96 % (13 выездов).

В результате профессиональных действий работников пожарных поездов спасено 11 человек и материальных ценностей на сумму более 1 миллиарда рублей.

Всего за период с 2012 по 2021 гг. боевыми расчетами пожарных поездов на пожарах спасено 212 человек и материальных ценностей на общую сумму более 12 миллиардов рублей (рис. 12, 13).

В течение 2021 г. пожарные поезда 70 раз (6,8% от общего количества выездов пожарных поездов) выезжали для проведения АСР на стационарных объектах и подвижном составе железнодорожного транспорта, 86 раз (8,4%) для участия в ликвидации ЧС на стационарных объектах и подвижном составе железнодорожного транспорта, 146 раз (14,2%) для проведения АСР и участия в ликвидации ЧС в полосе отвода железных дорог, 301 раз (29,3%) по запросу территориальных пожарно-спасательных подразделений МЧС России для оказания помощи в тушении пожаров в населенных пунктах и на объектах, не входящих в инфраструктуру железнодорожного транспорта, а также 425 раз (41,3%) на учения по комплексному использованию сил и средств системы обеспечения пожарной безопасности в ОАО «РЖД».

При этом количество выездов для проведения АСР на стационарных объектах и подвижном составе железнодорожного транспорта по сравнению с 2020 г. уменьшилось на 4,3 % (на 3 выезда), для участия в ликви-

дации ЧС на стационарных объектах и подвижном составе железнодорожного транспорта увеличилось на 56,3 % (на 31 выезд), для проведения АСР и участия в ликвидации ЧС в полосе отвода железных дорог увеличилось на 62,2 % (на 56 выездов), по запросу территориальных пожарно-спасательных подразделений МЧС России для оказания помощи в тушении пожаров в населенных пунктах и на объектах, не входящих в инфраструктуру железнодорожного транспорта, увеличилось на 28,6 % (на 67 выездов).

В 2021 г. пожарные поезда выезжали для проведения АСР 70 раз, что на 3 выезда меньше, чем в 2020 г. Количество выездов для проведения АСР на стационарных объектах уменьшилось с 14 до 12, а в подвижном составе уменьшилось с 59 до 58.

В рамках функционирования РСЧС, а также территориальных и местных пожарно-спасательных гарнизонов, пожарные поезда 301 раз (+ 67 раз или на 28,6% больше чем в 2020 г.) оказывали помощь территориальным пожарно-спасательным подразделениям МЧС России в тушении природных пожаров, а также пожаров в населенных пунктах и на объектах, не входящих в инфраструктуру железнодорожного транспорта.

Количество случаев привлечения пожарных поездов для участия в ликвидации ЧС увеличилось на 63,9% (на 31 выезд) к 2020 году. Увеличение выездов пожарных поездов произошло как на стационарные объекты (на 3 выезда), так и на ликвидацию ЧС на подвижном составе на 62,6% (на 28 выездов).

Выезды для участия в ликвидации ЧС распределились следующим образом: на стационарные объекты железнодорожного транспорта — 11 выездов

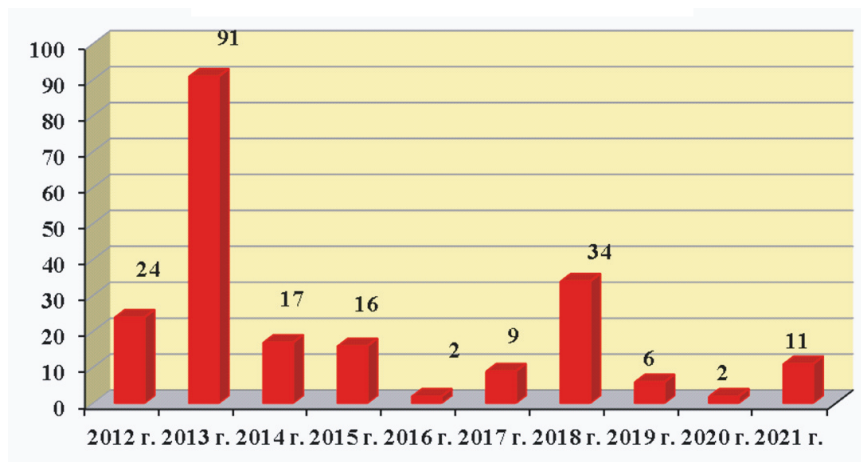


Рис. 12. Количество спасенных людей

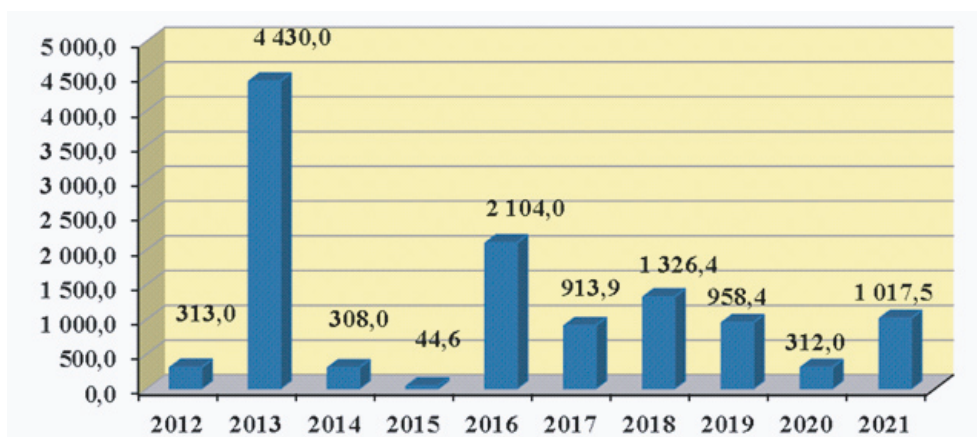


Рис. 13. Количество спасенных материальных ценностей (млн руб.)

(12,8% от общего количества выездов для участия в ликвидации ЧС), на подвижной состав — 75 выездов (87,2%).

Осуществляется обновление подвижного состава для пожарных поездов. В период с 2011 по 2021 гг. приобретены вагоны для 190 пожарных поездов. С 2011 года вагон-насосные станции изготавливаются путем прохождения КВР с продлением срока службы на 15 лет на базе пассажирского вагона 47Д.

Также в рамках реализации инвестиционного проекта ОАО «РЖД» с 2012 г. для размещения работников пожарных поездов построено 85 служебно-бытовых модулей. Общий лимит инвестиционного проекта «Пожарная безопасность» в 2021 г. составил 1553,8 млн руб. В рамках проекта приобретен 21 пожарный поезд, оснащены системами пожарной автоматики 73 объекта, оснащено зданиями модульного типа 7 мест дислокации пожарных поездов.

Выводы

1. Анализ статистических данных показал, что количество пожаров на стационарных объектах и подвижном составе в 2021 г. по сравнению с 2020 г. осталось на прежнем уровне, по 79 пожаров. Вместе с тем допущено увеличение количества пожаров в полосе отвода железных дорог (125 в 2021 против 75 в 2020), что составляет 61 % от общего количества пожаров, произошедших в 2021 г.

2. Существенно уменьшился общий материальный ущерб от пожаров, на 90,4 млн руб. (72 %).

3. В 2021 г. на пожарах погибло 3 человека: 1 работник Дальневосточной ООО «ЛокоТех-Сервис» и 2 работника ОАО «РЖД», в 2020 г. 1 человек, не работник ОАО «РЖД» (охранник ООО ЧОО «Ирбис ДВ Хабаровск»). То есть, число погибших возросло в 3 раза. 🚂

Литература

1. О пожарной безопасности: Федеральный закон №69-ФЗ от 21.12.1994 г.: принят Государственной Думой 18 ноября 1994 года. — Москва, 1994. — Текст: непосредственный.
2. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федеральный закон №123-ФЗ от 22.07.2008 г.: принят Государственной Думой 4 июля 2008 года: одобрен Советом Федерации 11 июля 2008 года. — Москва, 2008. — Текст: непосредственный.
3. Об утверждении Правил противопожарного режима в Российской Федерации: Постановление Правительства Российской Федерации от 16 сентября 2020 г. №1479. — Текст: электронный // КонтурНорматив [сайт]. — URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=400013&-ysclid=l9wgm4gy3q249175591> (дата обращения: 31.10.2022).
4. СТО РЖД 1.15.010-2009. Система управления пожарной безопасностью в ОАО «РЖД». Организация обучения: разработан Открытым акционерным обществом «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (ОАО «ВНИИЖТ»), Управлением охраны труда, промышленной безопасности и экологического контроля ОАО «РЖД»: внесен Управлением охраны труда, промышленной безопасности и экологического контроля ОАО «РЖД»: утвержден и введен в действие Распоряжением ОАО «РЖД» от 12 января 2010 г. №16: дата введения: 2010-02-01. — Текст: электронный // POZHPROEKT.RU [сайт]. — URL: <https://pzhproekt.ru/nsis/Rd/sto/sto-rzhd/sto-rzhd-1.15.010-2009.htm?ysclid=l9whcorlxm880761734> (дата обращения: 31.10.2022).
5. Распоряжение ОАО «РЖД» от 31.12.2014 г. №3248р «Об утверждении регламента организации и осуществления профилактики пожаров на стационарных объектах и подвижном составе ОАО «РЖД». — Текст: непосредственный.
6. Распоряжение ОАО «РЖД» от 12.08.2018 г. №42р «Об утверждении стандарта ОАО «РЖД» СТО «РЖД» 15.019-2017 Система управления пожарной безопасностью в ОАО «РЖД» Порядок организации и проведения производственного контроля. — Текст: непосредственный.
7. Распоряжение ОАО «РЖД» от 31.05.2019 г. № 1079р «Об утверждении регламента по организации служебного расследования и учета пожаров и их последствий в ОАО «РЖД». — Текст: непосредственный.
8. Материалы научно-практических конференций по проблемам обеспечения пожарной безопасности на объектах ОАО «РЖД» за период с 2012 по 2021 г. , г. Москва / ЦБТ ОАО «РЖД», 2012–2021 гг. — Текст: непосредственный.
9. Шевченко, А.И. Анализы состояния пожарной безопасности на объектах и подвижном составе ОАО «РЖД» в период с 2012 по 2021 гг. / А.И. Шевченко. — Текст: непосредственный.
10. Шевченко, А.И. Материалы по риск-менеджменту системы обеспечения пожарной безопасности объектов инфраструктуры и подвижного состава ОАО «РЖД» / А.И. Шевченко. — Москва: РАПС РУТ (МИИТ), 2022. — 48 с. — Текст: непосредственный.

МИКРОТРАВМЫ. ОТ ТЕОРИИ К ПРАКТИКЕ, СПУСТЯ 90 ЛЕТ



О.С. Сачкова



В.Б. Шевченко

В статье исследована актуальность концепции Генриха Герберта, согласно которой существует прямая связь между авариями, незначительными травмами и опасными ситуациями. Показана необходимость расследования микротравм как одного из основополагающего направления профилактики производственного травматизма в целях обеспечения приоритета сохранения жизни и здоровья работников.

Ключевые слова: микротравма, профилактика производственного травматизма, профессиональный риск, теория Генриха Герберта

EDN: CABIES

Федеральным законом от 2 июля 2021 г. №311-ФЗ «О внесении изменений в Трудовой кодекс Российской Федерации» [1] внесены изменения в раздел X Трудового кодекса Российской Федерации [2], который регулирует ключевые процедуры управления охраной труда в организации. Изменения, вступающие в силу с 1 марта 2022 г., в том числе, касаются введения понятия «микротравма», а также установления обязанности работодателя расследовать и учитывать микроповреждения и микротравмы лиц, участвующих в производственной деятельности работодателя.

До 1 марта 2022 г. в Трудовом кодексе Российской Федерации отсутствовало такое понятие, как микро-

травма и, как следствие, необходимость учета и расследования этих повреждений. Статья 227 Трудового кодекса Российской Федерации [2] четко определяла, что расследовать как несчастный случай необходимо только случаи, происшедшие с работниками и другими лицами, участвующими в производственной деятельности работодателя, при исполнении ими трудовых обязанностей, повлекших за собой необходимость перевода пострадавших на другую работу, временную или стойкую утрату ими трудоспособности либо смерть пострадавших.

Вышеуказанные изменения послужили толчком для последующего обновления законодательства в сфере охраны труда. Так, Министерство труда и социаль-

Сачкова Оксана Сергеевна, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории коммунальной гигиены и эпидемиологии отдела медико-биологических исследований ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт железнодорожной гигиены» (ВНИИЖГ Роспотребнадзора), профессор кафедры «Техносферная безопасность» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: исследования полимерсодержащих материалов для железнодорожного транспорта, гигиеническая сертификация подвижного состава железнодорожного транспорта. Автор 190 научных работ, в том числе пяти монографий, четырех учебников и восьми учебных пособий. Имеет пять патентов на изобретения.

Шевченко Виктория Борисовна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Техносферная безопасность» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: условия труда, охрана труда работников, экология. Автор 35 научных работ, в том числе двух учебных пособий.

Кошель Лилиана Николаевна, аспирант кафедры «Техносферная безопасность» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: пассажирские перевозки, микротравмы, охрана труда.

ной защиты Российской Федерации с учетом мнения Российской трёхсторонней комиссии по регулированию социально-трудовых отношений разработало Рекомендации по учету микроповреждений (микротравм) работников, утвержденные приказом Минтруда РФ от 15 сентября 2021 г. №632н, направленные на совершенствование внутренних процессов управления охраной труда в организации и предупреждения производственного травматизма [4]. Указанные рекомендации по учету микроповреждений (микротравм) работников разработаны в целях оказания содействия работодателям во исполнение устанавливаемых требований Трудового кодекса Российской Федерации, совершенствования внутренних процессов управления охраной труда в организации, предупреждения производственного травматизма.

Согласно рекомендациям, под учетом микроповреждений (микротравм) работников понимается процедура сбора и регистрации информации о микроповреждениях (микротравмах). Учет микроповреждений (микротравм) работников должен осуществляться работодателем самостоятельно, исходя из специфики своей деятельности, достижений современной науки и наилучших практик, принятых на себя обязательствах.

До 1 марта 2022 г. необходимость учитывать и расследовать микротравмы являлась субъективным убеждением и желанием работодателя, подтверждающим его приверженность соблюдению основного направления государственной политики в области охраны труда в части обеспечения приоритета сохранения жизни и здоровья работников.

Так, например, в Акционерном обществе «Федеральная пассажирская компания» — дочернем обществе ОАО «РЖД», обеспечивающим пассажирские железнодорожные перевозки в дальнем следовании, с 2016 г. закреплено понятие «микротравма» [5], под которым понимается повреждение, в результате которого работником получены телесные повреждения, обусловленные воздействием внешних факторов, не повлекшие за собой утрату трудоспособности. Также в АО «ФПК» с 2016 г. определен порядок информирования, расследования и проведения профилактической работы, направленной на предотвращение случаев повреждения здоровья работников в процессе трудовой деятельности независимо от степени тяжести, в том числе микротравм.

Проведение данной работы позволило АО «ФПК» на регулярной основе выявлять и идентифицировать опасности и потенциальные риски травмирования, минимизировать уровни профессиональных рисков [3], обеспечивать улучшение условий и охраны труда работников Компании.

Стоит отметить, что активная позиция АО «ФПК» в вопросах профилактики событий повреждения здоровья работников позволила подтвердить своими действиями приверженность современной концепции Vision Zero и принять ее к руководству в своей хозяйственной деятельности.

При всей актуальности вопроса микротравм, значение которого в настоящее время признано на самом высоком законодательном уровне, стоит отметить, что еще в 1931 г. Герберт Уильям Генрих (6 октября 1886 г. — 22 июня 1962 г.) в своей книге «Предотвращение промышленных аварий, научный подход» [6] выдвинул концепцию, согласно которой существует прямая связь между авариями, незначительными травмами и опасными ситуациями.

Эта концепция стала известна как закон Генриха: «На рабочем месте на каждую аварию, повлекшую серьезную травму, приходится 29 несчастных случаев с незначительными травмами и 300 несчастных случаев, не вызывающих травм». Наиболее часто этот закон изображают в виде «Пирамиды безопасности» (рисунок).

По мнению Генриха аварий с тяжелыми последствиями ждать не стоит, а вместо этого необходимо реагировать на то, что сегодня назвали «микротравмой». В своих трудах автор говорил о необходимости развития нового подхода к профилактике травматизма, который в современном обществе называется риск-менеджмент. Концепция Генриха заключалась в следующем: «Возможность обнаружить и исправить условия, приводящие к аварии, задолго до того, как несчастный случай действительно произойдет».

Несмотря на то, что многие годы теория Генриха, в основе которой лежал проактивный подход к профилактике производственного травматизма, подвергалась сомнению и критике, по прошествии 90 лет его концепция нашла свое подтверждение в современных системах риск-менеджмента и закреплена на законодательном уровне.



Рисунок. «Пирамида безопасности»

Литература

1. О внесении изменений в Трудовой кодекс Российской Федерации : Федеральный закон №311-ФЗ от 2 июля 2021 г: принят Государственной Думой 17 июня 2021 года; одобрен Советом Федерации 23 июня 2021 года. – Текст: электронный // КонсультантПлюс [сайт]. – URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=395450&ysclid=I9xtkystan275090256> (дата обращения: 01.11.2022).
2. Трудовой кодекс Российской Федерации: Федеральный закон от №197-ФЗ от 30 декабря 2001 г. – Текст: электронный // КонсультантПлюс [сайт]. – URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=-1&documentId=433439&ysclid=I9xxs1jdhi664105059> (дата обращения: 01.11.2022).
3. ГОСТ Р 51901.23-2012. Менеджмент риска. Реестр риска. Руководство по оценке риска опасных событий для включения в реестр риска = Risk management. Risk register. Guide on assessment of hazards risk for inclusion in risk register: национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29 ноября 2012 г. N1285-ст.: дата введения 2013-12-01. – Москва: Стандартинформ, 2013.
4. Перечень важных документов на стадии принятия // Главная книга, 2021. №15.
5. Распоряжение АО «ФПК» от 19 июля 2016 г. №748р «Об утверждении Регламента информирования о событиях повреждения здоровья работников АО «ФПК» и выезда на их расследование». – Текст: непосредственный.
6. Генрих Уильям Герберт. Предотвращение промышленных аварий: научный подход. – Нью-Йорк: Макгроу-Хилл, 1931. OCLC 571338960.

ВОЗДЕЙСТВИЕ ТРАНСПОРТНОГО ШУМА НА ГОРОДСКОЕ НАСЕЛЕНИЕ

Рассмотрены параметры анализа транспортного шума. Приведены обобщенные данные анализа результатов исследований влияния шумового загрязнения окружающей среды на здоровье населения.

Ключевые слова: транспортная система, транспортный шум, шумовое загрязнение, здоровье населения

EDN: VXBNCI



Е.А. Арсентьева



О.В. Канунников

Посторонние громкие звуки и городские шумы на сегодняшний день — одна из причин проблем со здоровьем у современных людей. Шум все более становится источником дискомфорта в современных городах. Шумовое загрязнение является одной из серьезных проблем городской среды, эта проблема актуальна во всех крупных городах России, таких как Москва, Санкт-Петербург, Екатеринбург.

Шум может проявлять себя не меньшим загрязнителем, чем токсичные химические вещества в окружающей среде. Шум, как нежелательный звук, вызывает различные психологические и физические нагрузки на живые и неживые объекты, подвергающиеся его воздействию. В результате увеличения механизации и автоматизации, использования все более громоздкого и сложного оборудования, шум становится все более

распространенным и серьезным источником дискомфорта и опасности.

Проблемы шумового загрязнения мегаполисов связаны с быстрым темпом урбанизации и, как следствие, ростом населения, ускоряющимся образом жизни, эгоцентричным менталитетом современных горожан, увеличением количества транспортных средств и механизмов в повседневной жизни и в работе организаций. Как показывают исследования, около 38 млн человек ежедневно подвергаются различным видам шума от всех видов транспорта.

В крупных городах размещается большое количество производств и офисных центров, увеличиваются возможности трудоустройства населения. При этом следует учесть, что работодатели достаточно сильно разбросаны в разных зонах города, поэтому люди

Арсентьева Елена Александровна, аспирант кафедры «Техносферная безопасность» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: охрана труда, техносферная безопасность. Автор трех научных работ.

Канунников Олег Викторович, кандидат технических наук, заместитель генерального директора по научно-исследовательской работе ООО «Рэйл Кэмикал». Область научных интересов: санитарно-гигиенические исследования, испытания пассажирских вагонов локомотивной тяги, санитарно-гигиенические и экологические испытания полимерсодержащих материалов. Автор 22 научных работ, в том числе двух монографий.

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

предпочитают жить вблизи объектов транспортной инфраструктуры, с целью быстрого пользования станциями метрополитена и остановками общественного транспорта, вблизи которых сильное шумовое напряжение присутствует практически круглосуточно.

Движение транспорта можно рассматривать как один из основных источников шумового загрязнения в крупных городах. Железнодорожный, автомобильный и воздушный транспорт являются источниками постоянного транспортного шума. В первую очередь от транспортного шума страдают работники транспортных объектов, в том числе работники сферы логистики и перевозок, которое ежедневно находятся вблизи источника шума. Уровень шума по типам транспортных средств представлен в табл. 1. Значение уровней шума для водителей и пассажиров транспортных средств отражено в табл. 2.

К сожалению, на сегодняшний день в Российской Федерации мало внимания уделяется отслеживанию статистики уровней шума и влиянию шумового загрязнения на здоровье населения. Подобные исследования, проводимые за рубежом, показывают, что длительный

и интенсивный шум отрицательным образом влияет на здоровье человека: провоцирует стресс, раннее старение и сокращает продолжительность жизни.

Стрессовое состояние от воздействующего шума может формироваться как осознанно, так и неосознанно. Шум, издаваемый транспортными средствами вреден еще потому, что действует постепенно и его отрицательный эффект накапливается [2]. Шум в повседневной жизни портит настроение, человек становится рассеянным, уставшим, так как постоянные источники шума мешают как сосредоточиться на работе, так и отдохнуть дома. Люди, постоянно живущие в шуме, жалуются на состояние тревоги, бессонницы и даже на нарушение слуха — это серьезные причины отрицательного влияния шумового воздействия. Люди, обращающиеся в медицинское учреждение с вышеперечисленными симптомами и врачи, к которым они приходят на прием, зачастую не понимают, что причиной этих симптомов может быть акустическое раздражение.

Безопасный для человека уровень шума днем составляет порядка 55 дБ, ночью должно быть тише.

Таблица 1

Уровень шума, возникающего при движении транспортных средств

Транспортное средство	Уровень шума, дБА
Автобус	80–85
Грузовой автомобиль	80–90
Поезд метрополитена	90–95
Железнодорожный состав (в 7 м от колеи)	95–100
Железнодорожный состав (у колес)	125–130
Реактивный самолет на взлете	130–160

Таблица 2

Уровень шума внутри транспортных средств [6]

Транспортное средство	Уровень шума, дБА
Пассажирский вагон поезда	До 68
Салон самолета	75–85
Кабина экипажа самолета	80
Салон автомобиля	60
Салон автомобиля (на оживленных магистралях)	80–85
Машинные отделения тепловозов	118–120
Кабина магистральных тепловозов (на стоянке)	75–96
Кабина магистральных тепловозов (при движении со скоростью 75–100 км/ч)	99–108
Кабина электровоза	80–95

Допустимым считается уровень шума до 45 дБ. Тем не менее, следует учесть, что комфортным уровнем шума в повседневной жизни является уровень не выше 40 дБ. Этот уровень желательно снизить до 30 дБ во время отдыха человека. Если уровень шума превышает допустимую норму, особенно, если это происходит регулярно, шум может спровоцировать различные заболевания, причина которых может быть установлена далеко не сразу.

Если говорить о шуме, возникающем от транспортных средств, то этот уровень не должен превышать 45–55 дБ в местах проживания людей рядом с транспортной развязкой. Европейские исследования отражают следующие факты о влиянии шума на население, представленные на рис. 1 [1].

Исследователи уже долгое время задаются вопросом, способен ли интенсивный шум стать причиной потери слуха. Доказано, что это зависит от индивидуальных особенностей каждого организма [4]. К примеру, у одних людей может ослабнуть слух даже от кратковременного сильного шума, а другие люди могут постоянно работать в шумной обстановке и их слух останется неизменным. Тем не менее, регулярное воздействие шума если не станет причиной потери слуха, то определенно причинит ему вред. Например, у многих пациентов после интенсивного шума наблюдается звон в ушах; может кружиться или болеть голова, расфокусироваться внимание и др.

Помимо непосредственного влияния на слух, шумовое загрязнение оказывает значительное влияние на качество жизни, может спровоцировать развитие заболеваний, таких как сердечно-сосудистые нарушения, гипертония, диабет; вызывает изменения в

социальном поведении и депрессивные состояния. Основные последствия для организма человека перечислены на рис. 2. Ряд исследований указывает на то, что сильный шум может стать не только источником снижения или потери слуха, но и источником снижения зрения. Доказано, что после воздействия сильного шума у человека обостряется восприятие голубого и зеленого цветов, а красного — уменьшается.

Шумовая болезнь, не так давно открытая исследователями, имеет следующие симптомы (рис. 3).

Также на шум влияет характер выполняемой человеком работы, шум при выполнении работы умственного плана приносит беспокойство 60% работников, при физических нагрузках — 55% работников. Показатель относительно умственной работы выше, так как интенсивный шум в этой области негативно сказывается на работе нервной системы и возможности сосредоточиться. Медицинскими исследованиями доказано, что люди, работающие и живущие в спокойной обстановке гораздо более психически устойчивы, чем люди, которые постоянно подвергаются транспортному шуму.

Шум в вечернее и ночное время может оказывать влияние на качество сна: человек не может расслабиться, настроиться на сон, а, если ему все же удастся заснуть, внезапный шум может привести его нервную систему в состояние стресса. Особенно этому подвержены дети и пожилые люди: транспортный шум с улиц (например, проехавший мимо мотоцикл или сирена спецтранспорта) может напугать и неожиданно разбудить, тем самым, нарушив продолжительность и глубину сна. Согласно исследованиям, в результате действия шума ночью, превышающего 50 дБ,

Менее 50% людей ежедневно подвергаются транспортному шуму, превышающему 55 дБ

20% людей ежедневно подвергаются транспортному шуму, превышающему 65 дБ

30% людей подвергаются транспортному шуму ночью, превышающему 55 дБ

В азиатских странах 80% людей ежедневно подвергается уровню транспортного шума от 60 до 64 дБ

Постоянный шум отрицательно воздействует на слух человека, повышая напряжение слуха до 20 дБ

Когда порог шума достигает 70 дБ, слушателю становится труднее понять речь говорящего

Рис. 1. Данные об уровне транспортного шума согласно зарубежным исследованиям



Рис. 2. Возможные последствия влияния шумового загрязнения на здоровье человека

сон человека увеличивается на час и более, при этом человек не высыпается и чувствует себя разбитым. Это связано с тем, что мозг не погружается в глубокий сон [4]. Не только детям и пожилым, но и трудящимся важно, чтобы отдых был тихим. В условиях отдыха без шума человеческий организм полноценно может восстановить энергию, тогда как сон, сопровождающийся шумом, провоцирует появление и увеличение стресса на рабочем месте и возникновение физического переутомления, перерастающего в гипертонию.

По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), интенсивный шум напрямую влияет на заболевания сердца, что в перспективе может приводить к инвалидности и ранней смерти, включая смерть от инфаркта и инсульта. Особенно часто это наблюдается в пожилом возрасте, когда восприимчивость к шуму становится особенно высокой [5].

Согласно данным ВОЗ, от шума может повыситься артериальное давление и развиться гипертония, что влияет на здоровье сердца и сосудов. Также следует учитывать, что развитию заболевания сердца и сосудов вследствие интенсивного шума подвержены не только пожилые люди. Согласно исследованиям, проведенным ВОЗ, порядка 5% госпитализированных с инсультом приходится на взрослое население, 9% — на пожилых людей.

Как показали исследования, транспортный шум оказывает влияние на развитие сахарного диабета и ожирения. В 2014 году были проведены исследования среди людей, живущих поблизости от аэропорта, среди них было выявлено, что при увеличении шума на 5 дБ у людей со временем увеличивается окружность тела на полтора сантиметра, это связано с выбросом кортизола. Люди, постоянно испытывающие на себе



Рис. 3. Симптомы шумовой болезни



Рис. 4. Параметры, влияющие на транспортный шум

воздействие повышенного транспортного шума, подвержены увеличенному риску заболевания сахарным диабетом.

Согласно данным различных исследований, на транспортный шум непосредственно влияют следующие факторы (рис. 4) [3].

Уровень транспортного шума изменяется с увеличением плотности движения, связанного с трафиком движения, параметрами, состоянием дороги и ее инфраструктуры. Чтобы понять конкретные причины шумового загрязнения городской среды, необходимо изучить транспортную инфраструктуру, объекты транспортной системы, тенденции изменения количества транспортных средств в течение различных временных периодов с учетом перемещения насе-

ния внутри городской инфраструктуры. На рис. 5–7 приведены данные, необходимые для расчета шума от автомобильной дороги, участка железнодорожных путей и авиационного шума [8].

Таким образом, транспортный шум, возникающий от железнодорожного, автомобильного и воздушного транспорта в современном большом городе, приобрел характер достаточно серьезной проблемы. В результате влияния шумового загрязнения на здоровье человека могут возникнуть нарушения сна, возникнуть нарушения нервной или сердечно-сосудистой системы. Необходимо проводить исследования по оценке уровня транспортного шума и контроля шумового загрязнения, применять своевременные меры для снижения уровня шума.



Рис. 5. Параметры для расчета шума от линейного участка автомобильной дороги



Рис. 6. Параметры для расчета шума от линейного участка железнодорожных путей, включая рельсовый городской наземный электротранспорт



Рис. 7. Параметры для расчета уровня авиационного шума на территории жилой застройки

Литература

1. Экология: учебное пособие для студентов высших учебных заведений / Денисов В.В. [и др.]; под ред. проф. В.В. Денисова. — Изд. 4-е, испр. и доп. — Москва; Ростов-на-Дону: МарТ, 2009. — 768 с. — (Учебный курс). — ISBN 978-5-241-00897-8. — Текст: непосредственный.
2. Некипелова, О.О. Шум, как экологический фактор среды обитания / О.О. Некипелова. — Текст: электронный // Современные наукоемкие технологии. — 2004. — №2. — С. 157–158. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=9926821&> (дата обращения: 13.04.2022).
3. Павлова, Е.И. Общая экология и экология транспорта: учебник и практикум для среднего профессионального образования / Е.И. Павлова, В.К. Новиков. — 5-е изд., перераб. и доп. — Москва: Издательство Юрайт, 2019. — 480 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-08167-1. — Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт. — URL: <https://urait.ru/bcode/437381> (дата обращения: 02.05.2022).
4. Полякова, М. Шум и здоровье / М. Полякова. — Текст: непосредственный // Техника-молодежи. — 2009. — №10. — С. 16–17.
5. Пыко, А.В. Влияние транспортного шума и загрязнения воздуха на метаболическую и сердечно-сосудистую заболеваемость и смертность / А.В. Пыко, О.А. Мукалова, А.А. Пыко. — Текст: электронный // Неотложная кардиология и кардиоваскулярные риски. — 2018. — Т. 2, №1. — С. 270–279. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35128985&> (дата обращения: 11.04.2022).
6. Государственный доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2010 году». — URL: <http://36.rospotrebnadzor.ru/download/gdri/gdri2010.PDF> (дата обращения: 08.04.2022). — Текст: электронный.
7. МУК 4.3.3722-21 «Контроль уровня шума на территории жилой застройки, в жилых и общественных зданиях и помещениях». — URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/403287707/> (дата обращения: 12.10.2022). — Текст: электронный.
8. МР 2.1.10.0059-12 «Оценка риска здоровью населения от воздействия транспортного шума». — URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200095849> (дата обращения: 17.10.2022). — Текст: электронный.
9. ГОСТ Р 53187-2008. Акустика. Шумовой мониторинг городских территорий = Acoustics. Noise monitoring of cities: национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 18 декабря 2008 г. №638-ст. — Текст: электронный. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200069469> (дата обращения: 17.10.2022).