

НАУКА И ТЕХНИКА ТРАНСПОРТА



ISSN 2074-0252



Транспорт

Моделирование транспортных процессов

Безопасность деятельности человека

2024 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:

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

Адрес редакции:

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

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

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

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

Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ).

Редакция не несет ответственности за представленные материалы. Мнение редакции может не совпадать с мнением автора. Рукописи рецензируются и не возвращаются. Использованы фотоматериалы из открытых источников: www.gia.ru, karelia.rbc.ru.

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

Подписано в печать 23.12.2024.

Усл. печ. л. 16,5 Тираж 60 экз.
Формат 60×90^{1/8}. Тип. зак. 20

© Наука и техника транспорта, 2024



Редакционный совет:

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

Главный редактор

В.И. Апатцев

Ответственный редактор

В.А. Бугреев

Ответственный секретарь

В.А. Кочнев

Редакторы

Д.Н. Тихонычев, В.К. Тихонычева

4' 2024

Транспорт



Д.Г. Евсеев, Е.А. Коченов

Усовершенствование тормозной рычажной передачи на основе использования потележечного торможения и новой системы обеспечения равномерного износа тормозных колодок грузовых вагонов

8



А.В. Сычева, Д.В. Овчинников, В.П. Сычев

Моделирование напряженно-деформируемого состояния железнодорожного пути переменной жесткости на подрельсовых основаниях с вязким элементом

15



А.С. Космодамианский, В.И. Воробьев, О.В. Измеров, А.Е. Карпов

Развитие семейства локомотивов на базе односекционного тепловоза

23



М.Э. Скоробогатов, А.В. Пультяков, Л.В. Козиенко

Выбор технологии передачи данных для автоматизированной системы контроля местонахождения работников железнодорожного транспорта

37



С.П. Вакуленко, Н.Ю. Евреенова

Стратегия взаимодействия железнодорожного и автомобильного транспорта с целью максимального достижения качества предоставляемых услуг по перевозке пассажиров в пригородном сообщении

43



А.Н. Малых, А.Н. Малых, А.В. Орлов, А.В. Смыслов, Н.А. Тарадин

Совершенствование алгоритма оценки свойств циклического кода в системах диспетчерской централизации

47

Моделирование транспортных процессов



М.А. Кулагин, В.Г. Сидоренко

Обобщение опыта решения задач предиктивной аналитики на железнодорожном транспорте

55



О.Ю. Кривич, И.К. Сергеев, М.А. Полутов, М.Р. Мепаришвили

Имитационное моделирование процесса ремонта колесных пар в среде AnyLogic

63



В.Е. Нутович

Формализованные методы структурно-алгоритмического синтеза результатов мониторинга массы груза в систему интеллектуального коммерческого осмотра

72



И.Ф. Михалевич, С.С. Соколов

Интеллектуализация и новые типы угроз безопасности водного транспорта

76



А.В. Власова, В.В. Воробьев

Разработка систем управления безопасностью полетов для телекоммуникационного и орнитологического обеспечения полетов

85

Безопасность деятельности человека



Л.А. Леванчук

Результаты оценки надежности работников локомотивных бригад грузового движения

92



О.С. Сачкова, В.А. Кочнев

Обоснование применения экологически чистых туалетных комплексов с биореактором на подвижном составе железнодорожного транспорта

96

СОДЕРЖАНИЕ



Ю.В. Пименова

Профессиональная заболеваемость работников
путевого комплекса

105



А.И. Лисицын, В.С. Косякин, В.В. Савельева

Анализ влияния человеческого фактора
на возникновение несчастных случаев в ОАО «РЖД»

114



Е.А. Сеславина, А.И. Сеславин, Е.Н. Евдокимова

Управление безопасностью на железнодорожных
переездах на основе прогнозных моделей

119



Л.Н. Кошель

Совершенствование мероприятий по формированию
культуры безопасности труда у проводников
пассажирских вагонов

127

Transport

D.G. Evseev, E.A. Kochenov

Improvement of the Brake Lever Transmission on the Basis of Using the Bogie Braking and new System of Providing the Uniform Wear of the Brake Shoes of Freight Wagons **8**

The article highlights effective measures of solving actual problems connected with brake lever transmission of freight wagon, namely purposeful transition to bogie braking and introduction of new system of uniform wear by making changes in the design of vertical lever of brake lever transmission.

Key words: freight wagon, brake system, brake lever gear, bogie braking, brake shoes

A.V. Sycheva, D.V. Ovchinnikov, V.P. Sychev

Modeling the Stress-strain State of a Railway Track with Variable Rigidity on Sub-rail Foundations with a Viscous Element **15**

Mathematical models are constructed in the finite element analysis environment of a typical railway track and a temporary railway track for operational deployment on sub-rail foundations with shell elements filled with Newton's fluid with different filling levels.

Key words: railway track, deformation, analysis, finite element, sub-rail device, Newton's fluid

A.S. Kosmodamiansky, V.I. Vorobyev, O.V. Izmerov, A.E. Karpov

Development of Locomotive Family on the Basis of Single-section Diesel Locomotive **23**

The problem of improving the performance of the TE26 diesel locomotive, created by JSC UK BMZ, is considered. A design of the traction motor suspension is proposed that does not contain wearing parts. The feasibility of creating a passenger version of the TE26 diesel locomotive to increase the degree of unification of the operated diesel locomotives is proven, which will improve the traction properties of passenger diesel locomotives by 14–22%.

Key words: diesel locomotive, traction properties, undercarriage, traction drive, design

M.E. Skorobogatov, A.V. Puptyakov, L.V. Kozienko

Choice of Data Transmission Technology for the Automated System of Controlling the Location of Railway Transport Employees. **37**

The article solves the problem of choosing the technology of wireless data transmission for the system of controlling the location of employees in hazardous areas in railway transport. Such technologies as Zigbee, Wi-Fi, Wi-Max, GSM/GPRS, 3G/4G/5G and LoRa are considered, their advantages and disadvantages are analysed and modulation methods of each of them are evaluated.

Key words: Zigbee, Wi-Fi, Wi-Max, GSM/GPRS, 3G/4G/5G, LoRa, wireless data transmission technology

S.P. Vakulenko, N.Yu. Evreenova

The Strategy of Interaction Between Rail and Road Transport in Order to Maximize the Quality of Services Provided for the Transportation of Passengers in Suburban Traffic. **43**

In order to implement projects for the development and formation of a modern transport infrastructure system on the territory of the Russian Federation, it is necessary to develop regulatory documentation that would take into account the strategy of interaction of various modes of transport at transport interchange hubs. The article discusses the advantages and features of developing such a strategy.

Key words: road transport, rail transport, suburban transportation, transport interchange hubs, interaction of modes of transport

A.N. Malykh, A.N. Malykh, A.V. Orlov, A.V. Smyslov, N.A. Taradin

Improvement of Algorithm of Cyclic Code Properties Estimation in Dispatch Centralisation Systems **47**

The article proposes a reduced search algorithm that significantly reduces the computational resources and calculation time for the number of undetected transformations of a cyclic code compared to the full search algorithm.

Key words: railway automation and telemechanics, dispatch centralization, cyclic codes

Modelling of transport processes

M.A. Kulagin, V.G. Sidorenko

Generalisation of Experience in Solving Problems of Predictive Analytics in Railway Transport **55**

The purpose of the article is to synthesize the hierarchy of predictive analytics models implemented for objects and entities operating in Russian Railways. The synthesis of a semantic network of models, the apex of which is a meta-ontology based on ontologies of subject areas and applied ontologies applicable to railway transport, has been performed. Examples are given confirming the feasibility of the proposed hierarchy.

Key words: intelligent transport systems, forecasting, modelling

O.Yu. Krivich, I.K. Sergeev, M.A. Polutov, M.R. Meparishvili

Simulation Modelling of Wheelset Repair Process in AnyLogic Environment **63**

The procedure of creation and use of simulation model of wheelset repair process in depot conditions is described. The scheme of the simulated wheelset repair process created using basic blocks of AnyLogic environment is shown. The description and results of the optimisation experiment performed with the built model are presented.

Key words: AnyLogic, simulation modelling, current repair of wheelsets, average repair of wheelsets

V.E. Nutovich

Formalised Methods of Structural-Algorithmic Synthesis of Cargo Mass Monitoring Results into the System of Intellectual Commercial Inspection **72**

The paper describes mathematical and information models of monitoring of cargo mass transported by railway transport, as well as methods of structural-algorithmic synthesis of decisions on the presence of commercial faults based on the results of weighing into a single macro system of intelligent commercial inspection (ASKM ICO).

Key words: intelligent transport systems, cargo weight monitoring, wagon weighing, wagon commercial inspection, reliability assurance, ASKM NP, ASKM ICO

I.F. Mikhalevich, S.S. Sokolov

Intellectualisation and New Types of Threats to Water Transport Security. **76**

The article examines issues of ensuring the security of intelligent water transport systems (IWTS) caused by non-physical threats, including imperfect regulations for the development and operation of IWTS, digital inequality of the elements of integrated automated systems for corporate and technological management of IWTS facilities, and insufficient development of domestic hardware and software platforms for IWTS.

Key words: act of illegal interference, intelligent water transport system, computer attack, threat

A.V. Vlasova, V.V. Vorobyev

Development of Flight Safety Management Systems for Telecommunication and Ornithological Support of Flights **85**

One of the main elements of flight safety in civil aviation is the creation of flight safety management systems (FSMS). In accordance with ICAO and RF documents, FSMS should be developed for each type of flight support. Two options for developing FSMS are considered: for telecommunication flight support and for ornithological flight support.

Key words: flight safety, flight safety management system, hazardous factor, risk factor

Safety of human activity

L.A. Levanchuk

Results of Reliability Assessment of Employees of Locomotive Crews of Freight Traffic. **92**

The safety of the transport process is determined by the reliability of locomotive brigade workers. The research was carried out in the group of freight traffic drivers. The results allowed to establish that workers are not inclined to take risks, they have a high level of depersonalisation, formal performance of professional duties without personal involvement and empathy. This may affect the reliability of employees and corporate security.

Key words: employees of locomotive crews, working conditions, reliability of specialists

O.S. Sachkova, V.A. Kochnev

Justification of Application of Ecologically Clean Toilet Complexes with Bioreactor on the Rolling Stock of Railway Transport. **96**

In the article the main stages of technological development of toilet systems in Russia and abroad are stated. The importance of using ecologically clean toilet complexes with bioreactor (ECTC) on railway rolling stock is noted. For the effective functioning of ECTC it is suggested to use biodegradable disinfectant with washing and deodorising action «BIODEZZHT».

Key words: railway transport, environmentally friendly toilet complexes, rolling stock, biodegradable disinfectant

Y.V. Pimenova

Occupational Morbidity of Track Complex Workers **105**

The article reflects the results of analytical review of data on cases of occupational diseases (OD), established at the workers of the repair and track complex for the period from 2009 to 2023. The information about working conditions, main harmful production factors affecting track workers is given, the data are compared with the structure of occupational diseases of the latter. Medical and organisational-technical measures aimed at preserving professionally significant functions of track workers are recommended.

Key words: railway transport, professions with harmful working conditions, track complex workers, occupational morbidity

A.I. Lisitsyn, V.S. Kosyakin, V.V. Savelyeva

Analysis of the Human Factor Influence on the Occurrence of Accidents in JSC Russian Railways **114**

The approaches to studying the influence of the human factor on the occurrence of industrial accidents in JSC Russian Railways presented in the article allow us to determine: the involvement of personnel involved in the labor process, their violations, groups of dangerous actions and the reasons for their occurrence. The analysis allows us to formulate an action plan for working with personnel and improving their occupational safety culture.

Key words: accident, human factor, those involved in the occurrence of an accident, groups of dangerous actions

E.A. Seslavina, A.I. Seslavin, E.N. Evdokimova

Safety Management at Railway Crossings Based on Forecast Models **119**

The article is devoted to the development of a mathematical model that allows obtaining predictive indicators of traffic safety at a single-level intersection of railway tracks with an automobile road, for the further construction of a priority series of crossings, from the point of view of the need for improvement or their additional equipment.

Key words: traffic safety, railway crossings, mathematical modeling, predictive model

L.N. Koshel

Improvement of Measures to Form the Culture of Labour Safety Among the Conductors of Passenger Carriages. **127**

In the article the correlation dependence of the level of industrial traumatism and personnel turnover on the example of conductors of passenger cars is considered, the monitoring of the state of industrial traumatism, the analysis of the level of personnel turnover and personnel involvement is carried out.

Key words: occupational traumatism, passenger car conductor, staff turnover, involvement assessment, labour conditions

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТОРМОЗНОЙ РЫЧАЖНОЙ ПЕРЕДАЧИ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОТЕЛЕЖЕЧНОГО ТОРМОЖЕНИЯ И НОВОЙ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАВНОМЕРНОГО ИЗНОСА ТОРМОЗНЫХ КОЛОДОК ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ



Д.Г. Евсеев



Е.А. Коченов

В статье освещаются эффективные меры решения актуальных проблем, связанных с тормозной рычажной передачей грузового вагона, а именно целесообразный переход на потележечное торможение и внедрение новой системы равномерного износа путем внесения изменений в конструкцию вертикального рычага тормозной рычажной передачи.

Ключевые слова: грузового вагона, тормозная система, тормозная рычажная передача, потележечное торможение, тормозные колодки

EDN: OJJSKG

Торможение вагонов, перевозящих грузы, осуществляется с помощью передачи, состоящей из рычагов. Ее главная задача — направление возникающего в цилиндре усилия к колодкам с целью их прижатия к поверхностям трения колесных пар.

На эффективность торможения также оказывает влияние качество ее взаимного воздействия с другими компонентами данной системы. Тормоза, которые работают с нарушениями, могут привести к падению давления в тормозной системе, что снизит эффективность торможения.

Целью данной статьи является повышение качества работы рычажной передачи грузовых вагонов. Для достижения данного результата необходимо улучшить распределение тормозного усилия между колесами вагона, повысить равномерность прижатия колодок, а также уменьшить вероятность блокировки колес.

Классической причиной отказа оборудования, участвующего в процессе торможения, являются непо-

ладки передаточной системы рычагов. За 1 квартал 2016 года на железных дорогах России допущено 227 случаев отказа такого оборудования [3].

Причинами отказов рычажной передачи (рис. 1) являются обрыв тормозной тяги, неправильная регулировка тормозной рычажной передачи (ТРП) и прочие неисправности.

Источником риска для выхода из строя деталей является некачественно проведенный ремонт или несовершенство технологии, по которой данный ремонт производился.

Помимо некачественно проведенного ремонта, тормозная рычажная передача имеет следующие слабые места:

1. Большое количество подвижных элементов системы в виде рычагов, подвесок и тяг и высокая сложность их регулировки.

2. Малая эффективность системы равномерного износа колодок.

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

Коченов Егор Александрович, аспирант кафедры «Технология транспортного машиностроения и ремонта подвижного состава» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: повышение эффективности тормозной системы грузовых вагонов. Автор трех научных работ.

«УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТОРМОЗНОЙ РЫЧАЖНОЙ ПЕРЕДАЧИ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОТЕЛЕЖЕЧНОГО ТОРМОЖЕНИЯ И НОВОЙ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАВНОМЕРНОГО ИЗНОСА ТОРМОЗНЫХ КОЛОДОК ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ»



Рис. 1. Причины отказов тормозной рычажной передачи [3]

Вариантом улучшения данной конструкции может служить переход на потележечное торможение, представляющее собой включение тормозных цилиндров, смонтированных на колесных парах, со встроенным устройством, которое, в свою очередь, будет контролировать и фиксировать значение выхода штока (рис. 2).

Усматривается положительная вероятность отказа от устройств автоматического действия путем внедрения указанных цилиндров, что может привести к качественным положительным изменениям. Ко всему перечисленному можно добавить, что станет доступной возможность упрощения настройки системы рычагов, из-за чего отпадет необходимость постоянного инспектирования размера «А» между регулятором передачи и упором регулятора.

Для более глубокого анализа работы тормозной рычажной передачи, применяемой при потележечном торможении, необходимо рассмотреть ее с помощью математической модели, которая описывает усилия, затрачиваемые на рычаги системы, способной обеспечить эффективное торможение.

Рассматриваемая кинематическая модель тормозной системы является моделью первого уровня.

Количество свобод механизма можно установить по следующей формуле:

$$W=3 \cdot n-2 \cdot P_5-P_4, \quad (1)$$

где n – количество звеньев, участвующих в движении;

P_5 – количество пар 5 класса; P_4 – количество пар 4 класса.

Анализируя рис. 3, можно сказать, что система включает в себя четыре подвижных компонента, пять кинематических соединений и одно соединение 4 класса.

Исходя из рис. 3, можно сделать вывод, что механизм состоит из четырех подвижных звеньев, пяти кинематических пар 5 класса и одной пары 4 класса. Таким образом, $W=1$.

Для анализа на предмет кинематики был использован метод замкнутых контуров. Путем преобразования контура O, A, B, C, D в векторное уравнение, получим:

$$\bar{l}_1 + \bar{l}_2 + \bar{l}_3 + \bar{l}_4 = \bar{X}_E, \quad (2)$$

где \bar{l}_1 – расстояние AB , \bar{l}_2 – расстояние BC , \bar{l}_3 – расстояние CD , \bar{l}_4 – расстояние DF , \bar{X}_E – координата зазора между колесом и колодкой.

Спроецировав уравнение векторов на оси X и Y , получим:

$$\begin{cases} l_1 \cdot \cos \varphi_1 + l_2 \cdot \cos \varphi_2 + l_4 = X_E; \\ l_1 \cdot \sin \varphi_1 + l_3 \cdot \sin \varphi_2 = 0 \end{cases} \quad (3)$$

Из уравнения (3) получено:

$$\sin \varphi_2 = -\frac{l_1 \cdot \sin \varphi_1}{l_3}. \quad (4)$$

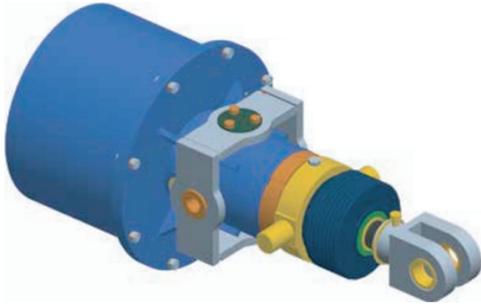


Рис. 2. Пример цилиндра со встроенной регуляцией [4]

В соответствии с рис. 3, возможно установить, что вектор l_3 расположен в I четверти, поэтому он имеет положительное значение.

Величина X_E может быть получена из уравнения (3):

$$X_E = l_1 \cdot \cos \varphi_1 + l_3 \cdot \cos \varphi_2 + l_2 + l_4. \quad (5)$$

Получаем следующее уравнение:

$$\cos \varphi_2 = \sqrt{1 - \sin^2 \varphi_2}. \quad (6)$$

Подстановкой в полученное выражение (6) значения $\sin \varphi_2$, можно получить следующее выражение:

$$X_E = l_2 + l_4 + l_1 \cdot \cos \varphi_1 + l_3 \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{l_1 \cdot \sin \varphi_1}{l_3}\right)^2}. \quad (7)$$

Для установления аналога скорости $U_{d\varphi_2}$ позиции 5 (рис. 3) необходимо продифференцировать уравнение (3) относительно координаты φ_2 .

$$-l_1 \cdot \sin \frac{d\varphi_1}{d\varphi_2} \cdot \sin \varphi_1 - l_3 \cdot \sin \varphi_2 \cdot d\varphi_2 = \frac{dX_E}{d\varphi_2}, \quad (8)$$

$$l_1 \cdot \sin \frac{d\varphi_1}{d\varphi_2} \cdot \cos \varphi_1 + l_3 \cdot \cos \varphi_2 \cdot d\varphi_2 = 0, \quad (9)$$

где $\sin \frac{d\varphi_1}{d\varphi_2} = \omega \cdot \varphi_2 = i_{12}$ – аналог угловой скорости;

$$\frac{dX_E}{d\varphi_2} = U_{E\varphi} \text{ – аналог скорости точки } E.$$

Применяя формулу (9) можно вычислить угловую скорость позиции 1 (рис.3).

$$i_{12} = -\frac{l_3 \cdot \cos \varphi_2}{l_1 \cdot \cos \varphi_1}. \quad (10)$$

Установить значение $U_{E\varphi}$ можно способом подстановки величины i_{12} :

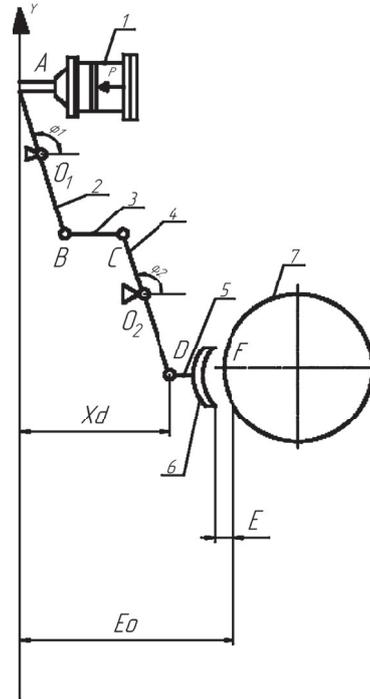


Рис. 3. Схема передаточного механизма рычажной передачи: X_d – позиция колодки в пространстве; E_o – исходное состояние; E – расстояние между колесом и тормозной колодкой; O_1, O_2 – база; φ_1, φ_2 – угол поворота; 1 – тормозной цилиндр, 2...5 – рычаги, 6 – тормозная колодка, 7 – колесо

$$U_{E\varphi} = \frac{l_3 \cdot \sin(\varphi_1 - \varphi_2)}{\cos \varphi_1}. \quad (11)$$

Значения аналогов углового ускорения позиции 1 (рис.3) и ускорения позиции 4 (рис.3) можно определить, взяв производные уравнений (8) и (9) по координате φ_2 .

$$\begin{cases} -l_1 \cdot \cos \frac{d\varphi_1}{d\varphi_2} \cdot \sin \frac{d\varphi_1}{d\varphi_2} \cdot \cos \frac{d\varphi_1}{d\varphi_2} \times \\ \times \sin \varphi_1 - l_3 \cdot \cos \varphi_2 \cdot d\varphi_2 = a_{E\varphi}; \\ -l_1 \cdot \sin \frac{d\varphi_1}{d\varphi_2} \cdot \cos \varphi_1 \cdot \cos \frac{d\varphi_1}{d\varphi_2} \times \\ \times \sin \varphi_1 - l_3 \cdot \sin \varphi_2 \cdot d\varphi_2 = 0, \end{cases} \quad (12)$$

где $\frac{d^2\varphi_1}{d\varphi_2^2} = \frac{di_{12}}{d\varphi_2} = \varepsilon_{E\varphi}$ – аналог углового ускорения позиции 1 (рис.3);

$$a_{E\varphi_2} = \frac{dU_{C\varphi}}{d\varphi_2} \text{ – аналог ускорения позиции 4 (рис.3).}$$

Из уравнения (12) имеется возможность определить аналог углового ускорения $\varepsilon_{E\varphi_{12}}$:

$$\varepsilon_{E\varphi_{12}} = \frac{l_1 \cdot \frac{d^2 i_{12}}{d\varphi_2} \cdot \sin \varphi_1 - l_3 \cdot \cos \varphi_2 \cdot d\varphi_2}{l_1 \cdot \cos \varphi_1} \quad (13)$$

При подстановке аналогового углового ускорения $\varepsilon_{E\varphi_{12}}$ в выражение (12) есть возможность найти аналоговое значение ускорения $a_{E\varphi_2}$:

$$a_{E\varphi_2} = -\frac{l_1 \cdot \frac{d i_{12}}{d\varphi_2} + l_3 \cdot \cos(\varphi_1 + \varphi_2)}{l_1 \cdot \cos \varphi_1} \quad (14)$$

Действительные скорости U_E , ω_2 и ускорения a_E и ε_2 равны

$$U_E = \omega_1 \cdot U_{C\varphi_2}; \quad \omega_2 = \omega_1 \cdot i_{12};$$

$$a_E = \omega_1^2 \cdot a_{C\varphi_2} + E_2 \cdot a_{E\varphi_2};$$

$$\varepsilon_2 = \omega_1^2 \cdot i_{12}^1 + E_1 \cdot i_{12},$$

где ω_1 и ε_1 – соответственно исходная угловая скорость и ускорение позиции 1 (рис. 3).

Значение перемещения позиции 4 (рис. 3) наиболее рационально измерять от крайней правой точки механизма, когда точка E находится в позиции E_0 .

Исходя из этого, значение перемещения будет равно:

$$X = OE_0 - X_E = OE_0 - l_2 - l_4 - l_1 \cos \varphi_1 + l_3 \sqrt{1 - \frac{l_1^2 \cdot \sin^2 \varphi_1}{i_3^2}} \quad (15)$$

Необходимо определить давление колодки на поверхность катания колеса.

Давление P_T возможно отобразить в формате следующего уравнения:

$$P_T = P \cdot i_{12}, \quad (16)$$

где P – усилие цилиндра, участвующего в торможении, кН:

$$P = p \cdot F_{\text{ц}},$$

где p – воздушное давление, создаваемое в цилиндре КПа;

$$F_{\text{ц}} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} - \text{поперечное сечение цилиндра, м}^2.$$

Подстановкой i_{12} из (10) имеется возможность установить следующее:

$$P_T = p \cdot \frac{l_3 \cdot \cos \varphi_2}{l_1 \cdot \cos \varphi_1} \quad (17)$$

Силу торможения можно определить по формуле:

$$F_T = \varphi_{\text{кр}} \cdot P_T = \varphi_{\text{кр}} \cdot p \cdot \frac{l_3 \cdot \cos \varphi_2}{l_1 \cdot \cos \varphi_1} \quad (18)$$

Коэффициент трения и давление колодок оказывают непосредственное влияние на скорость (рис. 4) [12]:

- колодка, состоящая из чугуна:

$$\varphi_{\text{кр}} = 0,5 \cdot \frac{1,6 \cdot K + 100}{5,2 \cdot K + 100} \cdot \frac{v + 100}{5 \cdot v + 100}; \quad (19)$$

- колодка композиционного состава:

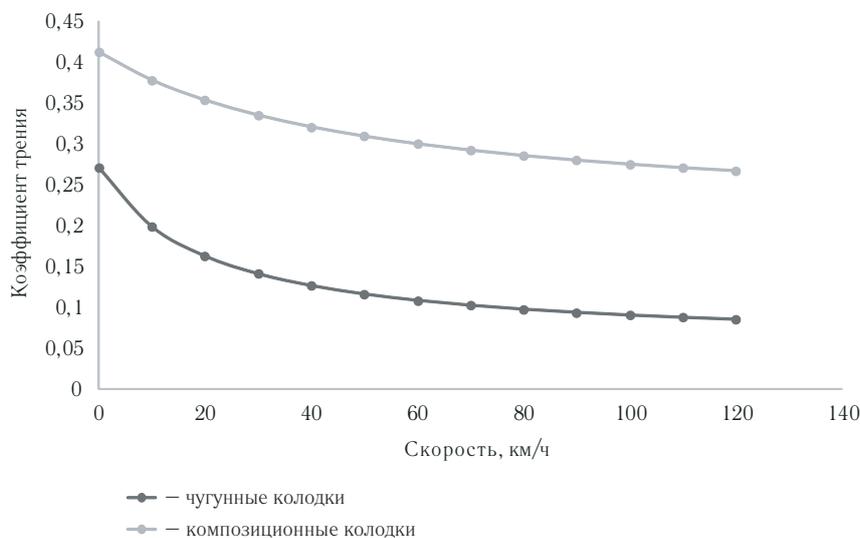


Рис. 4. Наглядное отображение взаимодействия трения и скорости движения

$$\varphi_{кр} = 0,44 \cdot \frac{0,1 \cdot K + 100}{0,4 \cdot K + 100} \cdot \frac{v + 100}{2 \cdot v + 100}; \quad (20)$$

Существует определенная корреляция между силой, с которой колодка оказывает влияние, направленное к колесу, и это воздействие может быть выражено следующим образом:

$$p = \frac{K}{S_K}, \quad (21)$$

где K – значение воздействия на элемент тормозной системы (колодка), кН (колодки, состоящие из совокупности пластичной основы и наполнителя (иначе,

композиционные), имеют значение $K=23$, а колодки, состоящие из чугуна – $K=37$) [2];

S_K – площадь колодки, m^2 .

Из уравнения (18) можно осуществить подсчет усилия затормаживания для колодок композиционного состава и чугунного состава. Ряд 1 ($l_1 = 600$ мм, $v = 60$ км/ч, l_3 – от 500 до 680 мм. Ряд 2 ($l_3 = 600$ мм, $v = 60$ км/ч, l_1 – от 500 до 680 мм) (рис. 5,6).

Необходимо осуществить перерасчет геометрических параметров плеч рычагов тормозной рычажной передачи, что, в свою очередь, приведет к равномерному распределению износа колодок, увеличению

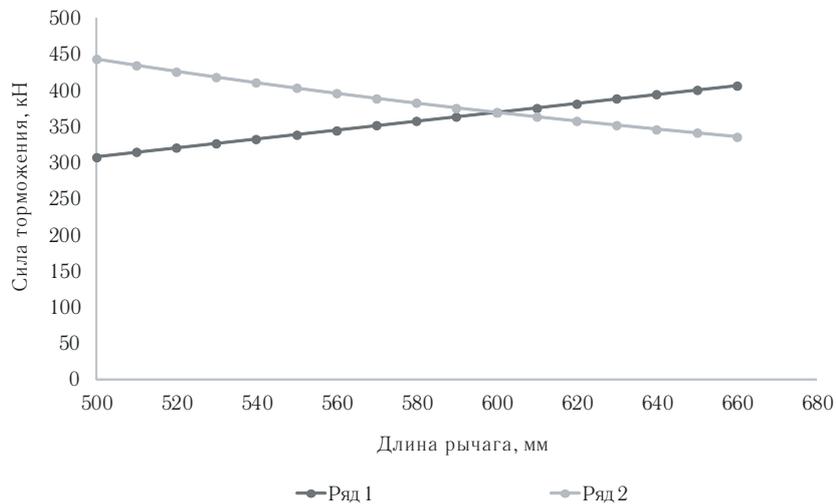


Рис. 5. Влияние длины рычагов на силу торможения при использовании композиционных тормозных колодок

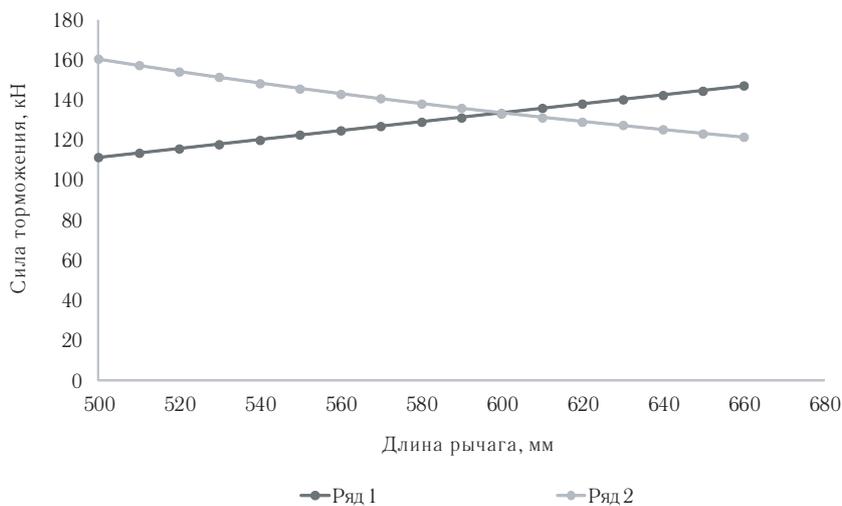


Рис. 6. Взаимосвязь силы торможения с длиной рычагов и чугунными тормозными колодками

«УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТОРМОЗНОЙ РЫЧАЖНОЙ ПЕРЕДАЧИ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОТЕЛЕЖЕЧНОГО ТОРМОЖЕНИЯ И НОВОЙ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАВНОМЕРНОГО ИЗНОСА ТОРМОЗНЫХ КОЛОДОК ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ»

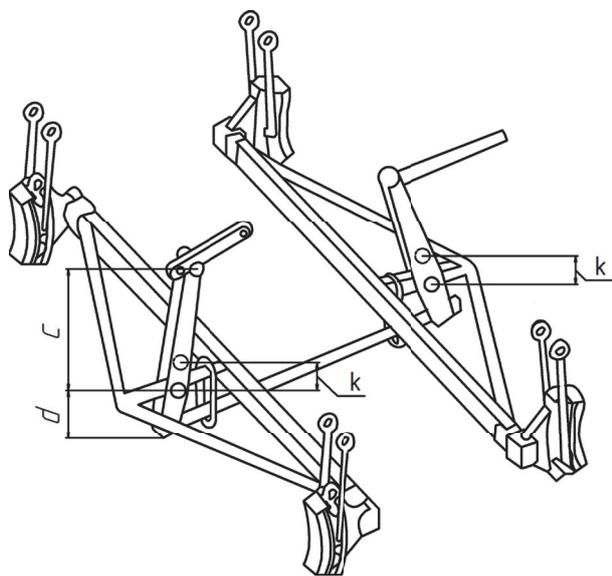


Рис. 7. Предполагаемые изменения в конструкции тормозной рычажной передачи

срока службы колодок и достижению более эффективного торможения.

Новая система равномерного износа рассматривается как изменение конструкции вертикального рычага путем переноса отверстия под распорку триангеля выше на расстояние k (рис. 7).

Основным принципом данного подхода является смещение центра тяжести триангеля, который при торможении будет равномерно прижимать рабочие поверхности колодок.

Из-за переноса отверстия под распорку подвергнется изменению соотношение величин c и d .

Вертикальный рычаг в стандартной комплектации для четырехосных грузовых и рефрижераторных вагонов имеет следующие параметры: $c=400$ мм, $d=160$ мм.

Для определения численного значения передачи рычагов четырехосного полувагона рассмотрим рис. 8.

На рис. 8 показаны шарниры, через которые осуществляется взаимодействие элементов передач. Для определения сил в шарнирах одного узла необходим расчет тормозных передаточных рычагов по типовым значениям, основываясь на материалах из открытых источников [2]. Результаты проведенных математических расчетов отражены на рис. 9.

В результате рассмотрения прошлых наработок предыдущих исследователей, собственных изысканий [1], а также изучения процесса работы тормозной рычажной передачи с помощью математической модели, были сделаны следующие выводы.

Переход на потележечное торможение, а именно установка цилиндра, который включает в себя регулятор выхода штока автоматического действия, размещенного на колесной паре, ощутимо минимизирует элементы системы, находящиеся в постоянном движении, а именно тяги, рычаги и подвески. Данное внедрение улучшит и ускорит настройку систему передач рычагов. Благодаря данным введениям можно будет существенно повысить характеристики подвижного состава, необходимые при его эксплуатации.

Уменьшение количества движущихся рычагов и внедрение новой системы обеспечения равномерного износа тормозных колодок позволит также облегчить обслуживание данной конструкции и улучшить ремонтопригодность за счет минимизации движущихся элементов. 

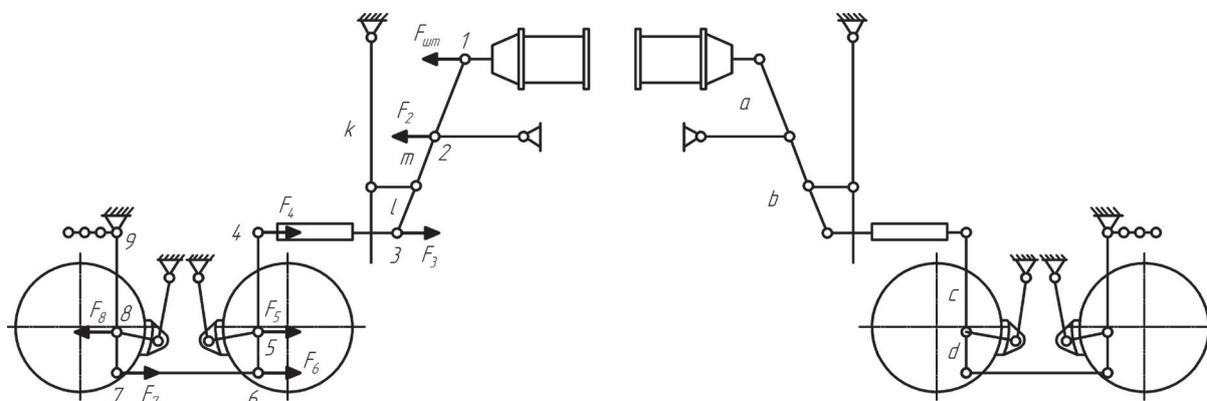


Рис. 8. Схема типовой тормозной рычажной передачи грузового четырехосного вагона с потележечным торможением: 1...9 – точки соединения рычагов тормозной рычажной передачи

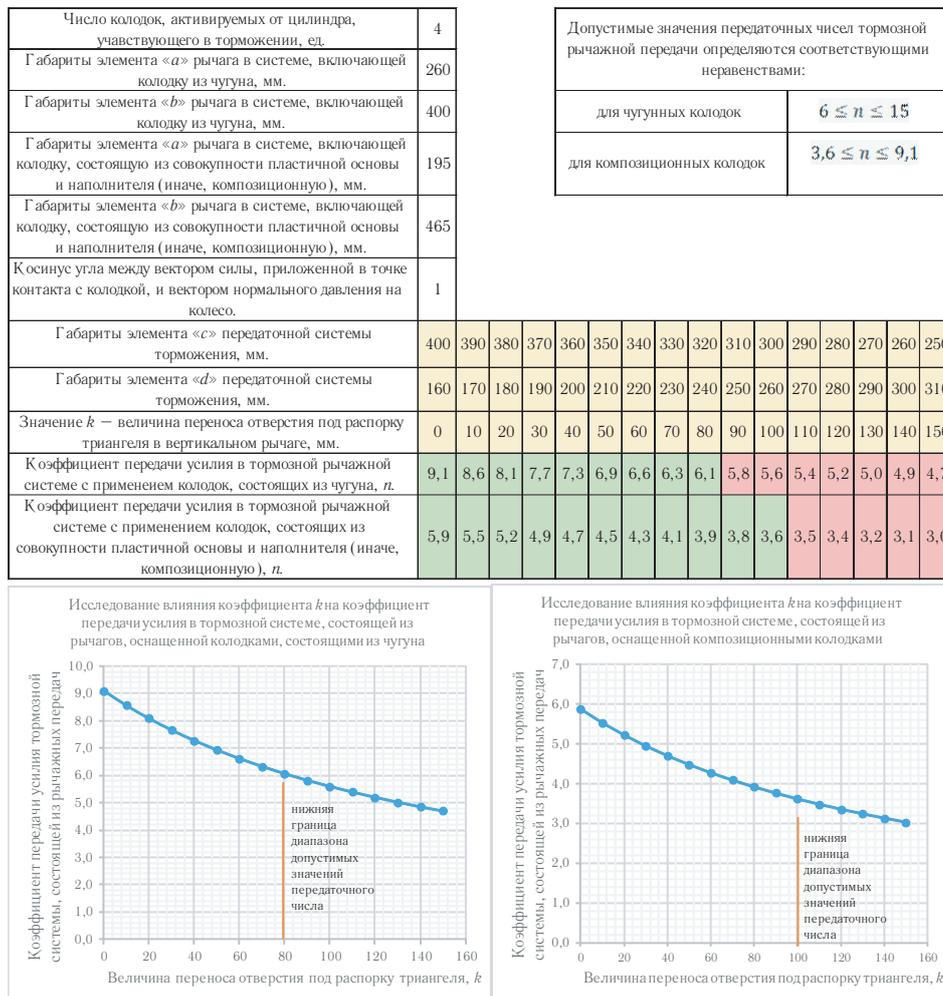


Рис. 9. Результаты расчетов тормозной рычажной передачи

Литература

1. Евсеев, Д. Г. Оценка эффективности работы тормозных колодок грузовых вагонов / Д. Г. Евсеев, Е. А. Коченов. - Текст : непосредственный // Наука и техника транспорта. - 2024. - № 1. - С. 31-33.
2. Расчет и проектирование пневматической и механической частей тормозов вагонов : учебное пособие для вузов железнодорожного транспорта / П. С. Анисимов, В. А. Юдин, А. Н. Шамаков, С. Н. Коржин. - Москва : Маршрут, 2005. - 248 с. - Текст : непосредственный.
3. Шамонова, Н. И. Анализ неисправностей тормозного оборудования вагонов / Н. И. Шамонова. - Текст : электронный // Молодой ученый. - 2017. - № 15 (149). - С. 91-95. - URL: <https://moluch.ru/archive/149/41819/> (дата обращения: 14.11.2024).
4. Сипягин, Е. С. Новые подходы к проектированию инновационных тормозных систем грузовых вагонов / Е. С. Сипягин, С. С. Старостин. - Текст : непосредственный // Транспорт Российской Федерации. - 2014. - № 3 (52). - С. 36-39.
5. Гребенюк, П. Т. Правила тормозных расчетов / П. Т. Гребенюк. - Москва : Интекст, 2004. - 112 с. (Труды Всероссийского ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ) / М-во путей сообщ. Рос. Федерации). - Текст : непосредственный.
6. Иноземцев, В. Г. Тормоза железнодорожного подвижного состава : Вопросы и ответы / В. Г. Иноземцев. - Москва : Транспорт, 1987. - 207 с. - Текст : непосредственный.

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРУЕМОГО СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ ПЕРЕМЕННОЙ ЖЕСТКОСТИ НА ПОДРЕЛЬСОВЫХ ОСНОВАНИЯХ С ВЯЗКИМ ЭЛЕМЕНТОМ

Построены математические модели в среде конечно-элементного анализа типового железнодорожного пути и временного железнодорожного пути оперативного развертывания на подрельсовых основаниях с элементами оболочек, наполненных жидкостью Ньютона с разным уровнем наполнения.

Ключевые слова: железнодорожный путь, деформирование, анализ, конечно-элементный, подрельсовое устройство, жидкость Ньютона

EDN: YJCNIV



А.В. Сычева



Д.В. Овчинников

Взаимодействие подвижного состава и железнодорожного пути представляют в виде колебаний системы, состоящей из масс последовательно соединенных упругих элементов [1;2], определяющих жесткость пути. При этом жесткость на различных участках разная и зависит от этих элементов, их конструкции и материалов, из которых они изготовлены, а именно следующих: модуль упругости, коэффициент Пуассона, плотность материала. Таким образом, для формирования пути переменной жесткости требуется варьирование модуля упругости отдельных элементов изменением их конструкции или материала, из которого они изготовлены. Особенно это важно на переходных участках, на подходах к искусственным сооружениям, мостам, тоннелям. При движении железнодорожного подвижного состава на подходе к искусственным со-

оружениям появляются локальные участки с резким перепадом жесткости, вызывающие значительное увеличение параметров силового взаимодействия пути и подвижного состава. Однако без демонтажа отдельных элементов такое решение не позволяет решить задачу оперативного изменения жесткости участка пути [3].

При моделировании взаимодействия подвижного состава и пути для различных параметров жесткости пути свойства материалов элементов взяты из справочных материалов и сведены в табл. 1.

Проведено моделирование напряженно-деформированного состояния элементов верхнего строения пути типовой конструкции с рельсами Р65 на железобетонных шпалах с промежуточными рельсовыми скреплениями ЖБР-Ш и толщиной балластного слоя 30 см, геометрически полностью подобной эксплуа-

Сычева Анна Вячеславовна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Здания и сооружения на транспорте» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: инженерное обеспечение строительства, инженерная геология. Автор 60 научных работ.

Овчинников Дмитрий Владиславович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Путь и путевое хозяйство» Самарского государственного университета путей сообщения (СамГУПС). Область научных интересов: устойчивость бесстыкового пути, прочность элементов железнодорожного пути и конструкции целом, надежность и долговечность. Автор 70 научных работ.

Сычев Вячеслав Петрович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Транспортное строительство» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: создание новых технологий и технических средств для повышения эффективности технического обслуживания железнодорожного пути. Автор 158 научных работ. Имеет 20 патентов на изобретения.

тируемой на сети дорог ОАО «РЖД» конструкции, представленной в виде трехмерной геометрической модели эксплуатируемого железнодорожного пути (рис. 1) [4].

На базе этих трехмерных моделей построим математические модели в среде конечно-элементного анализа [5–7]. Мощность конечно-элементных моделей составляет около 2,3 млн узлов в зависимости от конфигурации с использованием тетраэдров второго порядка с 10 узлами на элемент. Качественный параметр сетки имеет значение моды, близкое к 0,8–0,9 (Element Quality), что говорит о высоком качестве построения модели и, как следствие, незначительной разнице выходных данных в узлах, относящихся в одному элементу (Nodal Difference). Такие качественные параметры достигаются с помощью сгущения сетки элементов в местах концентрации деформаций и напряжений. Для уменьшения общего количества узлов и элементов использованы свойства симметрии модели.

Для описания нелинейных свойств слоистой структуры балластной призмы и земляного полотна применяется модель пластичности Мора-Кулона.

При моделировании использованы следующие физико-механические свойства материалов балластной призмы:

- щебень (фракция 25–60 мм) в уплотненном состоянии при эксплуатации в зимний период с плотностью 1,8 т/м³; модулем упругости 260 МПа; коэффициентом Пуассона 0,29;

- при эксплуатации в летний период с плотностью 1,6 т/м³; модулем упругости 200 МПа; коэффициентом Пуассона 0,26.

Грунт представляет собой сыпучий материал с плотностью 1,7 т/м³; модулем упругости 110 МПа; коэффициентом Пуассона 0,38.

Балластный слой, щебень фракции 25–60 мм имеет удельное сопротивление от 0,15 до 0,18 кг/см²; угол внутреннего трения от 40 до 43 градусов, угол дилатансии 15 градусов.

Нагружение в модели проводится в несколько этапов:

- затяжка крепежителей (изменение положения монорегулятора);
- деформации из-за собственного веса конструкции;

Таблица 1

Свойства материалов при моделировании

Материал	Плотность, кг/м ³	Модуль упругости, МПа	Коэффициент Пуассона
Сталь	7850	$2.1 \cdot 10^5$	0.3
Полимерные материалы	1100	7500	0.35
Резина	1000	75	0.4
Бетон	2500	32500	0.2
Пластик	1100	500	0.35

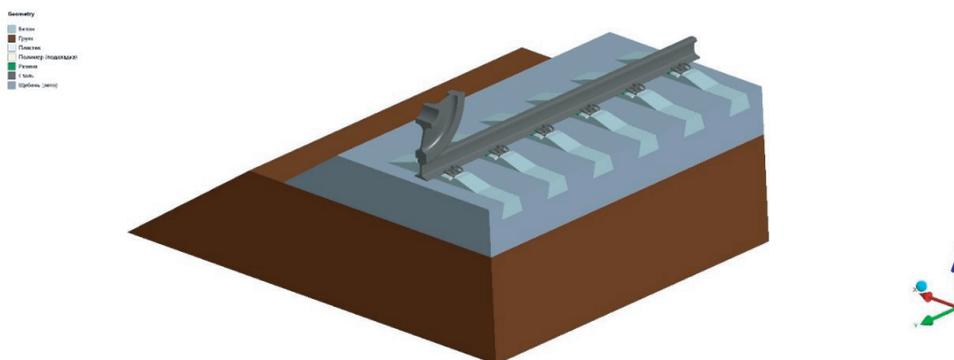


Рис. 1. Трехмерная геометрическая модель эксплуатируемого участка пути (ЖБР-Щ, 1840 шп./км)

А.В. Сычева, Д.В. Овчинников, В.П. Сычев
«МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРУЕМОГО СОСТОЯНИЯ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ ПЕРЕМЕННОЙ ЖЕСТКОСТИ
НА ПОДРЕЛЬСОВЫХ ОСНОВАНИЯХ С ВЯЗКИМ ЭЛЕМЕНТОМ»

- воздействие подвижного состава.

Усилия, передаваемые на рельсы от колес подвижного состава, составляют:

- вертикальные 29,42 кН, 115,23 кН, 122,58 кН, 132,39 кН и 147,1 кН;
- боковые 0 и 14,71 кН.

Данные параметры соответствуют нагруженности пути действующих железных дорог сети ОАО «РЖД».

Передача нагрузки от колеса на рельсы происходит непосредственно через зону взаимодействия системы «колесо-рельс», что повышает точность моделирования при кручении рельса в зоне бокового контакта с

последующим исследованием раскантировки при значительных боковых силах.

На рис. 2 и 3 приведены сетка элементов модели участка пути с промежуточными скреплениями ЖБР-ПШР и эпюрой шпал 1840 шп./км, а также качественная характеристика сетки.

Между элементами верхнего строения пути, а также балластным слоем и земляным полотном заданы контактные связи, в том числе нелинейные, позволяющие добавлять в область взаимодействия силы трения, отрыв элементов относительно друг друга. Параметры жесткости элементов системы упругих элементов верхнего строения пути определяли из справочных

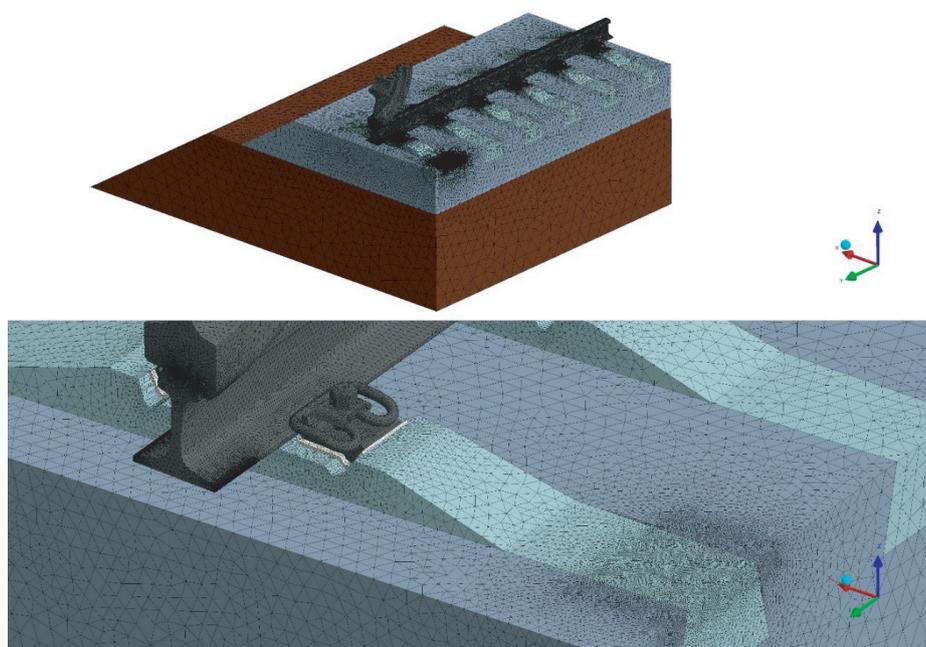


Рис. 2. Сетка элементов участка пути, а также сгущение в областях оценки НДС (ЖБР-Ш, 1840 шп./км)

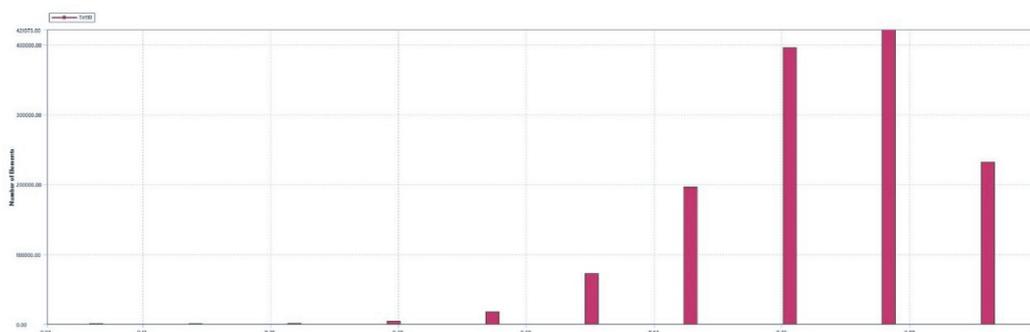


Рис. 3. Качественная характеристика сетки элементов исследуемого участка пути

данных для грузового полувагона с осевой нагрузкой 25 тс, рельса Р65, железобетонной шпалы и щебненного балласта.

Таким образом, предложенная конфигурация конечно-элементной модели позволяет учитывать при моделировании следующие особенности:

- перемещение колеса по головке рельса при изменении угла наклона (раскантовке);
- затяжку крепежителей с учетом силы трения между клеммой и рельсом;
- отрыв прокладки от подкладки при значительной раскантовке рельса со смещением усилий, передаваемых через подошву рельса на нижележащие элементы;
- опирание рельса в реборду подкладки при боковом смещении.

Применение нелинейных контактных связей совместно со сгущением сетки элементов позволяет получать результаты, наиболее близкие к эксплуатационной работе реальных конструкций пути.

На основе разработанной модели выполнено моделирование воздействия колес подвижного состава на участок пути, получены величины напряжений в элементах верхнего строения пути, контуры которых при максимальной нагрузке изображены на рис. 4 и 5.

Сравнительный анализ нагружения в статическом режиме железнодорожного пути из элементов из различных материалов с разными жесткостными характеристиками показал возможность изменения жесткости пути в относительно широком диапазоне. Однако эти решения по изменению жесткости пути за счет повышения эластичности подкладок, шпал, других элементов пути изменением их конструкции и материалов, не решают проблему оперативного изменения жесткости, поскольку и упругие и эластичные деформации обратимы, а подобрать материал, позволяющий менять жесткость применительно к различным нагрузкам на ось и скоростям движения, сложно. Причем регулировать жесткость участка можно исключительно при замене элементов пути.

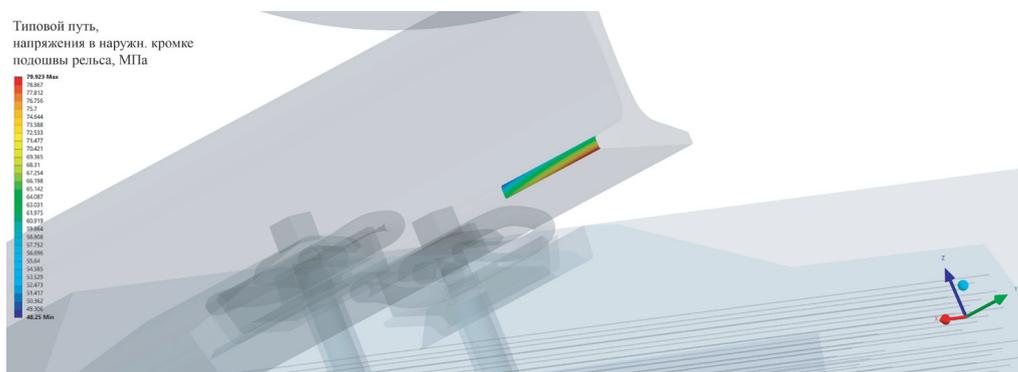


Рис. 4. Напряжения в наружной кромке подошвы рельса эксплуатируемого пути

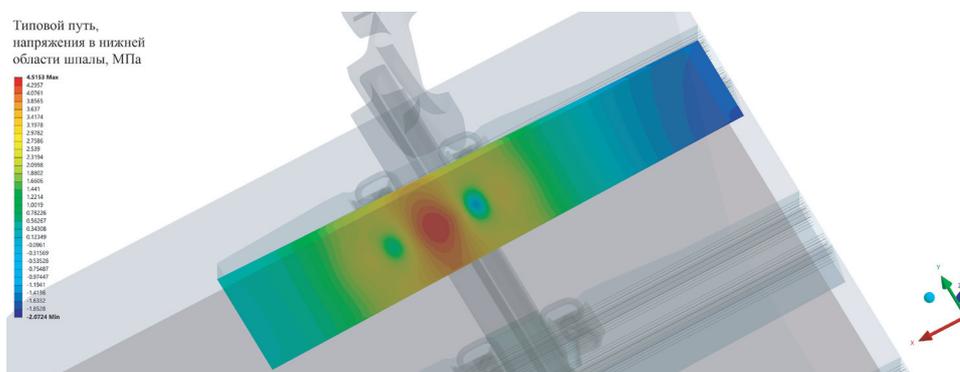


Рис. 5. Напряжения в нижней области шпалы эксплуатируемого пути

Для временного железнодорожного пути оперативного развертывания [8] было предложено в конструкцию пути, как «скелета» последовательно соединенных упругих элементов (рис. 6,а) добавить составляющую на основе жидкости Ньютона (рис. 6,б) [9;10].

Тогда в вязкоупругом «скелете» пути упругие элементы и вязкие элементы будут по-разному восстанавливаться после нагрузки от подвижного состава, упругие быстрее, а вязкие – медленнее. Это позволит за счет возникшей разности фаз циклической нагрузки рассеять возникающую от нагрузки механическую энергию и, тем самым, изменить жесткость пути, а также погасить ударные воздействия колеса о рельс.

В этом случае одной из промежуточных задач является подбор значений параметров упругости и вязкости элементов таким образом, чтобы их деформации примерно совпадали. В противном случае такой элемент будет вести себя либо как отдельный упругий элемент, либо как чисто вязкий элемент [11]. Имеются раз-

личные предложения по конструкции подрельсового устройства для временного железнодорожного пути оперативного развертывания, создания переходных участков, решения задач текущего содержания пути по выравниванию рельсовых нитей при появлении сверхнормативных просадок. Подрельсовое устройство содержит оболочку, наполняемую жидкостью Ньютона, например воздухом или сыпучим материалом с особыми свойствами [8;10;12].

Моделирование железнодорожного пути с подрельсовыми основаниями на основе подрельсовых устройств, содержащих оболочки разных конструкций, осуществлялось следующим образом. Оболочка, уложенная под шпалы, наполнялась воздухом таким образом, чтобы обеспечить разную ее толщину, а именно: 10 см, 20 см, 30 см, 40 см а также разные сочетания толщин: резкий перепад толщины с 10 до 40 см; резкий перепад толщины с 40 до 10 см; плавный переход от толщины 40 см к 10 см.

План эксперимента иллюстрируется рис. 7.

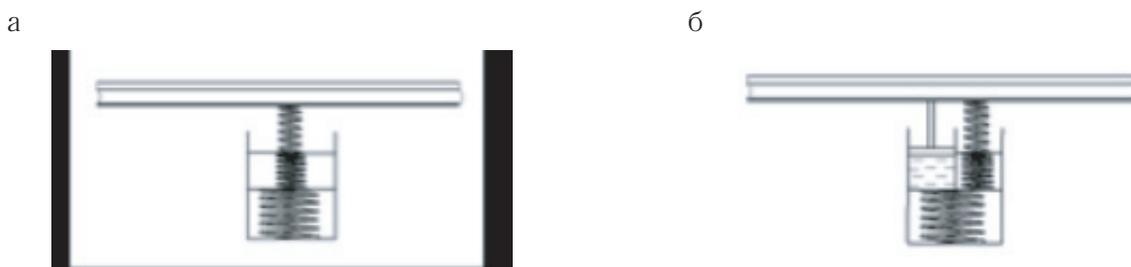


Рис. 6. Схема упругого и упруго-вязкого «скелетов» пути: а – схема железнодорожного пути как системы упругих элементов; б – схема железнодорожного пути как системы последовательного соединения вязких и упругих элементов (модель Максвелла)

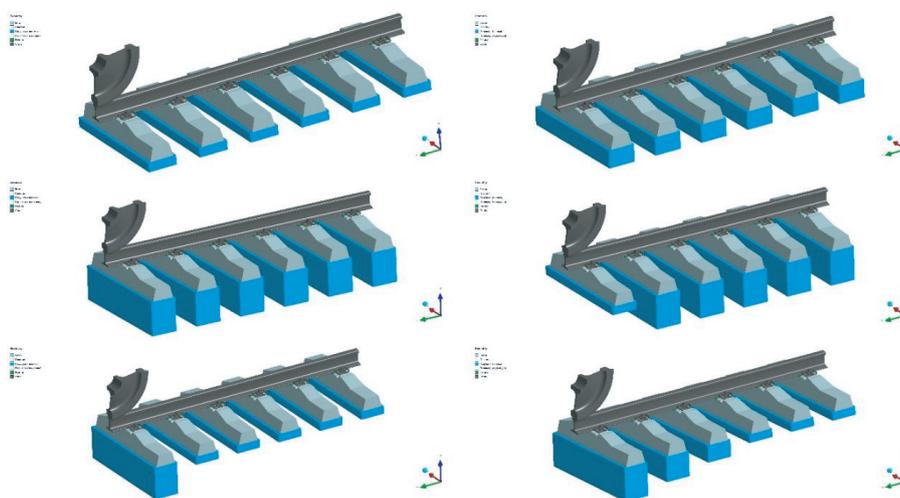


Рис. 7. Трехмерные геометрические модели пути с подрельсовыми устройствами с регулируемым модулем упругости и уровнем рельсовой нити с оболочкой, наполняемой воздухом (пневмоэлементом)

Свойства изотропных линейно упругих материалов элементов пути аналогичны типовой конструкции. Свойства с подрельсовыми устройствами с регулируемым модулем упругости и уровнем рельсовой нити с оболочкой, наполняемой воздухом (пневмоэлементами) на первом этапе подобраны сопоставимо с жесткостью балластного слоя без учета нелинейных сыпучих свойств — жесткость составляет от 400 до 1500 МН/м в зависимости от толщины.

Сетка элементов, а также сгущение в местах концентрации напряжений для модели с плавным переходом толщины пневмоэлемента показана на рис. 8. На рис. 9 и 10 представлены полученные контуры механических напряжений для участка с плавным изменением толщины пневматического подшпального основания при максимальной нагрузке.

Следует отметить, что для подрельсовой части шпалы, а также балластного слоя использованы

осредненные значения напряжений (overage) для исключения «шума» в виде резких локальных скачков уровня напряжений.

Выводы

1. Напряжения на поверхности кромок рельсов пути переменной жесткости и типового пути сопоставимы с небольшими отклонениями в диапазоне исследованных усилий независимо от толщины пневматического оборудования.

2. Наблюдается увеличение сжимающих напряжений на шпале в подрельсовой зоне, что обусловлено увеличением жесткости подрельсового основания при малой толщине пневмобаллона. Данная особенность нивелируется при увеличении толщины пневмоэлемента.

Максимальный же рост (в среднем на 8,2%) наблюдается при резком перепаде толщин пневмоэлементов.

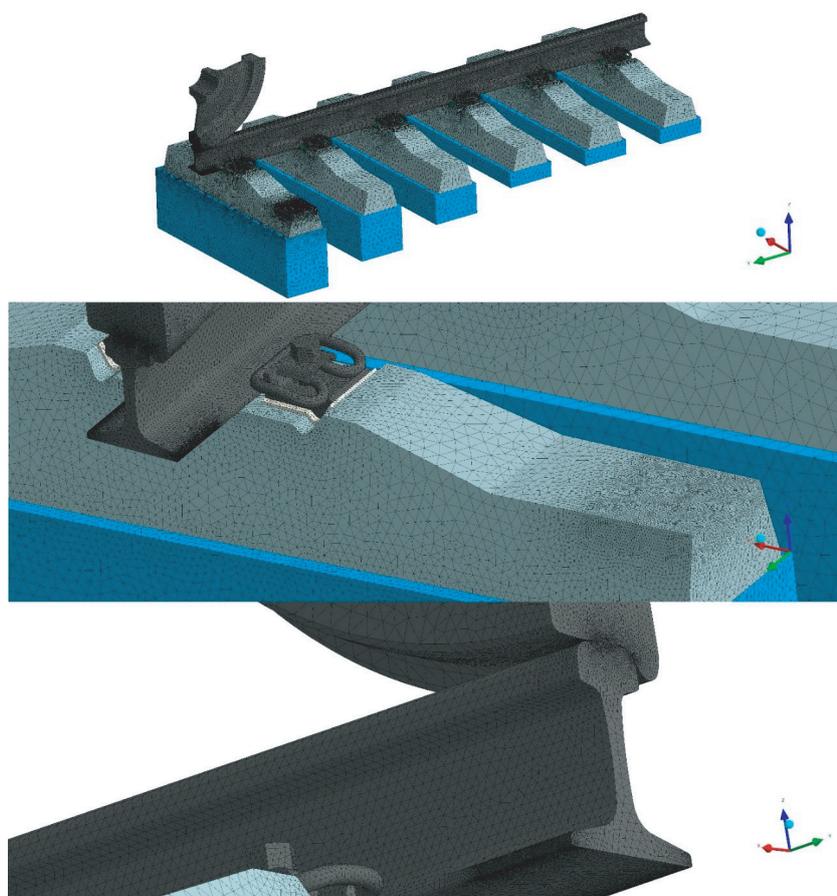


Рис. 8. Сетка элементов экспериментального участка пути с пневмоэлементами, а также сгущение в областях оценки напряженно-деформированного состояния

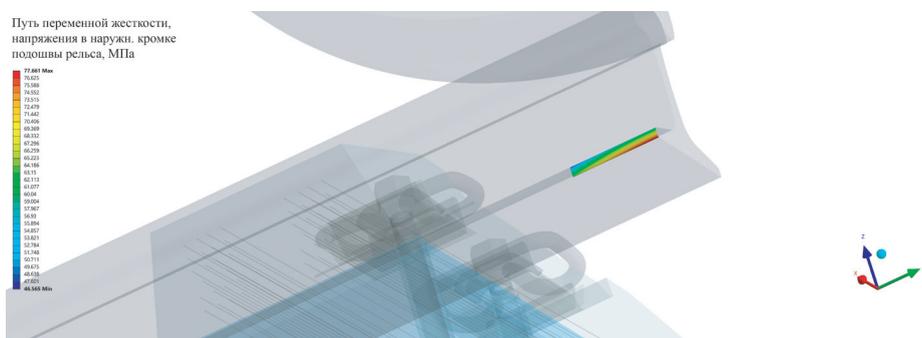


Рис. 9. Напряжения в наружной кромке подошвы рельса железнодорожного пути переменной жесткости

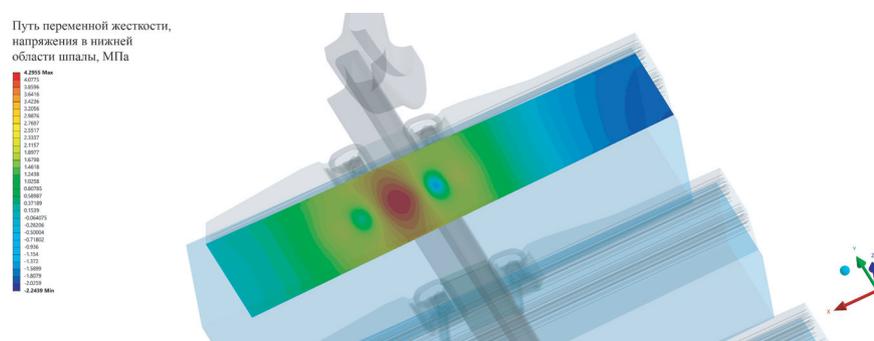


Рис. 10. Напряжения в нижней области шпалы железнодорожного пути переменной жесткости

3. Малая толщина пневмобаллона снижает прогиб шпалы за счет большей жесткости, вызывая уменьшение механических напряжений в средней верхней области шпалы на 34%, в нижней части шпалы — на 15%.

В то же время увеличение толщины пневмоэлемента до 40 см приводит к росту напряженно-деформированного состояния в верхней области шпалы на 21%.

Следует отметить, что увеличение в процентном соотношении на 30% и более незначительно в аспекте абсолютных значений предельных напряжений для железобетонной шпалы и составляет 1–2 МПа, что подтверждает большой запас, особенно при использовании подрельсовых устройств на участках пути с малыми скоростями.

4. Средние напряжения, возникающие в балластном слое, сопоставимы с таковыми на верхней части оболочки: максимальный рост сжимающих напряжений в данной области наблюдается при резком перепаде толщины пневмобаллона с 10 до 40 см.

5. Использование пневмоэлементов в виде подрельсового основания сопряжено с увеличением нагрузки на земляное полотно относительно типовой конструкции пути, в которой балластный слой выполняет функцию равномерного распределения нагрузки на основную площадку. Применение пневмобаллонов приводит к увеличению нагруженности грунта на величины порядка 350 кПа. Однако небольшой период воздействия, а также малое количество циклов нагрузка-разгрузка пути оперативного развертывания компенсирует эту особенность распределения усилий.

6. Оценка уровня напряжений пути оперативного развертывания в совокупности со сравнительным анализом относительно типовой конструкции пути не выявил ограничений на применение данной конструкции пути с точки зрения допустимого напряженного состояния. 

Литература

1. Расчеты и проектирование железнодорожного пути: учебное пособие для студентов вузов железнодорожного транспорта / В. В. Виноградов [и др.]; под ред. В. В. Виноградова, А. М. Никонова. - Москва : Маршрут, 2003. - 485 с. - Текст : непосредственный.
2. Вериго, М. Ф. Имитационное моделирование сил взаимодействия экипажа и пути / М. Ф. Вериго, Г. И. Петров, В. В. Хусидов. - Текст : непосредственный // Бюллетень ОСЖД. - Варшава. - 1995. - № 6. - С. 3-8.
3. Сычева, А. В. Управление жесткостью пути на переходных участках / А. В. Сычева, А. А. Локтев, В. П. Сычев. - Текст : непосредственный // Путь и путевое хозяйство. - 2021. - № 2. - С. 16-20.
4. Альбом элементов и конструкций верхнего строения железнодорожного пути ; утвержден Главным инженером Управления пути и сооружений Центральной дирекции инфраструктуры - филиала ОАО «РЖД» В. М. Ермаковым 19.12.2012. - 228 с. : Трудовой десант : [сайт]. - URL: www.tdesant.ru/info/item/131. - Текст : электронный.
5. Оценка напряженно-деформированного состояния рельсов при различных условиях эксплуатации на основе моделирования методом конечных элементов / А. Ю. Абдурашитов, Д. В. Овчинников, В. П. Сычев, А. В. Сычева. - Текст : непосредственный // Известия Транссиба. - 2023. - № 1 (53). - С. 62-73.
6. Ralls life cycle evaluation depending on the operating conditions / V.P. Sychev; D.V. Ovchinnikov; A.Yu. Abdurashitov; V.A. Pokatsky; A.V. Sycheva // International Transport Scientific Innovation : ITSI-2021: AIP Conference Proceedings. 2023. Vol. 2476, № 1. 020010. DOI: <https://doi.org/10.1063/5.0104545>.
7. Овчинников, Д. В. 3D-моделирование напряженно-деформированного состояния элементов пути / Д. В. Овчинников. - Текст : непосредственный // Железнодорожный транспорт. - 2023. - № 3. - С. 50-53. - EDN: YIKCZQ.
8. Патент № 2750544 Российская Федерация, МПК E01B 23/00 (2006.01) ; E01B 29/02 (2006.01). Способ оперативного развертывания железнодорожного пути и устройство подрельсового основания: № 2020132129 : заявлено 29.09.2020 : опубликовано 29.06.2021 / Сычева А. В. ; Общество с ограниченной ответственностью Вагонпутьмашпроект. - 12 с.: ил. - Текст : непосредственный.
9. Кристенсен, Ричард. Введение в теорию вязкоупругости / пер. с англ. М. И. Рейтмана ; под ред. Г. С. Шапиро. - Москва : Мир, 1974. - 338 с. - Текст : непосредственный.
10. Патент № 2746554 Российская Федерация, МПК E01B 3/00 (2006.01), E01B 3/20 (2006.01), E01B 3/46 (2006.01). Подрельсовое устройство железнодорожного пути и способ укладки по меньшей мере одного подрельсового устройства железнодорожного пути : № 2020124286 : заявлено 22.07.2020 : опубликовано 15.04.2021 / Сычев В. П., Локтев А. А., Сычева А. В., Кузнецова Н. В., Сычев П. В. ; Общество с ограниченной ответственностью «Вагонпутьмашпроект». - 20 с.: ил. - Текст : непосредственный.
11. Локтев, А. А. Решение задачи равенства деформаций вязких и упругих элементов подрельсового основания железнодорожного пути / А. А. Локтев, А. В. Сычева, В. П. Сычев. - Текст : непосредственный // Внедрение современных конструкций и передовых технологий в путевое хозяйство. - 2022. - Т. 18. - С. 62-71.
12. Патент № 2785239 Российская Федерация МПК E01B 23/00 (2006.01), E01B 23/08 (2006.01). Железнодорожный путь оперативного развертывания и способ регулирования рельсовой нити по уровню и в плане : № 2022111528 : заявлено 27.04.2022 : опубликовано 05.12.2022 / Сычев В. П., Локтев А. А., Сычева А. В., Чистый Ю. А., Сычев П. В., Потапов А. В. ; Общество с ограниченной ответственностью «Вагонпутьмашпроект». - 12 с. : ил. - Текст : непосредственный.

РАЗВИТИЕ СЕМЕЙСТВА ЛОКОМОТИВОВ НА БАЗЕ ОДНОСЕКЦИОННОГО ТЕПЛОВОЗА

Рассмотрена задача улучшения эксплуатационных показателей тепловоза ТЭ26, создаваемого АО «УК БМЗ». Предложена конструкция подвески тягового электродвигателя, не содержащей изнашиваемых частей. Доказана целесообразность создания пассажирского варианта тепловоза ТЭ26 для повышения степени унификации эксплуатируемых тепловозов, что позволит повысить тяговые свойства пассажирских тепловозов на 14–22%.

Ключевые слова: тепловоз, тяговые свойства, экипажная часть, тяговый привод, конструирование

EDN: PKFKWG

В предыдущей статье [1] авторами были рассмотрены проблемы создания универсального односекционного тепловоза для малодеятельных линий в качестве замены морально устаревших тепловозов серий М62/2М62, созданных 60 лет назад. В результате проведенного анализа, в частности, были сделаны следующие выводы:

- наилучшим вариантом подобного тепловоза из созданных за последние несколько десятилетий является проектный тепловоз ТЭ26, предложенный АО «УК «БМЗ» («Трансмашхолдинг»);
- основным недостатком проекта ТЭ26 является то, что он пока не является основой ряда моделей тепловозов различного рода службы, что позволило



А.С. Космодамианский



В.И. Воробьев

бы найти новые области сбыта и расширить производство;

- на базе ТЭ26 может быть создан пассажирский тепловоз с конструкционной скоростью 160 км/ч и силой тяги в продолжительном режиме на 14% выше выпускаемого в настоящее время ТЭП70БС, а при использовании бесколлекторных ТЭД — способен развивать в длительном режиме силу тяги выше, чем М62;
- в восьмьюсном исполнении ТЭ26 будет превосходить по силе тяги тепловоз 2М62.

В связи с тем, что в средствах массовой информации были анонсированы планы изготовления опытного образца тепловоза ТЭ26 уже к концу 2024 года,

Космодамианский Андрей Сергеевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Тяговый подвижной состав» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: автоматизация агрегатов и систем тягового подвижного состава, электрические передачи локомотивов. Автор 447 научных работ, в том числе 28 монографий, одного учебника и 27 учебных пособий. Имеет 130 патентов РФ.

Воробьев Владимир Иванович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Подвижной состав железных дорог» Брянского государственного технического университета (БГТУ). Область научных интересов: электрические передачи локомотивов, тяговый и вспомогательный электроприводы. Автор более 90 научных работ, в том числе 13 монографий. Имеет 86 патентов РФ.

Измеров Олег Васильевич, соискатель кафедры «Подвижной состав железных дорог» Брянского государственного технического университета (БГТУ). Область научных интересов: динамика и методы конструирования тяговых приводов рельсового подвижного состава. Автор 87 научных работ, в том числе 22 монографий и десяти учебников. Имеет 95 патентов РФ.

Карпов Артем Евгеньевич, ассистент кафедры «Тяговый подвижной состав», заведующий лабораторией «Системы управления транспортными средствами» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: электрические передачи локомотивов, тяговый электропривод. Автор 20 научных работ, в том числе одного учебного пособия. Имеет 17 патентов РФ.

возникает вопрос, в какой степени указанные возможности развертывания ряда локомотивов могут быть реализованы за минимальный промежуток времени при незначительных изменениях экипажной части локомотива. Этот вопрос необходимо рассматривать в комплексе, т.е. с учетом других конструкций тепловозов, созданных АО «УК «БМЗ». Решение подобных задач, как ранее было отмечено авторами в [1], сталкивается с проблемой рационального выбора конструктивных решений локомотива. Предлагаемая статья является попыткой решения данной проблемы.

Объект исследования

Как уже было отмечено в [1], к данному классу тепловозов предъявляются требования, вытекающие из следующей области их применения на отечественных железных дорогах:

- работа в вывозном движении с поездами массой примерно до 2000 т;
- работа в пассажирском движении с поездами местного и пригородного сообщения;
- различные виды хозяйственных работ, в частности, вывоз и обеспечение энергией строительной и путевой техники.

Также одним из требований является возможность поставки на экспорт, что требует использования европейского габарита и возможности быстрой переделки на колею 1435 мм. Потребность в таких тепловозах существует и на железных дорогах, расположенных вблизи западных границ России.

Тепловоз ТЭ26 (рис. 1) представляет собой шестикабинный локомотив длиной 21,8 м традиционной компоновки, с одним дизель-генератором, мощность которого по дизелю составляет 2850 кВт, что близко к мощности серийного пассажирского

тепловоза ТЭП70, а также к суммарной мощности тепловоза 2М62. В длительном режиме сила тяги должна составить 323 кН, что достаточно для работы с поездами массой до 3100 т на уклоне 9 тысячных.

Предусмотрена возможность работы с местными пассажирскими поездами и путевой техникой, с отбором мощности 600 кВт на энергоснабжение, для работы с думпкарами предусмотрено наличие двух компрессоров, используются отечественный дизель ряда Д49 и тележки, унифицированные с тепловозами серии 2ТЭ25КМ.

К недостаткам тепловоза можно прежде всего отнести использование унифицированной трехосной бесчелюстной тележки. Как показали исследования [2], при расчетном коэффициенте тяги, равном $\psi=0,24$, величина коэффициента использования сцепного веса для данной тележки $\eta=0,88$, в то время как в требованиях ОАО РЖД к новым локомотивам эта величина должна быть не менее $\eta=0,92$. Это, как минимум, ограничивает возможности для дальнейшего роста тяговых усилий. Тепловозы 2М62 развивают длительную силу тяги 292 кН и способны работать с поездами массой до 3600 т на уклоне 9 тысячных. Таким образом, часть устаревших тепловозов 2М62, которые работают с поездами предельной массы, придется заменять тепловозами 2ТЭ25КМ, мощность которых может оказаться избыточной при имеющейся интенсивности движения на таких участках.

Другим недостатком тепловоза ТЭ26 является отсутствие его пассажирской модификации с конструкционной скоростью до 160 км/ч. В настоящее время назрела необходимость унификации пассажирских тепловозов с грузовыми [3;4], что позволило бы снизить эксплуатационные расходы. До недавнего времени подобной унификации препятствовало отсут-

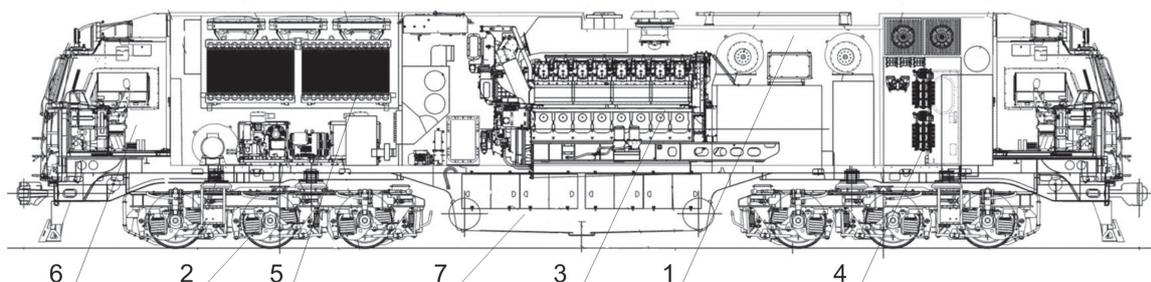


Рис. 1. Проект тепловоза ТЭ26: 1 – кузов; 2 – тележка; 3 – дизель-генератор; 4 – высоковольтная камера; 5 – холодильная камера; 6 – кабина; 7 – топливный бак

ствии выпуска односекционных грузовых локомотивов, но появление ТЭ26 изменяет эту ситуацию.

Кроме того, некоторые технические решения унифицированной трехосной бесчелюстной тележки устарели, в первую очередь пружинное подвешивание тяговых электродвигателей (ТЭД).

Рассмотрим, каким образом можно устранить эти недостатки.

Улучшение сцепных свойств локомотива

Ранее в [5] были рассмотрены принципиальные возможности улучшения сцепных свойств локомотива за счет выбора рациональных решений экипажной части. Необходимость максимально быстрого внедрения в производство нового локомотива исключает такую меру снижения относительного скольжения колеса по рельсу как изменение базы тележки.

Принципиально существует возможность использования решений трехосной тележки с радиальной установкой колесных пар (РУКП), ранее созданной заводом-изготовителем для тепловоза 2ТЭ25А, при установке на нее коллекторных ТЭД. В результате проведенных в БГТУ исследований с использованием методов математического моделирования, [6] удалось установить, что, благодаря РУКП, «в кривой радиусом 600 м работа сил трения на гребне меньше в 2,8...2,14 раза, а на поверхности катания — в 3,2...2,9 раза. Аналогичные результаты получены и по суммарной работе сил трения в кривых радиусами 300, 600 и 1000 м». Уменьшение работы сил трения на гребне и поверхности катания свидетельствует о снижении относительного скольжения колесных пар и, соответственно, об увеличении коэффициента сцепления. Недостатками тележек с РУКП являются рост стоимости и затрат на техническое обслуживание. Так, в США тележки с РУКП были созданы фирмами «General Motors» и «General Electric» в 1993–1995 годах, однако до настоящего времени они мало распространены. Кроме того, тележка тепловоза 2ТЭ25А имеет вторую ступень рессорного подвешивания типа «Флексикоил» и механизм передачи тягового усилия на кузов в виде наклонной тяги, что исключает возможность совместимости с трехосной тележкой.

Рассмотрим возможности улучшения сцепных свойств при использовании унифицированной трехосной тележки. Основными причинами низкого коэффициента использования сцепного веса для указанной тележки являются несбалансированное рессорное подвешивание в сочетании с упругими опорами кузова на тележку при высоко расположенном шкворне. Согласно расчетам [2], использование сбалансированного рессорного подвешивания в совокупности с

жесткими опорами при коэффициенте тяги $\psi=0,33$ увеличивает коэффициент использования сцепного веса η с 0,832 до 0,922 за счет равномерного распределения нагрузок по осям тележки. Поскольку, как указано в [2] величина η снижается с увеличением ψ , то для $\psi=0,24$ коэффициент использования сцепного веса будет заведомо выше 0,92. При этом основной эффект достигается за счет сбалансированного рессорного подвешивания.

Применение несбалансированного рессорного подвешивания для унифицированной тележки, согласно [7], было обусловлено следующими недостатками сбалансированного подвешивания тепловозов ТЭ3 и 2ТЭ10Л:

- наличие большого количества изнашиваемых узлов трения, поскольку, помимо балансиров, подвешивание тепловозов ТЭ3 и 2ТЭ10Л содержало еще и по 4 подвески на каждую колесную пару;
- большое количество узлов трения затрудняло перераспределение нагрузок по осям;
- кратковременно действующие динамические нагрузки не успевали перераспределиться по осям из-за значительной инерции балансиров и рессор.

Впоследствии сбалансированное рессорное подвешивание было применено для трехосной тележки тепловоза 2ТЭ121, где указанные недостатки удалось устранить благодаря тому, что увеличение диаметра колес до 1250 мм позволило разместить рессоры непосредственно под буксами. При этом был достигнут коэффициент использования сцепного веса $\eta=0,92$ [8].

Сбалансированное рессорное подвешивание для тележки с бесчелюстными буксами и диаметром колес 1050 мм ранее было применено на тепловозе ТЭП60, хорошо описанном в отечественной технической литературе, например, [7;9]. При этом можно считать данное рессорное подвешивание с точки зрения его динамических свойств одноступенчатым, поскольку при колебаниях галопирования и подпрыгивания кузова, которые определяют вертикальную динамику обрессоренных масс кузова при прохождении неровностей пути, пружины рессорного подвешивания, расположенные между тележкой и кузовом, не меняют величины прогиба, поскольку параллельно с ними воспринимают нагрузку маятниковые опоры с резиновыми конусами, статический прогиб которых незначителен, и пружины фактически частично разгружают резиновые конусы. При этом рессорное подвешивание тепловоза ТЭП60 обеспечивало удовлетворительные показатели вертикальной динамики тепловоза при скорости до 160 км/ч, что доказывает возможность создания пассажирских тепловозов с одноступенчатым рессорным подвешиванием. Недостатком рессор-

ного подвешивания ТЭП60 является его сложность и увеличение трудоемкости ремонта, в связи с чем копирование его в данном случае нецелесообразно.

Модернизация унифицированной бесчелюстной тележки с целью изменить несбалансированное рессорное подвешивание на сбалансированное существенно затруднена тем, что при меньшем межосевом расстоянии, чем для тележки ТЭП60 (1850 мм вместо 2200–2400 мм) места для размещения упругих элементов между осями оказывается значительно меньше и, кроме того, длина и размещение поводков буксы и конструкция кронштейнов тележки тепловоза ТЭП60 были специально выбраны из условия возможности размещения балансиров, в которых устанавливались листовые рессоры. Вследствие этого модернизация унифицированной тележки для механического сбалансирования первой ступени подвешивания по объему работ сопоставима с проектированием новой тележки.

Из изложенного следует, что выравнивание нагрузки на оси тележки должно быть реализовано с помощью других физических эффектов. Так, тепловоз 2ТЭ116-184 был в опытный порядок оборудован пневмопружинным подвешиванием [2;10] (рис. 2,3).

Согласно [10], в пневмоподвешивании была использована двухгофровая пневмооболочка типа Н-5 и укороченный комплект буксовых пружин, имеющих статический прогиб 41 мм, при этом суммарный статический прогиб составил 150 мм. Выравнивание нагрузок по осям осуществляется за счет перетока воздуха (при этом может быть реализовано сбалансированное четырехточечное или трехточечное подвешивание). Демпфирование вертикальных колебаний реализовано с помощью дросселирования потока воздуха между оболочками и дополнительным резервуаром, размещенным на раме тележки.

По сравнению с серийным вариантом при пневмопружинное подвешивание амплитуды динамических нагрузок на буксы снизились в 1,3...1,5 раза. Тепловоз эксплуатировался на Юго-Восточной железной дороге, результаты эксплуатации успешные. По данным ВНИКТИ [2], экономический эффект от внедрения такого подвешивания достигается за счет снижения проката бандажей и меньшего износа верхнего строения пути.

При реализации такого подвешивания необходимо предусмотреть ограничение вертикальных перемещений буксы при движении тепловоза без воздуха в системе, например, на деповских путях во время ремонта. Исследованиями установлено, что динамические перемещения букс бесчелюстной тележки снижаются при сбалансированном одноступенчатом подвешивании с 30...35 мм [11] до 22...26 мм [11;12], что позволяет ограничить вертикальные перемещения буксы до величины 35 мм установкой резиновых упоров.

Простая установка жестких опор, как у тепловозов ТЭЗ, для бесчелюстной тележки невозможна, поскольку данная тележка должна не только поворачиваться вокруг своей оси, но и иметь поперечные перемещения, однако жесткость опоры может быть повышена (рис. 4). Опора кузова бесчелюстной тележки (рис. 4,а) представляет собой набор дисковых плоских однослойных резинометаллических элементов, имеющих толщину резинового слоя 30 мм, к которым с обеих сторон привулканизированы металлические пластины толщиной 2 мм.

Таким образом, 12,5% от высоты пакета приходится на металлическую арматуру. Подобная конструкция упрощает технологическую оснастку при изготовлении элементов и позволяет заменять отдельные поврежденные элементы. В то же время опоры кузова тепловозов США (рис. 4,б) представляют

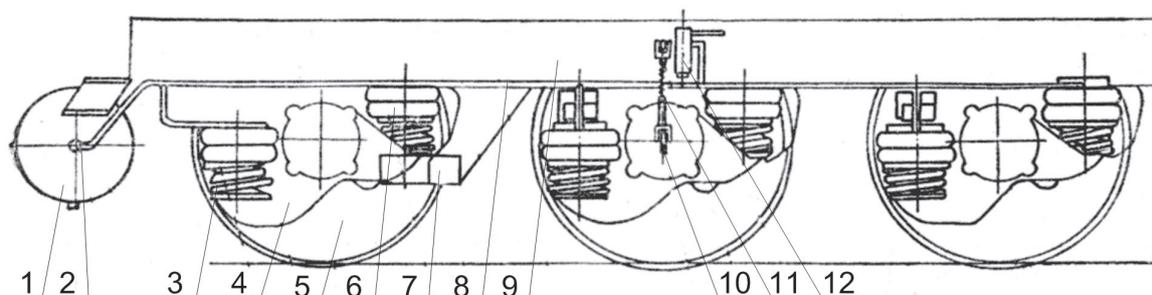


Рис. 2. Схема пневмопружинного подвешивания на унифицированной бесчелюстной тележке: 1 – резервуар; 2 – дроссель; 3 – пружина; 4 – букса; 5 – колесная пара; 6 – пневмооболочка; 7 – поводок буксы; 8 – трубопровод; 9 – рама тележки; 10 – кронштейн; 11 – пружина; 12 – высоторегулирующий клапан

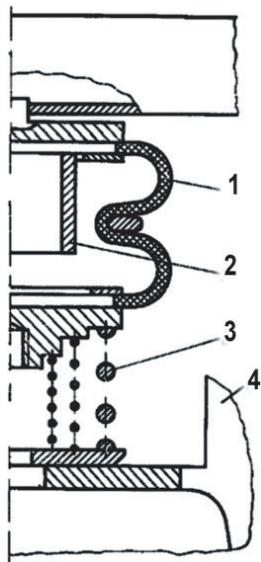


Рис. 3. Пневмопружинное подвешивание (разрез по пружине): 1 – оболочка; 2 – упор; 3 – пружина; 4 – буksа

собой многослойные резинометаллические пакеты. Это, хотя и усложняет оснастку, но при этом позволяет уменьшить толщину промежуточной арматуры и обеспечить одинаковые свойства резины в опоре.

Применение многослойного элемента позволяет при той же суммарной толщине резинового слоя (что обеспечивает те же относительные деформации сдвига резинового слоя при повороте тележки) существенно уменьшить расстояние между пластинами, увеличив тем самым жесткость опоры в разы, что

ведет к повышению коэффициента использования сцепного веса (рис. 4, в).

Еще одним скрытым резервом повышения реализуемого в эксплуатации коэффициента сцепления является использование упругих зубчатых колес (УЗК) в тяговой передаче. Согласно [13], на тепловозе 2ТЭ10Л с опорно-осевым приводом и жесткой зубчатой передачей, на участках пути, имеющих волнообразный износ рельсов, было зарегистрировано снижение коэффициента сцепления на 20% и более. Согласно [9], динамический момент, возникающий в тяговом приводе с жесткой тяговой передачей, является причиной развития волнообразного износа рельсов. В связи с указанными обстоятельствами, а также для повышения долговечности работы тяговой передачи, в нашей стране на грузовых магистральных тепловозах с конца 60-х годов XX века началось внедрение УЗК, которые массово применялись более 40 лет. Однако внедрение моторно-осевых подшипников (МОП) качения и улучшение технологии изготовления зубчатых передач привело к тому, что срок службы упругих элементов зубчатых передач стал лимитировать межремонтные пробеги тепловозов, и, согласно [14], около 10 лет назад произошел возврат к использованию жестких зубчатых колес (ЖЗК).

Основной проблемой при решении вопроса о целесообразности дальнейшего применения УЗК является недостаточная информация о влиянии ЖЗК на коэффициент сцепления в эксплуатации, учитывая тот факт, что волнообразный износ рельсов пока не характерен для участков с небольшой интенсивностью движения. Что касается влияния на коэффициент сцепления ударов в момент прохождения стыков

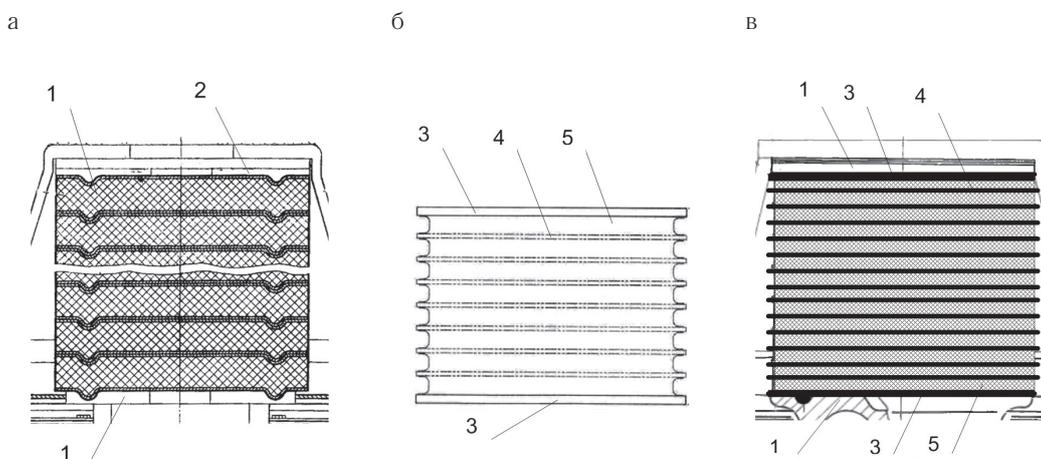


Рис. 4. Резинометаллические опоры кузова на тележку: а – трехосной бесчелюстной тележки; б – тепловоза ТЭ33а (США); в – предлагаемая; 1 – опорные плиты; 2 – резинометаллический элемент; 3 – крайние пластины арматуры; 4 – промежуточные пластины арматуры; 5 – слой резины

(участки с небольшой интенсивностью движения, как правило, имеют звеньевой путь), то до настоящего времени экспериментальных исследований этого явления в объеме, позволяющем получить количественные оценки, пока не проводилось. В [15], со ссылкой на исследования в Японии, утверждается, что коэффициент сцепления колесных пар локомотива с опорно-осевым приводом, движущегося со скоростью 25 км/ч (что соответствует скорости движения ТЭ26 на руководящем подъеме), на 12% ниже, чем с опорно-рамным приводом, однако при этом не указано, что именно привело к изменению коэффициента сцепления: снижение динамического момента или уменьшение перераспределения нагрузок по осям в режиме тяги, что могло быть в опорно-рамном приводе с компенсирующим механизмом на тихоходной стороне.

Кроме того, надо учесть, что характеристика жесткости серийного варианта УЗК для тепловозов выбиралась из условия снижения динамического момента при движении со скоростью выше, чем в продолжительном режиме тяги, поэтому имеет прогрессивную характеристику, и в продолжительном режиме тяги работает на упорных элементах, что существенно увеличивает его жесткость. Так, согласно [14], для тепловоза 2ТЭ116 УЗК работает на упорных элементах вплоть до скорости 45 км/ч, когда коэффициент тяги падает до величины примерно 0,1 и срыв в боксование маловероятен. Для эффективного снижения ударных моментов в указанном режиме желательно, наоборот, иметь регрессивную характеристику, как у варианта УЗК разработки ВНИИЖТ с овально-призматическими упругими элементами [14], для которого мягкая характеристика обеспечивается при скорости выше 20 км/ч, что соответствует продолжительному режиму тяги.

Таким образом, вопрос о целесообразности применения УЗК в приводе тепловоза ТЭ26 в грузовом варианте для улучшения сцепных свойств требует дальнейших исследований как эффективности УЗК, так и рациональных характеристик УЗК. Возможные пути повышения долговечности УЗК будут рассмотрены ниже.

Данное обстоятельство требует при модернизации узла подвешивания ТЭД использовать конструкцию, которая может быть применена как при упругом, так и при жестком зубчатом колесе. Авторами предложена подвеска (рис. 5) с двумя комплектами резинометаллических амортизаторов и центральным шарниром, размещенным между выступами на остовах ТЭД. На конструкцию подвески получен патент на полезную модель [16].

Пассажирский тепловоз для магистральных неэлектрифицированных линий

Несмотря на развитие скоростного и высокоскоростного движения, потребность в выпуске пассажирских тепловозов остается низкой. Если в СССР в период реконструкции тяги в 1965 году было выпущено 202 секции тепловозов ТЭП10, ТЭП10Л и ТЭП60, то в 1975 году – 63 тепловоза ТЭП60, и далее их выпуск оставался примерно на том же уровне до 1985 года. Последние 20 лет выпуск пассажирских тепловозов не превышал 45 секций в год, а последние 10 лет – 32 секций, в то время как поставки грузовых тепловозов семейств 2ТЭ25 и 2ТЭ116 за последние 10 лет достигали около 260 секций в год. Это объясняется электрификацией железных дорог и развитием скоростного и высокоскоростного движения главным образом на электрифицированной части полигона. За последние 5 лет объем поставок пассажирских тепловозов ТЭП70БС сократился до 5 секций в год. В целом после начала роста промышленного производства на постсоветском пространстве в первом десятилетии нынешнего века объем производства грузовых тепловозов примерно на порядок превышает производство пассажирских (рис. 6).

Данное обстоятельство ставит вопрос о дальнейшей целесообразности специализированного производства пассажирских тепловозов и о необходимости выпуска либо пассажирских модификаций грузовых

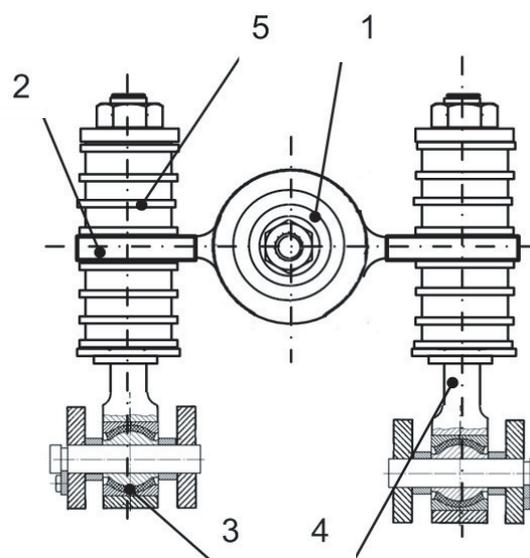


Рис. 5. Упругая подвеска ТЭД: 1 – центральный шарнир; 2 – траверса; 3 – сферический шарнир; 4 – тяга; 5 – резинометаллический элемент

тепловозов, максимально унифицированных с базовой моделью либо тепловозов на базе механической части пассажирского электровоза. Примером подобной унификации является, в частности, модификация тепловоза ТЭП33а фирмы General Electric (США), который унифицирован с грузовым тепловозом ТЭ33а той же фирмы, за исключением тележек.

Основной трудностью создания пассажирского тепловоза на базе электровоза является то, что экипажная часть шестиосных пассажирских электровозов наиболее массовой серии ЭП1 и скоростных электровозов ЭП20 представляют собой три двухосные тележки, вследствие чего становится невозможным разместить в межтележечной части кузова топливный бак достаточного объема. Таким образом, наиболее быстро осуществимым решением является переход на производство пассажирских тепловозов на базе односекционного тепловоза ТЭ26.

Вопросы создания пассажирского тепловоза, максимально унифицированного с грузовыми, который мог бы использоваться не только на линиях с небольшой интенсивностью движения, но и как полноценная замена существующему ТЭП70, ранее рассматривался авторами в [1;3;4], в связи с чем в данной статье будет рассматриваться вопрос, каким образом проще всего реализовать такую конструкцию, а также определить пути дальнейшего ее развития.

Начнем с того, что, что ТЭ26 может почти без переделок заменить грузопассажирскую модификацию тепловоза ТЭП70БС с передаточным числом редуктора $u=4,15$, при этом сила тяги в продолжительном режиме повышается с 222 кН почти до 270 кН (при конструкционной скорости 120 км/ч), т.е. на 22%, и становится равной силе тяги электровоза ЭП1П в часовом режиме, что позволяет вести на неэлектрифицированных участках пути составы той же массы, что и электровозы.

При установке дизель-генератора 2А-9ДГ-02, который, как и 18-9-ДПМ-02, использует дизель 16ЧН26/26, мощность по дизелю может быть повышена до 3 МВт. При этом на имеющихся в эксплуатации тепловозах ТЭП70БС с $u=4,15$ тяговая передача может быть переделана на передаточное число $u=3,12$ для использования на тех участках, где не требуется сила тяги длительного режима выше 167 кН, как для штатной модификации ТЭП70.

Как уже упоминалось в [1], создание на базе тепловоза ТЭ26 пассажирского варианта с конструкционной скоростью 160 км/ч возможно при использовании тележек тепловоза ТЭП150, которые практически полностью унифицированы с тележками серийных грузовых тепловозов производства БМЗ, за исключением тягового привода (рис. 7). Как известно [15], при использовании коллекторных ТЭД воздействие динамических нагрузок при прохождении неровностей пути ведет к тому, что при опорно-осевом приводе повреждаемость ТЭД тепловозов в 3,5 раза выше, чем при опорно-рамном.

Положительными преимуществами дисковых резинокордных муфт (РКМ) в опорно-рамном приводе являются их небольшой габарит, а также значительная нагрузочная способность. Так, на опытном тепловозе ТЭ120 постройки начала 70-х годов прошлого века РКМ рассчитывались на реализацию силы тяги в длительном режиме 256 кН. Как уже было отмечено в [1], имеются резервы увеличения несущей способности РКМ как в результате уточнения условий эксплуатации (возможности уменьшить расчетные угловые деформации за счет снижения вертикальных перемещений первой ступени рессорного подвешивания), так и за счет предложенных авторами решений по созданию равнопрочных муфт [17;18].

Необходимо отметить, что тяговый привод тепловоза ТЭП150 потребует переработки при использо-



Рис. 6. Число секций грузовых и пассажирских тепловозов собственной разработки, изготовленных в республиках бывшего СССР за последние 20 лет

вании, поскольку он рассчитан на применение ТЭД ЭД150, который, как ТЭД ЭД121, примененный на ранее построенном тепловозе ТЭ125, имеет меньшую длину по сравнению с двигателями ЭД133УХЛ1, применяемый на серийных тепловозах 2ТЭ25К^М и, соответственно, меньший крутящий момент.

Однако следует учитывать, что тепловоз ТЭ125 создавался на экспорт с возможностью эксплуатации на линиях с колеей 1435 мм, что создало дополнительные ограничения на размещение ТЭД. Известно, что в 70-х годах «Лугансктепловоз» совместно с ВНИТИ разработал опорно-центровой привод, в котором в качестве упругих элементов были применены резинокордные муфты, с использованием ТЭД ЭД118, имеющий ту же длину, что и ЭД133УХЛ1 [11;14]. Это указывает на возможность создания варианта привода с резинокордными муфтами для тепловоза, предназначенного для работы только на пути с колеей 1540 мм, с двигателями на базе ЭД133УХЛ1. Применение данного ТЭД, имеющего крутящий момент в длительном режиме 6600 Н·м позволяет реализовать силу тяги 192 кН, то есть, на 14% выше, чем у тепловоза ТЭП70БС.

Однако при этом возникает вопрос, есть ли смысл создавать пассажирский тепловоз с диаметром колеса 1050 мм, используя коллекторные ТЭД, мощность которых ограничена, в то время как отечественными производителями успешно создаются новые локомотивы с бесколлекторными ТЭД, например, ТЭМ23. Известно, что в 70-х годах прошлого века был построен опытный тепловоз ТЭ120, который при передаточном отношении тяговой передачи $u=3,409$ развивал тягу в продолжительном режиме 256 кН.

Максимальная расчетная частота вращения ТЭД типа ЭД900 данного тепловоза составляла $n_{\max}=3600$ мин⁻¹ [15], тогда максимальная скорость движения при этой частоте вращения

$$v_{\max} = \frac{3,6\pi D_k n_{\max}}{60u}, \quad (1)$$

где $D_k=1,05$ м – диаметр колеса. При указанных данных $v_{\max}=209$ км/ч, что значительно выше конструкционной скорости пассажирских тепловозов ТЭП70 и ТЭП150, равной 160 км/ч. При указанной скорости частота вращения ротора ЭД-900 составит всего 2755 мин⁻¹. Таким образом, применение асинхронного ТЭД, равноценного по характеристикам и габаритам ЭД900, при опорно-рамном приводе с резинокордными муфтами, позволяет создать тепловоз, который может быть использован и как пассажирский, и как грузопассажирский, развивая в длительном режиме тяговое усилие на 15% выше, чем грузопассажирский вариант ТЭП70.

С другой стороны, в настоящее время нет и ответа на вопрос, насколько оправдано требование использовать опорно-рамный привод на пассажирских тепловозах при бесколлекторных ТЭД, которые намного более устойчивы к воздействию динамических нагрузок, чем коллекторные. До сих пор не принято каких-либо норм или рекомендаций, позволяющих определять предельную неподдресоренную массу, приходящуюся на одну ось локомотива, в зависимости от конструкционной скорости или среднетехнической скорости движения на перегоне. В табл. 1 приведены данные о неподдресоренной массе $m_{\text{н}}$ различных локомотивов отечественных железных дорог в зависимости от скорости движения.

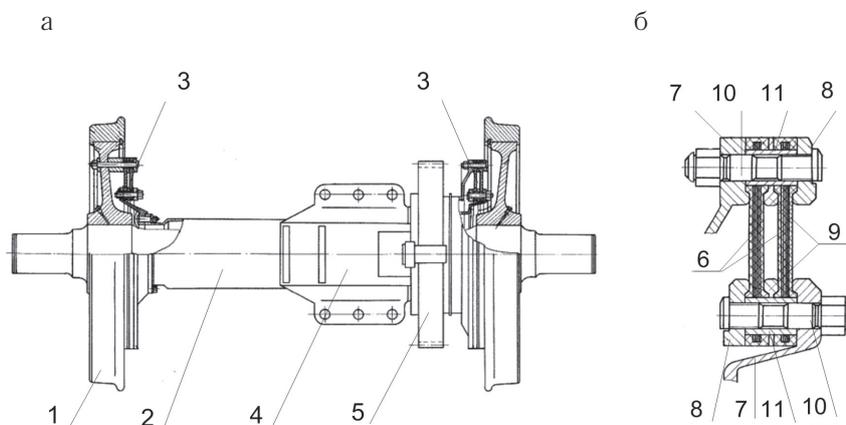


Рис. 7. Тяговый привод ТЭП150: а – передаточный механизм; б – муфта; 1 – колесная пара; 2 – полый вал; 3 – муфты; 4 – опора; 5 – зубчатое колесо; 6 – резинокордные элементы; 7 – фланцы; 8 – нажимные кольца; 9 – промежуточные кольца; 10 – болты; 11 – дистанционные втулки

Таблица 1

Неподрессоренная масса локомотивов

Серия	Вид тяги	Род службы	D_k , м	V_{max} , км/ч	Тип привода	m_n , кг
ЧС2	электровоз	пассажирский	1,25	160	опорно-рамный	3850
ЧС200	электровоз	пассажирский	1,25	200	опорно-рамный	3250
ЧС6	электровоз	пассажирский	1,25	190	опорно-рамный	3250
ЭП1М	электровоз	пассажирский	1,25	140	опорно-рамный	3900
ЭП2К	электровоз	пассажирский	1,25	160	опорно-рамный	3900
ЭП20	электровоз	пассажирский	1,25	200	опорно-рамный	2946
ТЭП70БС	тепловоз	пассажирский	1,22	160	опорно-рамный	2760
2ТЭ25А	тепловоз	грузовой	1,05	110	опорно-осевой	3900

Как видно из табл. 1, на отечественных железных дорогах в качестве пассажирских длительное время массово используются локомотивы с неподрессоренной массой около 3900 кг, при этом за период эксплуатации этих машин с начала 60-х годов ни МПС, ни РЖД не ставилось вопроса о срочной замене их на локомотивы с меньшей неподрессоренной массой. Более того, результаты испытаний тепловоза HS4000 фирмы Brush (Великобритания), имевшего опорно-осевой привод с УЗК, при скорости до 200 км/ч, выявили лучшие динамические характеристики по сравнению с тепловозом ТЭП75, имевшим ту же экипажную часть, что и у серийного ТЭП70 [11].

Наконец, опорно-осевой привод при бесколлекторных ТЭД был допущен к использованию на пассажирском моторвагонном подвижном составе как на импортных электропоездах ЭШ2 с $V_{max}=160$ км/ч, так и на отечественном ЭГ2Тв, который может выпускаться в вариантах с максимальной скоростью 120 или 160 км/ч.

Следует также отметить, что на участках с тепловозной тягой длительное время в большом количестве эксплуатировались тепловозы ТЭП10 и ТЭП10Л с конструкционной скоростью 140 км/ч и жестким зубчатым колесом, вследствие чего, согласно [2], неподрессоренная масса с учетом моментов инерции вращающихся масс ТЭД, должна составить

$$m_{np} = m_n + \frac{J_o + J_a(1+u)^2}{l_d^2}, \quad (2)$$

где $m_n=4410$ кг – неподрессоренная масса без учета моментов инерции; $J_o=410$ кг·м² – момент инерции остова ТЭД относительно оси вращения ротора; $J_a=26,3$ кг·м² – момент инерции ротора; $u=3,04$ – передаточное число ТЭП10Л поздних выпусков с бандажными колесами; $l_d=0,905$ м – расстояние между осью колесной пары и точкой подвешивания ТЭД. При

указанных данных $m_{np}=5435$ кг. Исходя из того, что при ударе во время прохождения стыка кинетическая энергия неподрессоренной массы, которая должна поглощаться основанием пути, пропорциональна квадрату скорости движения, неподрессоренная масса тепловоза ТЭП10Л при скорости движения 140 км/ч должна оказывать такое же воздействие на путь, как и неподрессоренная масса $m_{np}=4160$ кг при скорости движения 160 км/ч, что на 6,7% выше, чем неподрессоренная масса тепловоза 2ТЭ25А с УЗК. Тепловозы ТЭП10Л были выведены из эксплуатации только в 80–90-х годах прошлого века.

Наконец, в России успешно прошел испытания электровоз 2ЭВ120 с конструкционной скоростью 140 км/ч и опорно-осевым тяговым приводом, аналогичным примененному на электровозе 2ЭС10, что дает основание оценивать в первом приближении его необдрессоренную массу без учета моментов инерции в 5500 кг, а с учетом моментов инерции вращающихся частей примерно в 6500 кг. Эта масса по величине энергии, передаваемой пути при скорости движения 140 км/ч, эквивалентна массе в 5000 кг при скорости движения 160 км/ч, что на 28% выше, чем у 2ТЭ25А с УЗК. Тем не менее в октябре 2017 года электровоз 2ЭВ120 получил сертификат соответствия (сертификат соответствия ФБУ «РС ФЖТ» по ТР ТС 001/2011), позволяющий начать производство установочной серии.

Таким образом, анализ опыта эксплуатации на отечественных железных дорогах локомотивов с конструкционной скоростью 140...160 км/ч и неподрессоренной массой 3900...5400 кг не дает оснований для вывода о недопустимости использования на пассажирских тепловозах опорно-осевого привода с неподрессоренной массой 3900 кг.

При использовании тех же ТЭД, что на тепловозе 2ТЭ25А (ДТА-350Т) с увеличением конструкционной

скорости со 120 до 160 км/ч сила тяги тепловоза в расчетном режиме составит 293 кН, что на 30% выше силы тяги тепловоза ТЭП70 в грузопассажирском варианте и лишь на 10% ниже силы тяги грузового варианта ТЭ26 с коллекторными ТЭД. При этом частота вращения асинхронного ТЭД составит лишь 2300 мин⁻¹. В связи с этим возникает вопрос, может ли быть увеличена максимальная частота вращения асинхронного ТЭД (до 2500...2600 мин⁻¹), что позволило бы создать универсальный тепловоз, который может использоваться и как пассажирский и как грузовой на малодеятельных линиях.

Самым проблемным узлом тягового привода в этом случае становится УЗК. Оптимизация жесткостной характеристики УЗК производилась применительно к задачам грузового движения, когда скорость движения тепловоза на руководящем подъеме находится в пределах 20...30 км/ч, при этом динамические моменты в приводе при прохождении неровностей пути невелики. Исходя из этого, для УЗК тепловозов серий 2ТЭ10В/М и 2ТЭ116 была принята прогрессивная жесткостная характеристика: при движении на руководящем подъеме вступали в действие упорные резинометаллические элементы (РМЭ), что повышало жесткость упругого венца большого зубчатого колеса тяговой передачи в несколько раз. Скорость движения пассажирского тепловоза на руководящем подъеме находится в пределах 40...50 км/ч, что означает увеличение кинетической энергии при ударе во время прохождения рельсового стыка в 3...4 раза. Отсюда следует, что жесткостная характеристика УЗК должна быть ближе к линейной, как, например, это было сделано в УЗК грузового тепловоза 2ТЭ25А, где в отверстия венца и тарелок были запрессованы с небольшим натягом 1,5 мм 16 упругих элементов, радиальная жесткость которых выбрана по условию передачи пускового крутящего момента с нераскрытием зазора по упругим элементам и обеспечением их длительной работы.

Другим вариантом, обеспечивающим приемлемую жесткостную характеристику при использовании тепловоза как для грузового, так и для пассажирского движения, является разработанная ВНИИЖТ конструкция УЗК с овально-призматическим упругим элементом [14]. Однако при использовании таких УЗК, как и при использовании РМЭ с наружными обоймами, основной проблемой становится износ отверстий под РМЭ [14;19]. Согласно [19], «Ресурс УСЗК по допустимому износу составляет около 3 млн км, однако на заводах УСЗК меняют уже при пробеге 1,5–1,7 млн км из-за предельного износа отверстий в венце и боковых фланцах...». В связи с этим были проведены эксплуатационные испытания

РМЭ с цилиндрическими элементами в стаканах из полиуретана ПФЛ-100, капрона и алюминия; после пробега 420 тыс.км было обнаружено, что наружные поверхности стаканов из полиуретана имели следы намина, стаканы из капрона имели кольцевую выработку 0,4...0,7 мм, а из алюминия — небольшой износ 0,1...0,2 мм в зоне отверстий фланцев [14;19]. В [19] было предложено изготавливать арматуру РМЭ из сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ). Применение для арматуры РМЭ полимерных материалов позволяет исключить износ отверстий в венце и фланцах УЗК.

Авторами предложен вариант конструкции УЗК, не требующий применения наружной арматуры РМЭ (рис. 8).

Возможность поворота и центровки венца 2 относительно ступицы 1 обеспечивается за счет того, что все наружные выступы 8 по высоте выполнены равноудаленными от центра ступицы 1, со сферическими поверхностями на концах, контактирующими со впадинами между внутренними выступами 7 в диске венца 2. Венец 2 выполнен разъемным из двух половин, соединенных болтами 9, зубья каждой из половин выполнены косыми с одинаковым и противоположным по направлению углом наклона, а поверхности впадин венца выполнены сферическими с радиусом, равным радиусу сферической поверхности выступов ступицы. При демонтаже венца 2 во время ремонта и обслуживания болты 9 откручиваются, что обеспечивает разъем половин венца 2 и свободное отсоединение их от ступицы 1. На конструкцию УЗК получен патент на изобретение [20].

В дальнейшей перспективе целесообразно создание конструкций опорно-осевого тягового привода, в котором упругие элементы вынесены за пределы тяговой передачи. Одной из таких конструкций является агрегатный тяговый привод, рассмотренный авторами в [21]. Однако такой привод требует уменьшения осевого габарита ТЭД за счет увеличения радиального габарита, что сложнее реализовать при диаметре колес 1050 мм. В этом случае возможной альтернативой УЗК является вынос упругих элементов за пределы тяговой передачи и размещение их на диске колеса. Это снимает ограничения на размеры упругих элементов и упрощает их замену при ремонте. В качестве примера на рис. 9 изображен вариант тягового привода, предложенный авторами.

При работе тягового привода в сборе крутящий момент с вала 4 передается на малое зубчатое колесо 3 и далее на большое зубчатое колесо 10 и колесо 11 колесной пары. При необходимости осмотра МОП 6 со стороны большого зубчатого колеса 10 снимаются половины корпуса редуктора 1, затем разъединяется

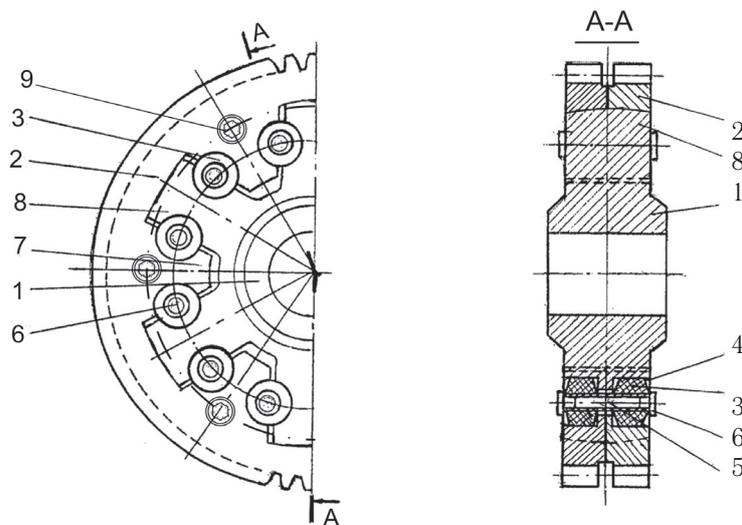


Рис. 8. УЗК для шевронной зубчатой передачи: 1 – ступица; 2 – венец с диском; 3 – упругие элементы; 4 – гнезда; 5 – втулки; 6 – стопорные винты; 7 – внутренние выступы; 8 – наружные выступы; 9 – болты

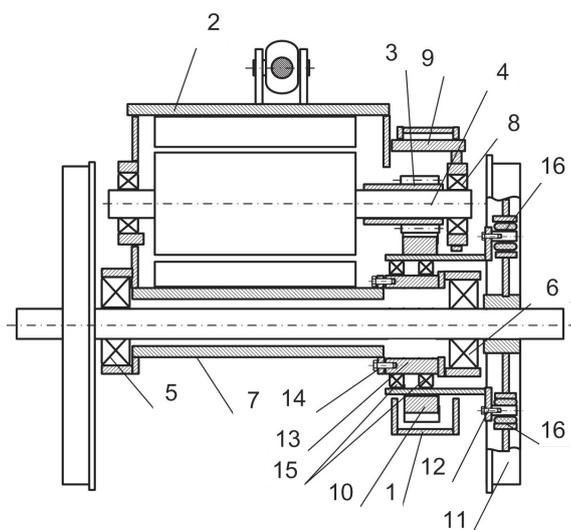


Рис. 9. Опорно-осевой привод с упругими элементами, расположенными на диске колеса: 1 – редуктор; 2 – ТЭД; 3 – малое зубчатое колесо; 4 – вал ТЭД; 5, 6 – МОП качения; 7 – корпус; 8 – роторный подшипник; 9 – защитный корпус; 10 – большое зубчатое колесо; 11 – колесо колесной пары; 12, 14 – болты; 13 – стакан; 15 – подшипники; 16 – амортизаторы

болтовое соединение 14, соединяющее стакан 13 и корпус 7, разъединяется не показанное на рис. 8 болтовое соединение ТЭД 2 и корпуса 7, после чего разъединяется соединение ступицы большого зубчатого колеса 10 с колесом 11 колесной пары и большое зубчатое колесо 10 отодвигается от колеса 11 колесной пары, обеспечивая доступность МОП 6 для осмотра.

При движении локомотива во время прохождения вертикальных неровностей пути в зубчатой передаче

возникают динамические моменты, которые амортизируются за счет деформации амортизаторов 16. Амортизация динамических моментов приводит к снижению кратковременных максимальных усилий, развиваемых на ободу колесной пары, благодаря чему уменьшается проскальзывание колесной пары относительно рельсов и улучшается сцепление колес с рельсами. При этом деформация амортизаторов 16 не влияет на расстояние между малым зубчатым

колесом 3 и большим зубчатым колесом 10, поскольку большое зубчатое колесо 10 опирается на стакан 13 корпуса 7 МОП 5 и 6.

На предложенный вариант тягового привода авторами получен патент [22].

Выводы и рекомендации

1. В связи с анонсированными планами выпуска опытного образца тепловоза ТЭ26 для линий с небольшой грузонапряженностью уже в конце 2024 года, проведен анализ недостатков проекта и поиск возможностей их устранения наиболее простыми способами. Установлено, что к основным недостаткам тепловоза ТЭ26 относятся:

- низкий коэффициент использования сцепного веса унифицированной бесчелюстной тележки в расчетном режиме тяги ($\eta=0,88$) при требовании к перспективным локомотивам обеспечить величину данного показателя не ниже $\eta=0,92$;

- необходимость модернизации траверсного подвешивания тяговых электродвигателей для исключения изнашиваемых пар скольжения с учетом возможного использования привода с жестким зубчатым колесом;

- отсутствие унифицированного ряда тепловозов на базе данной модели, включающей в себя пассажирский тепловоз, способный заменить выпускаемый ТЭП70БС.

2. Доказано, что для унифицированной трехосной бесчелюстной тележки можно достичь величины коэффициента использования сцепного веса η , более высокой, чем 0,92, за счет применения сбалансированного рессорного подвешивания и увеличения жесткости в вертикальном направлении опор кузова на тележку. Также установлена дополнительная возможность повышения сцепных свойств за счет применения упругого зубчатого колеса в тяговой передаче, однако для количественной оценки реального эффекта этого мероприятия в эксплуатации требуются дальнейшие исследования.

3. Предложено для реализации сбалансированного рессорного подвешивания при внесении

минимальных конструктивных изменений в тележку использовать пневмопружинное рессорное подвешивание. Для повышения жесткости резинометаллических опор кузова в вертикальном направлении предложено вместе выполнять их, вместо набора однослойных резинометаллических элементов, в виде многослойного резинометаллического элемента, что позволит увеличить число слоев и уменьшить толщину каждого слоя при том же самом числе листов арматуры. Для модернизации траверсного подвешивания предложена резинометаллическая подвеска с плоскими и сферическими резинометаллическими элементами.

4. Доказано, что тепловоз ТЭ26 в штатном исполнении может заменить тепловоз ТЭП70БС в исполнении с передаточным числом редуктора $u=4,12$, а с использованием тягового привода, примененного на тепловозе ТЭП150 – тепловоз ТЭП70БС в штатном исполнении с $u=3,12$. В последнем случае целесообразна доработка передаточного механизма для увеличения осевых габаритов для размещения ТЭД, исходя из возможной эксплуатации тепловоза только на колее шириной 1520 мм.

5. Предложено для повышения конкурентоспособности пассажирской модификации ТЭ26 использовать передачу переменного тока, что позволит создать тепловоз, который одновременно может быть использован и как пассажирский и как грузопассажирский, полностью заменив обе модификации тепловоза ТЭП70БС. Доказана возможность создания такого тепловоза не только с опорно-рамным, но и с опорно-осевым подвешиванием при условии наличия упругого звена в тяговой передаче, поскольку в этом случае величина неподрессоренной массы, приходящейся на одну ось, не превышает аналогичных показателей для пассажирских электровозов, что позволит создать универсальный тепловоз, пригодный для грузового и пассажирского движения. Предложены конструкции упругого зубчатого колеса и опорно-осевого привода с упругими элементами на колесе. 

Литература

1. Проблемы создания тепловозов для линий с небольшой интенсивностью движения / А. С. Космодамианский, В. И. Воробьев, О. В. Измеров, С. О. Копылов, Е. В. Николаев. - Текст : непосредственный // Наука и техника транспорта. - 2023. - № 2. - С. 22-31.
2. Евстратов, А. С. Экипажные части тепловозов / А. С. Евстратов. - Москва : Машиностроение, 1987. - 136 с. - Текст : непосредственный.
3. Возможности унификации грузовых и пассажирских тепловозов широкой колес / Д. Я. Антипин, М. И. Борзенков, В. И. Воробьев, О. В. Дорофеев, С. Н. Злобин, О. В. Измеров, С. О. Копылов. - Текст : непосредственный // Мир транспорта и технологических машин. - 2019. - № 4 (67). - С. 40-49.
4. Возможности создания универсальных тепловозов для грузовой и пассажирской службы / В. И. Воробьев, С. Н. Злобин, О. В. Измеров, Е. В. Николаев. - Текст : непосредственный // Мир транспорта и технологических машин. - 2023. - № 3-2(82). - С. 11-18.
5. Анализ и разработка конструктивных решений экипажной части для повышения тяговых свойств локомотивов / А. А. Пугачев, В. И. Воробьев, О. В. Измеров, Е. В. Николаев. - Текст : непосредственный // Транспортное машиностроение. - 2023. - № 6 (18). - С. 52-62.
6. Михальченко, Г. С. Оценка износа колес грузового тепловоза с радиальной установкой колесных пар / Г. С. Михальченко, А. С. Юршин. - Текст : непосредственный // Вестник БГТУ. - 2007. - № 2(14). - С. 39-43.
7. Тепловозы : Конструкция, теория и расчет / Под ред. д-ра техн. наук Н. И. Панова. - Москва : Машиностроение, 1976. - 543 с. - Текст : непосредственный.
8. Характеристики и основные конструктивные решения тележек тепловоза 2ТЭ121 / С. П. Филонов, А. Т. Литвинов, Л. К. Добрынин, Ю. В. Колесин. - Текст : непосредственный // В сборнике «Результаты испытаний тепловоза 2ТЭ121» ; под редакцией Л. К. Добрынина. Труды ВНИТИ, вып. 62. Коломна, 1985. - С. 49-60.
9. Конструкция и динамика тепловозов / В. Н. Иванов, В. В. Иванов, Н. И. Панов, А. П. Третьяков. - Москва : Транспорт, 1974. - 336 с. - Текст : непосредственный.
10. Пневматическое рессорное подвешивание тепловозов: монография; под общей редакцией С. М. Куценко. - Харьков : Вища школа, 1978. - 97 с. - Текст : непосредственный.
11. Повышение надежности экипажной части тепловозов / А. И. Беляев, Б. Б. Бунин, С. М. Голубятников [и др.]. - Москва : Транспорт, 1984. - 248 с. - Текст : непосредственный.
12. Пузанов, В. А. Динамические качества рессорного подвешивания тепловоза 2ТЭ121 / В. А. Пузанов, Е. Л. Цейтлин. - Текст : непосредственный // В сборнике «Результаты испытаний тепловоза 2ТЭ121» ; под редакцией Л. К. Добрынина. Труды ВНИТИ, вып. 62. Коломна, 1985. - С. 117-118.
13. Развитие локомотивной тяги / Н. А. Фурфрянский, А. С. Нестрахов, А. Н. Долганов, Н. Н. Каменев, Э. А. Пахомов; под редакцией Н. А. Фурфрянского и А. И. Бевзенко. - Москва : Транспорт, 1982. - 303 с. - Текст : непосредственный.
14. Михайлов, Г. И. Повышение надежности и несущей способности тяговых зубчатых передач. Опыт поиска новых технических решений : монография / Г. И. Михайлов. - Казань : Алгоритм+, 2023. - 560 с. - Текст : непосредственный.
15. Бирюков, И. В. Тяговые передачи электроподвижного состава железных дорог / И. В. Бирюков, А. И. Беляев, Е. К. Рыбников. - Москва : Транспорт, 1986. - 256 с. - Текст : непосредственный.
16. Патент № 213277 Российская Федерация, МПК В61С 9/38(2006.01). Узел подвешивания тягового электродвигателя : № 2021118614: заявлено 25.06.2021 : опубликовано 30.09.2021 / Космодамианский А. С., Измеров О. В., Воробьев В. И., Корчагин В. О., Пугачев А. А., Капустин М. Ю., Самотканов А. В., Шевченко Д. Н., Николаев Е. В., Карпов А. Е. ; Космодамианский Андрей Сергеевич. Бюл. № 25. - Текст : непосредственный.
17. Патент № 157519 Российская Федерация, МПК F16D 3/78(2006.01) : № 2015119063/11. Оболочка резинокордная для высокоэластичной муфты : заявлено 20.05.2015 : опубликовано 10.12.2015 / Воробьев В. И., Измеров О. В., Дорофеев О. В., Злобин С. Н. ; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс» (ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»). Бюл. № 34. - 5 с. : ил. - Текст : непосредственный.

18. Патент № 173560 Российская Федерация, МПК В61С 9/00, F16D 3/78. Компенсационная муфта тягового привода локомотива : № 2017105539 : заявлено 20.02.2017 : опубликовано 30.08.2017 / Воробьев В. И., Антипин Д. Я., Измеров О. В., Новиков А. С., Космодамианский А. С., Шорохов С. Г., Мануева М. В. ; Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования «Брянский государственный технический университет». - Бюл. № 25. - 8 с : ил. - Текст : непосредственный.

19. Кононов, В. Е. Полимерные материалы для повышения ресурса зубчатых колес тягового привода / В. Е. Кононов, Н. Ю. Василевская. - Текст : непосредственный // Локомотив. - 2019. - № 1 (745). - С. 43-45.

20. Патент № 2619880 Российская Федерация, МПК F16H 55/14 (2006.01). Колесо зубчатое упругое : № 2016117482 : заявлено 04.05.2016 : опубликовано 19.05.2017 / Воробьев В. И., Стриженов А. Г., Тихомиров В. П., Измеров О. В. ; Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования «Брянский государственный технический университет». Бюл. № 14. - 9 с. : ил. - Текст : непосредственный.

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

22. Патент № 224556 Российская Федерация, МПК В61С 9/48 (2006.01). Тяговый привод локомотива : № 2023134344 : заявлено 28.03.2024 : опубликовано 28.03.2024 / Злобин С. Н., Воробьев В. И., Измеров О. В., Копылов С. О., Николаев Е. В. : Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Орловский государственный университет имени М. С. Тургенева» (ФГБОУ ВО «ОГУ имени И. С. Тургенева»). Бюл. № 10. - Текст : непосредственный.

ВЫБОР ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ МЕСТОНАХОЖДЕНИЯ РАБОТНИКОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

В статье решается задача выбора технологии беспроводной передачи данных для системы контроля местоположения сотрудников в опасных зонах на железнодорожном транспорте. Рассматриваются такие технологии как Zigbee, Wi-Fi, Wi-Max, GSM/GPRS, 3G/4G/5G и LoRa, анализируются их достоинства и недостатки, для чего оцениваются способы модуляции каждой из них.

Ключевые слова: Zigbee, Wi-Fi, Wi-Max, GSM/GPRS, 3G/4G/5G, LoRa, технология беспроводной передачи данных

EDN: QQRCQY

Задача контроля местоположения сотрудников в рабочее время, особенно с разъездным характером работы, является актуальной и ставится во многих сферах хозяйственной деятельности. Для этих целей широко применяются мобильные средства с функцией геолокации, которые достаточно хорошо работают в густонаселенных районах и непосредственно в населенных пунктах [1;2].

Железнодорожный транспорт является зоной повышенной опасности, связанной с движением поездов. Железнодорожная сеть имеет территориально-распределенную структуру с большим количеством участков, расположенных вдали от населенных пунктов,



М.Э. Скоробогатов



А.В. Пультяков

а также в горнопересеченной местности со слабым или отсутствующим сигналом сотовой связи, т.е. без мобильной связи.

Постановка задачи

При проведении работ по технической эксплуатации объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта, находящихся в удаленных и опасных зонах, требуются контроль местоположения работников. Для решения данной задачи предлагается разрабатываемая автоматизированная система контроля местонахождения работников железнодорожного транспорта.

Скоробогатов Максим Эдуардович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Автоматика, телемеханика и связь» Иркутского государственного университета путей сообщения (ИрГУПС). Область научных интересов: автоматизация и управление технологическими процессами и производствами, повышение эффективности технической эксплуатации устройств и систем железнодорожной автоматики и телемеханики. Автор 31 научной работы, в том числе одного учебно-методического издания. Имеет пять патентов на изобретения.

Пультяков Андрей Владимирович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Автоматика, телемеханика и связь» Иркутского государственного университета путей сообщения (ИрГУПС). Область научных интересов: автоматизация и управление технологическими процессами и производствами, повышение эффективности технической эксплуатации устройств и систем железнодорожной автоматики и телемеханики. Автор 110 научных работ, в том числе одной монографии, пяти учебных пособий и шести учебно-методических изданий. Имеет 21 патент на полезные модели и изобретения, четыре свидетельства о регистрации программ для ЭВМ.

Козиенко Леонид Владимирович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Автоматика, телемеханика и связь» Иркутского государственного университета путей сообщения (ИрГУПС). Область научных интересов: спутниковые радионавигационные системы (GPS, ГЛОНАСС), телекоммуникационные системы и сети передачи данных, волоконно-оптические системы передачи. Автор 53 научных работ, в том числе трех учебных пособий. Имеет один патент на полезную модель.

Рассматриваемая система реализует функции автоматического отслеживания координат с помощью носимых устройств, оснащенных датчиками GPS, ГЛОНАСС, которые с определенной периодичностью передают информацию о местоположении работников на специальный сервер. Установленное на сервере программное обеспечение сопоставляет полученные координаты с рабочими зонами и оповещает исполнителей (дежурных) при возникновении нештатных ситуаций.

Разрабатываемая система предназначена для регистрации состояния стационарных и подвижных объектов и передачи информации к ним. В качестве сети передачи данных предполагается использование технологии с расчетной дальностью уверенной связи до 5 км. Это расстояние определяется максимальным фронтом работ, проводимых одной бригадой.

На рис. 1 представлена схема, поясняющая принцип работы системы. Зеленая зона — это заявленное место проведения работ, огражденное соответствующими знаками и сигналами, т.е. безопасная зона, границы которой определяет руководитель работ. У каждого работника имеется носимый модуль с приемопередатчиком. Система автоматически определяет местоположение работника и, если он находится внутри указанной зоны, то он подсвечен зеленым, если покинул эту зону, то красным.

Требуемая зона охвата разворачиваемой сети должна быть больше, чем зона проведения работ. Одной из первостепенных задач в процессе разработки системы контроля является выбор технологии

передачи данных между объектами. При этом необходимо учитывать следующее:

- отсутствие доступных средств связи на некоторых участках железных дорог;
- обеспечение дальности передачи для покрытия всего участка выполнения работ;
- возможность длительной работы устройств без дополнительной подзарядки в процессе выполнения работ.

Настоящая статья направлена на исследование и выбор технологии беспроводной передачи данных исходя из указанных требований. Рассмотрим существующие технологии передачи данных, возможные для применения в разрабатываемой системе контроля местонахождения работников.

ZigBee и другие Mesh-протоколы

Стандарт ZigBee (IEEE 802.15.4) используется для подключения устройств умного дома и «интернета вещей» (IoT). Он обеспечивает беспроводную связь между устройствами на расстоянии до 70 метров в помещении и до 400 метров на открытом воздухе. Стандарт ZigBee позволяет устройствам общаться друг с другом и передавать данные на сервер, где они могут быть обработаны и использованы для управления устройствами [3].

Преимуществами технологии ZigBee являются низкое энергопотребление, высокая стабильность и надежность связи, возможность подключения большого количества устройств к одной сети, а также возможность создания многозвенных сетей. Кроме того,

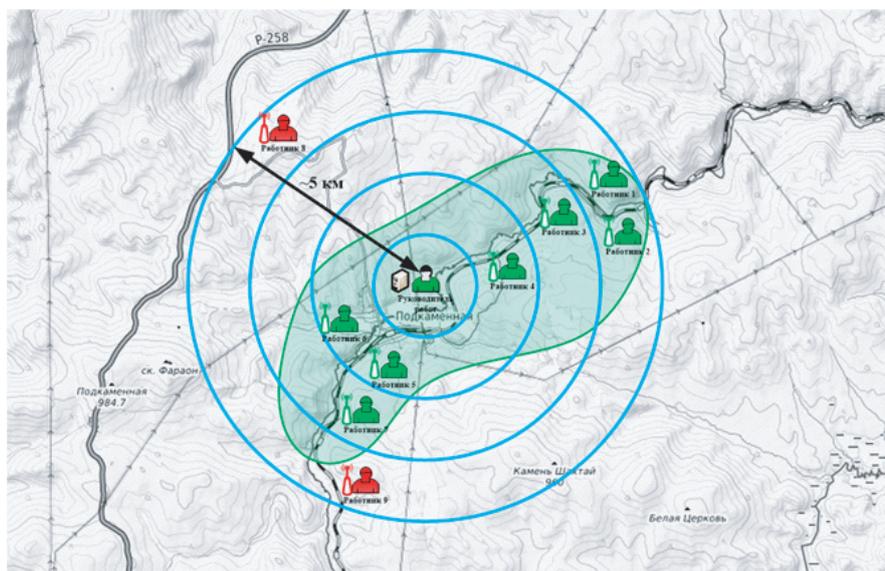


Рис. 1. Принцип работы системы контроля местонахождения работников

стандарт Zigbee имеет высокую защиту от взлома и поддерживает шифрование данных [4].

До появления LPWAN ячеистые сети использовались в основном в системах промышленного «интернета вещей» для организации удаленного мониторинга. При этом решения на базе Zigbee плохо масштабируются из-за сложности настройки и управления сетью, что затрудняет их использование на географически распределенных объектах.

Технология Wi-Fi

Технология Wi-Fi была разработана в 1997 году и представляет собой семейство цифровых стандартов передачи данных с использованием радиоканала. Наиболее распространенными являются следующие из них: IEEE 802.11a, IEEE 802.11b, IEEE 802.11g, IEEE 802.11n, IEEE 802.11ac, IEEE 802.11ax, IEEE 802.11be.

Рассмотрим работу технологии Wi-Fi на примере протокола IEEE 802.11ax, у которого максимальное количество клиентов составляет 74. IEEE 802.11ax — это стандарт беспроводных локальных сетей (WLAN), также известный как Wi-Fi 6. Он использует технологию множественного ввода и множественного вывода (MIMO), которая позволяет устройствам передавать и принимать данные одновременно на нескольких антеннах. Кроме того, IEEE 802.11ax поддерживает технологию Orthogonal Frequency-Division Multiple Access (OFDMA), которая позволяет разбить высокоскоростной поток данных на определенное количество низкоскоростных, каждый из которых передается на своей поднесущей частоте и модулируется [5;6].

В целом, технология Wi-Fi обеспечивает высокую скорость передачи данных, возможность работы без проводов, удобство использования и мобильность. Wi-Fi позволяет подключать к сети множество устройств одновременно и обеспечивает быстрый обмен данными, что делает его идеальным для использования в домашней, офисной и общественной среде.

Технология WiMAX

WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) — это технология широкополосного доступа, которая обеспечивает высокоскоростной доступ в интернет на расстояниях до нескольких километров.

WiMAX-оборудование состоит из базовой станции (BS), которая передает сигналы пользователям, и абонентского оборудования, которое принимает сигналы от BS и передает их на компьютеры или другие устройства. WiMAX может использоваться как самостоятельно, так и в сочетании с другими технологиями, такими как DSL и кабельный модем, для обеспечения более широкого покрытия и лучшего качества связи.

Технология WiMAX работает на основе модуляции с ортогональным разделением частот (OFDM) и в целом схожа с технологией Wi-Fi. WiMAX поддерживает семейство стандартов IEEE 802.16 с различными скоростями передачи, дальностью связи и рабочими частотами. Семейство стандартов IEEE 802.16 описывает протоколы для беспроводных локальных сетей с высокой пропускной способностью, обычно используемых для предоставления услуг беспроводного широкополосного доступа. Эти стандарты определяют физические уровни, MAC-уровни и верхние уровни для беспроводных сетей, обеспечивающих услуги с большой пропускной способностью на больших расстояниях [7;8].

Стандарт IEEE 802.16 определяет два основных типа физического уровня:

1. IEEE 802.16-2004: этот стандарт определяет физический уровень для работы в диапазоне частот от 10 до 66 ГГц. Он включает в себя несколько подтипов, таких как IEEE 802.16a (работает в диапазоне 2–11 ГГц), IEEE 802.16b (работает в диапазоне 10–66 ГГц) и IEEE 802.16e (работает в диапазонах 2,3; 2,5 и 5,7 ГГц).

2. IEEE 802.16d-2010: этот стандарт определяет физический уровень, работающий в диапазоне частот ниже 10 ГГц, включая частоты 2–5 ГГц (например, 3,5 ГГц) и 6–10 ГГц.

Технологии WiMAX и Wi-Fi часто подвергаются сравнению. Это связано с тем, что эти технологии используют беспроводное соединение и предназначены для подключения к каналу обмена данными. Кроме того, обе технологии используют OFDMA для шифрования кодовых посылок.

Wi-Fi — система небольшого радиуса действия (до 300 м), работающая в нелицензированном диапазоне частот 2,4 и 5 ГГц. WiMAX, как и системы сотовой связи, представляет собой сеть с большим радиусом действия (25–80 км) в лицензируемом диапазоне частот 1,5–11 ГГц и 2,33–13,6 ГГц.

В целом технология WiMAX подходит для решения различного рода задач от обеспечения беспроводного широкополосного доступа до организации систем удаленного сбора данных и диспетчерского контроля (SCADA).

Технология GSM/GPRS (2G)

GSM (Global System for Mobile Communications) — это глобальный стандарт мобильной связи, который был разработан в 1980-х годах. Он стал первым стандартом, который позволил использовать цифровые технологии для передачи голоса в мобильных сетях на частотах от 850 до 1900 МГц. В 1991 году была создана первая сеть GSM в Европе. Она была запущена

в Финляндии и использовалась для передачи данных и голоса. В настоящее время большинство мобильных операторов используют этот стандарт для предоставления услуг мобильной связи своим клиентам.

Основными принципами работы технологии GSM являются использование цифровых сигналов, частотного разделения каналов и временного мультиплексирования. Каждый канал связи GSM может передавать до восьми голосовых каналов одновременно, используя цифровое кодирование. Кроме того, GSM использует SIM-карты, которые хранят информацию о пользователе и его устройстве, позволяя легко переносить номера телефонов между различными устройствами.

Дальнейшее развитие стандарт GSM получил в 2000–2001 годах в виде технологии пакетной передачи данных — GPRS (General Packet Radio Service), с помощью которой удалось существенно увеличить скорость передачи данных до 171,2 Кбит/с. Следует отметить, что GPRS является «надстройкой» над GSM. Это позволяет организовать пакетную передачу данных в существующей сети связи [9].

Технология GPRS использует GMSK (Гауссовская манипуляция с минимальным частотным сдвигом) модуляцию, которая позволяет обеспечить максимальную скорость передачи в заданной полосе частот при постоянном уровне несущей частоты [10].

Применение фильтров низкой частоты с Гауссовской импульсной характеристикой в таком типе модуляции позволяет сузить полосу занимаемых частот, что позволяет выполнять требования, предъявляемые к современным системам мобильной радиосвязи.

Технологии UMTS, HSPA, LTE, NR (3G/4G/5G)

Сотовые сети стандартов 3G/4G/5G обеспечивают надежную, высокоскоростную связь для передачи голоса и потокового видео, но при этом требуют гораздо большего энергопотребления и больших эксплуатационных затрат в сравнении с другими беспроводными технологиями.

Технология 3G (3-Generation) — это технология мобильной связи третьего поколения. Она была разработана в начале 2000-х годов и стала стандартом для мобильных устройств. 3G обеспечивает более высокую скорость передачи данных, чем предыдущие поколения мобильной связи 2G и 2.5G. Сеть 3G была впервые построена в Южной Корее в 2001 году.

Стандарты связи 3G включают в себя различные спецификации, такие как UMTS (Universal Mobile Telecommunications System), HSPA (High Speed Packet Access) и HSPA+. UMTS является основным стандартом 3G и обеспечивает скорость передачи

данных до 3,6 Мбит/с. HSPA и HSPA+ являются усовершенствованиями UMTS, которые увеличивают скорость передачи данных до 14,4 Мбит/с и 42 Мбит/с соответственно.

Важной особенностью стандарта 3G является «сопровождение» абонентов базовыми станциями. Так, большая часть потока данных абонента проходит через ближайшую базовую станцию, в то время как на более отдаленные станции приходится меньшая его часть, вплоть до тех пор, пока абонент не покинет ее зону действия. Таким образом, за счет передачи потока данных через несколько базовых станций одновременно значительно уменьшается вероятность обрыва связи по сравнению с предыдущими стандартами.

Технология 4G/LTE (4-Generation/Long Term Evolution) начала развиваться в начале 2000-х годов. В 2002 году консорциум 3GPP (организация, занимающаяся разработкой стандартов для мобильной связи) начал работу над новым стандартом, который получил название LTE (Long-Term Evolution). LTE был разработан для предоставления более высокой скорости передачи данных и более эффективного использования спектра частот по сравнению с 3G. В 2009 году первые сети LTE были запущены в Швеции и Южной Корее. В 2010 году организация ITU (International Telecommunication Union) приняла решение переименовать стандарт LTE в 4G.

Дальнейшее развитие стандарт 4G получил в виде VOLTE. VOLTE — это технология передачи голоса через сеть 4G LTE. Она позволяет использовать голосовые вызовы на высоких скоростях, что делает ее более эффективной, чем традиционные голосовые сети [11;12].

Общепринятая частота сигнала стандарта 4G составляет 2600 МГц. Однако, в некоторых регионах используются другие частоты, например, в Москве и Санкт-Петербурге используется частота 1800 МГц, а в Сибири и на Дальнем Востоке — 800 МГц. При этом максимальная скорость 4G может достигать 1 Гбит/с, но реальная скорость зависит от многих факторов, таких как местоположение, нагрузка на сеть, качество сигнала и т.д. В России средняя скорость 4G составляет около 30–40 Мбит/с.

Сети пятого поколения 5G в сравнении с предыдущими стандартами обеспечивают меньшие задержки (15–30 мс) и высокие (до 1–2 Гбит/с) скорости передачи данных и рассматриваются как будущее автономных транспортных средств, робототехнических устройств и комплексов, систем промышленной автоматизации и др.

Технологии LPWAN

Сети LPWAN (Low-Power Wide-Area Network) представляют собой разновидность беспроводных сетей с большим радиусом действия и низким энерго-

потреблением, которые используются при построении систем на основе «интернета вещей» IoT, комплексов телеметрии различной сложности, межмашинного M2M-взаимодействия и т.д.

Основными преимуществами LPWAN являются: низкое энергопотребление, большой радиус действия, масштабируемость, дешевизна. Современные сети LPWAN используют различные технологии для передачи данных, включая лицензируемые (например, NB-IoT, LTE-M), а также нелицензируемые (например, MIOTY, LoRa, Sigfox). Все эти технологии могут использоваться в сетях LPWAN для различных задач, таких как мониторинг окружающей среды, управление устройствами и сбор данных с датчиков.

Среди различных протоколов нелицензируемого диапазона наибольший интерес представляет технология LoRa.

LoRa (Long Range) — это технология беспроводной связи, разработанная компанией Semtech, которая позволяет передавать данные на большие расстояния с очень низким энергопотреблением. Она использует низкие частоты, что позволяет передавать данные на расстояние до 15 км в открытом пространстве и до 5 км в городской застройке. Кроме того, LoRa имеет открытый исходный код, что позволяет разработчикам создавать свои устройства на ее основе.

Основным преимуществом технологии LoRa является ее высокая энергоэффективность. Также LoRa имеет относительно высокую пропускную способность, что позволяет передавать большие объемы данных. Кроме того, технология LoRa может использоваться для создания сетей IoT и M2M с большим количеством устройств [13;14].

Широкополосный радиосигнал LoRa представляет собой сигнал с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ). Такой сигнал имеет постоянную амплитуду и линейно изменяющуюся частоту, что позволяет увеличить энергию сигнала в заданной полосе частот и тем самым улучшить его способность проникать через помехи.

Одним из недостатков ЛЧМ сигнала является то, что он занимает большую полосу частот, что может создавать проблемы в системах с ограниченным спектром. Кроме того, обработка ЛЧМ сигналов может быть сложной из-за их сложной формы.

Ширина спектра LoRa может варьироваться от 125 до 500 кГц в зависимости от выбранного режима работы и скорости передачи данных (для Российской Федерации используется ширина 125 кГц). При фиксированной ширине спектра радиосигнала изменение его базы осуществляется за счет изменения длительности радиосигнала и скорости изменения частоты.

Физический радиointерфейс LoRa основан на использовании широкополосного пропускания сигнала с большой базой (много большей единицы) и низких скоростей передачи данных для достижения больших расстояний связи с низким энергопотреблением. Данный вид радиосигналов имеет две главные особенности:

- ширина спектра радиосигнала значительно больше скорости передачи данных, что обеспечивает передачу большего количества информации за счет использования более широкой полосы частот. Данное свойство может быть полезно для передачи данных на большие расстояния, однако избыточность частоты может привести к увеличению уровня шума и помех, что может ухудшить качество сигнала;

- корреляционная функция существенно уже корреляционной функции узкополосного радиосигнала с базой ~ 1 , что обеспечивает высокую точность и стабильность передачи данных, особенно в системах, где требуется минимальная задержка или высокая пропускная способность.

Заключение

В результате проведенного анализа были получены основные критерии, по которым осуществлялся выбор беспроводной технологии передачи данных для системы определения местоположения работников, которыми являются: дальность действия (не менее нескольких км), скорость передачи данных (не менее нескольких KBps) при наименьшей стоимости аппаратуры. На рис. 2 представлены сравнительные характеристики рассмотренных технологий беспроводной передачи данных.

Среди рассматриваемых систем по требуемым критериям наиболее предпочтительными технологиями являются WiMAX, GPRS и LoRa.

Однако, исходя из того, что в настоящий момент на рынке отсутствует современная аппаратура на базе технологии WiMAX, а при использовании технологии GPRS разрабатываемая система будет зависеть от зоны покрытия, то в качестве беспроводной технологии передачи информации была выбрана LoRa, так как она обеспечивает обмен информацией с необходимой скоростью на требуемой дальности при относительно небольшом энергопотреблении. 

Работа выполнена в рамках государственного задания по государственной работе «Проведение прикладных научных исследований» на тему «Разработка требований, стандартной унифицированной методики и нормативно-технической документации для проведения мобильных независимых испытаний аппаратуры спутниковой навигации для железнодорожного транспорта» № 12406100026-8 от 10.06.2024.

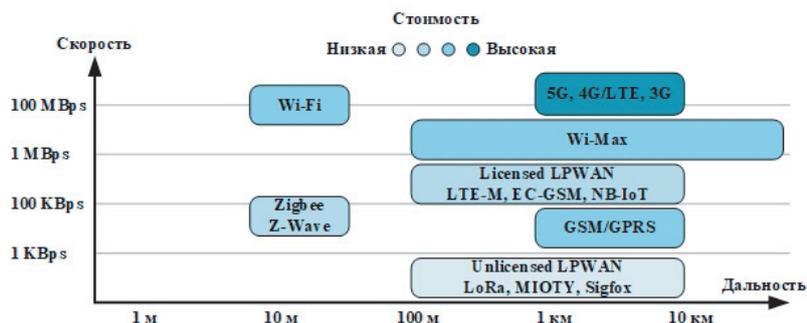


Рис. 2. Сравнительные характеристики различных технологий беспроводной передачи данных

Литература

1. Базакин, И. А. Использование беспроводных технологий LTE в режиме NB-IoT в системах мониторинга параметров объектов и устройств железнодорожной инфраструктуры / И. А. Базакин, А. И. Годяев, А. В. Меркулов. - Текст : непосредственный // Вестник транспорта Поволжья. - 2019. - № 5 (77). - С. 59-64.
2. Унучков, В. Е. Возможности развития мобильной связи железнодорожного транспорта / В. Е. Унучков, А. В. Яцук. - Текст : непосредственный // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. - 2014. - Т. 1. - С. 349-352.
3. Farah, Y. Study and efficiency analysis of wireless sensor networks based on the IEEE 802.15.4 / Zigbee protocol / Y. Farah, S. E. Sosenushkin // Soft Measurements and Computing. - 2021. - Vol. 43, № 6. - P. 10-16.
4. Internet of Things in the 5G Era: Enablers, Architecture, and Business Models / M. R. Palattella, T. Engel, L. Ladid [et al.] // IEEE Journal on Selected Areas in Communications. - 2016. - Vol. 34, № 3. - P. 510-527.
5. A tutorial on IEEE 802.11ax high efficiency WLANs / E. Khorov, A. Kiryanov, A. Lyakhov, G. Bianchi // IEEE Communications Surveys and Tutorials. - 2019. - Vol. 21, № 1. - P. 197-216.
6. Kutsenko, S. M. Wi-Max in touch with tomorrow / Problems and prospects of survey, design, construction and exploiting of Northeast Asia transport systems : Students and post-graduate students' works presented at the Second International Scientific-Applied Conference. - Irkutsk: ISTU, 2010. - P. 104-106.
7. Али, А. А. Состояние и перспективы развития беспроводных телекоммуникационных технологий / А. А. Али. - Текст : непосредственный // Вестник Технологического университета. - 2016. - Т. 19, № 1. - С. 108-110.
8. Capacity analysis of reservation-based random access for broadband wireless access networks / A. Vinel, Q. Ni, D. Staehle, A. Turlikov // IEEE Journal on Selected Areas in Communications. - 2009. - Vol. 27, № 2. - P. 172-181.
9. Quad-band GSM/GPRS/EDGE polar loop transmitter / T. Sowlati, D. Rozenblit, R. Pullela [et al.] // IEEE Journal of Solid-State Circuits. - 2004. - Vol. 39, № 12. - P. 2179-2189.
10. Туляков, Ю. М. Анализ широкополосной передачи данных в современных сотовых системах подвижной наземной радиосвязи / Ю. М. Туляков, Д. Е. Шакаров, А. А. Калашников. - Текст : непосредственный // Т-Комп: Телекоммуникации и транспорт. - 2011. - Т. 5, № 1. - С. 29-33.
11. Siverts, M. LTE Positioning Accuracy Performance Evaluation / M. Siverts, G. Fokin // Lecture Notes in Computer Science. - 2015. - Vol. 9247. - P. 393-406. - DOI: 10.1007/978-3-319-23126-6_35.
12. Цифровая железная дорога и переход от сети GSM-R к LTE-R и 5G R - состоится ли он ? / М. А. Шнепс-Шнеппе, Н. О. Федорова, Г. В. Суконников, В. П. Куприяновский. - Текст : непосредственный // International Journal of Open Information Technologies. - 2017. - Т. 5, № 1. - С. 71-80.
13. A study of Lora: Long range & low power networks for the internet of things / A. Augustin, J. Yi, T. Clausen, W. M. Townsley // Sensors. - 2016. - Vol. 16, № 9. - P. 1466.
14. Литвинов, С. Н. Особенности применения систем позиционирования на производстве / С. Н. Литвинов, С. А. Ладанов, Е. И. Шеремет. - Текст : непосредственный // Динамика сложных систем — XXI век. - 2023. - Т. 17, № 2. - С. 17-26.

СТРАТЕГИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО И АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА С ЦЕЛЮ МАКСИМАЛЬНОГО ДОСТИЖЕНИЯ КАЧЕСТВА ПРЕДОСТАВЛЯЕМЫХ УСЛУГ ПО ПЕРЕВОЗКЕ ПАССАЖИРОВ В ПРИГОРОДНОМ СООБЩЕНИИ

Для реализации проектов развития и формирования системы современной транспортной инфраструктуры на территории Российской Федерации необходима разработка нормативной документации, которая бы учитывала стратегию взаимодействия различных видов транспорта в транспортно-пересадочных узлах. В статье рассмотрены преимущества и особенности разработки такой стратегии.



С.П. Вакуленко



Н.Ю. Евреенова

Ключевые слова: автомобильный транспорт, железнодорожный транспорт, пригородные перевозки, транспортно-пересадочные узлы

EDN: VKRWZM

В крупных городах и мегаполисах пригородный пассажиропоток осваивается в основном железнодорожным и автомобильным видами транспорта. Какой из них окажется предпочтительнее для пассажира, зависит от многих факторов, в числе которых стоимость поездки, ее комфорт, время следования, увязка с другими видами транспорта. Эти критерии могут быть ранжированы с выделением наиболее приоритетных. Однако проведенные исследования в этом направлении показали, что такое ранговое распределение не обладает устойчивостью, и при изменении внешних условий (по различным регионам Российской Федерации, временам года, влиянию демографических факторов) относительная значимость отдельных позиций изменяется.

Сложность выработки рекомендаций по повышению эффективности пригородных перевозок желез-

нодорожным транспортом заключается в том, что общий пассажиропоток разделяется между несколькими видами транспорта, и это разделение во многом спонтанное, случайное, зависящее от стратегии и способов привлечения пригородных пассажиров на конкретный вид транспорта. Проведенные авторами исследования позволяют утверждать, что такая политика несогласованного поведения различных видов транспорта, как правило, не приводит к полному удовлетворению потребностей основного потребителя перевозок — пассажира, который не получает заявленной услуги должного качества. Не в полной мере обеспечивается один (а чаще - несколько) критериев, указанных выше.

Традиционно выделяют технические, технологические, организационные, экономические и правовые параметры взаимодействия (рисунок).

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

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

Технические параметры взаимодействия включают унификацию и стандартизацию параметров подвижного состава видов транспорта, инфраструктуры, а также создание современных многофункциональных транспортно-пересадочных узлов.

Согласование технологических параметров важно для обеспечения перевозки пассажиров с минимальными потерями времени в транспортно-пересадочных узлах и включает в себя: согласование расписания и графика движения взаимодействующих видов транспорта, разработку единых технологических процессов работы транспортно-пересадочных узлов и контактных графиков, применение единых систем оплаты проезда (биометрия, карта «Тройка» и т.д.), применение единых систем обмена информацией о местонахождении транспорта.

Для согласования организационных параметров взаимодействия пассажирских видов транспорта создаются различные диспетчерские службы, центры управления перевозками.

Правовые параметры взаимодействия базируются на действующем законодательстве. Экономические параметры взаимодействия включают в себя разработку и согласование планов и прогнозов на пасса-

жирские перевозки различными видами транспорта, количества и структуры парка транспортных средств, стоимости проезда, определение размеров инвестиций и субсидирования.

Конечно, нельзя утверждать, что взаимодействие различных видов транспорта при оказании услуг по пригородным перевозкам означает полную кооперацию и дополнение друг друга преимуществами каждого вида транспорта. Должны существовать условия, когда в масштабе страны или отдельного региона (но не вида транспорта) оказывается выгодной кооперация ресурсов, а в другом случае — их конкуренция. Это значит, что сложившаяся инфраструктура в данном транспортном узле, парк подвижного состава железнодорожного и автомобильного транспорта, структура пригородного пассажиропотока способствуют установлению таких взаимоотношений между двумя видами транспорта, что максимальная обеспеченность перевозками необходимого качества достигается при определенном распределении всего пассажиропотока между железнодорожным и автомобильным транспортом. При этом будут существовать определенные вариации такого соотношения, возможны переходы на другие графики взаимодействия, а также иную



Рисунок. Параметры взаимодействия пассажирских транспортных систем

длительность работы. Но в таком случае устанавливается объективный критерий эффективности работы каждого вида транспорта, напрямую зависящий от потребностей заказчика перевозок. Этот критерий будет включать в себя отдельные режимы работы каждого вида транспорта, в котором могут быть предусмотрены взаимодействие (кооперация) и обособленные действия (конкуренция).

В данном случае конкуренция должна быть направлена на привлечение дополнительного пассажиропотока за счет снижения тарифа (причем, оправданного, а не путем демпинга цен), повышения комфортности поездки (за счет изменения графиков отправления и прибытия, а не активного строительства или приобретения нового подвижного состава в ущерб другим проектам). Конкуренция в таком виде рассматривается всего лишь как способ использования объективных преимуществ железнодорожного транспорта, которые будут способствовать повышению качества пригородных перевозок в целом.

Предлагаемый подход позволит получить интегральный эффект в масштабах всего народного хозяйства, в котором каждый субъект (вид транспорта) будет максимально использовать свои, только ему присущие, преимущества, определяющиеся реальными физическими законами движения в данной конкретной среде с конкретными принципами. По некоторым оценкам, пригородный железнодорожный транспорт России в соответствии со своими реальными техническими возможностями, объективно должен перевозить в 2 раза больше пассажиров, чем в настоящее время. И если на железной дороге будет разработана соответствующая стратегия взаимодействия с автомобильным транспортом, то это позволит формировать такие мультимодальные перевозки, в которых доля пригородного железнодорожного транспорта будет еще выше указанной теоретической оценки. Этот результат не связан напрямую с тем фактом, что некоторый пассажиропоток перейдет с автотранспорта. Синергетический эффект в основном будет получен за счет привлечения пассажиров с прочих видов транспорта (городского, речного, личного), а также увеличения количества поездок каждого пассажира в пригородном сообщении. Железнодорожный транспорт станет с точки зрения пассажира настолько привлекательным для поездок, что будет выгодно их совершать в большем объеме, чем в настоящее время. Некоторые экспертные оценки указывают на 25% увеличение миграционной способности населения в пригородном сообщении.

Потенциал пригородного железнодорожного транспорта связан с двумя основными позициями, которые позволят ему выполнять свои функции перевозчика в

высокоэффективном режиме по критериям экономической системы, в которую входят железнодорожный, автомобильный транспорт, пассажиропотоки и др.

1. Техническое и технологическое оснащение транспорта, включающее в себя существующую инфраструктуру, достигнутый уровень технологии производства операций по организации перевозок пригородных пассажиров, интеллектуальный потенциал специалистов всех профилей и уровней.

2. Преимущества железнодорожного транспорта, которые связаны с его физическими, механическими, организационными особенностями, позволяющими ему получить определенные объективные предпочтения в виде дополнительно привлеченного пассажиропотока, перевозимого железной дорогой с максимальным эффектом по критериям внетранспортного характера.

Первую позицию можно назвать техническим обеспечением потенциала пригородного железнодорожного транспорта, вторую — транспортным обеспечением потенциала (определяющим самой сутью вида транспорта, включающую специфические особенности, которыми не обладает автомобильный транспорт).

Безусловно, самой эффективной мерой привлечения большого пригородного пассажиропотока на железнодорожный транспорт является полный переход на самые совершенные и перспективные перевозочные средства. Приобретение комфортабельного высокоскоростного подвижного состава с непропорционально низкими тарифами на перевозку пассажиров и развитой инфраструктурой вокзалов и транспортно-пересадочных пунктов сразу решат многие проблемы обеспеченности транспорта пассажиропотоком. Однако этот путь требует значительного времени для своей реализации, и самое главное, — существенных финансовых средств с необходимостью их последующего возврата и окупаемости. Современные технические средства для обеспечения пригородных перевозок и соответствующая обслуживающая инфраструктура оказываются достаточно дорогостоящими, чтобы на начало плановой эксплуатации гарантировать доступные тарифы для пассажиров. Поэтому прежде чем сразу переходить на новые и совершенные технологии и технику, следует определить резерв в существующей организации пригородных перевозок и увязать реализацию этого резерва с модернизацией всего пригородного железнодорожного хозяйства.

По-видимому, должно существовать некоторое установленное распределение пригородного пассажиропотока между железнодорожным и автомобильным видами транспорта, которое позволит с предельно

высокой эффективностью для экономики страны использовать оба вида транспорта. Это распределение будет зависеть от целого ряда факторов и условий, оно будет колебаться в некотором диапазоне во времени (например, зависеть от сезонности перевозок пригородных пассажиров). Если дать такую картину и по ней соответствующие рекомендации, то выход будет весьма интересным и практически актуальным. 

Литература

1. Вакуленко, С. П. Теоретические аспекты механизмов взаимодействия в транспортных системах / С. П. Вакуленко, О. Н. Ларин, С. Б. Левин. - Текст : непосредственный // Мир транспорта. - 2014. - Т. 12, №6(55). - С. 14-27.
2. Ларин, О. Н. Методологические аспекты интеграции различных видов транспорта в единую систему / О. Н. Ларин. - Текст : непосредственный // Вестник транспорта. - 2007. - № 7. - С. 10-13.
3. Резер, С. М. Взаимодействие транспортных систем / С. М. Резер ; ответственный редактор А. Ф. Волков. - Москва : Наука, 1985. - 246 с. - Текст : непосредственный.
4. Козлов, П. А. Проблема организации единой транспортной системы / П. А. Козлов, Н. А. Тушин, В. С. Колокольников. - Текст : непосредственный // Современные информационные технологии и ИТ-образование. - 2018. - Т. 14, № 3. - С. 748-755. - DOI 10.25559/SITITO.14.201803.748-755.
5. Евреенова, Н. Ю. Управление пассажиропотоком крупнейших ТПУ / Н. Ю. Евреенова, К. А. Калинин. - Текст : непосредственный // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. - 2021. - № 3(83). - С. 105-113. - DOI: 10.46973/0201-727X_2021_3_105.
6. О принципах расчёта транспортных узлов / П. А. Козлов, С. П. Вакуленко, В. П. Козлова, Н. Ю. Евреенова. - Текст : непосредственный // Мир транспорта. - 2021. - Т. 19, № 4 (95). - С. 6-12. - DOI 10.30-932/1992-3252-2021-19-4-1.
7. Принципы построения единого расписания движения подвижного состава для пассажиров железнодорожного и городских видов транспорта / С. П. Вакуленко, А. К. Головнич, Н. Ю. Евреенова, М. Н. Прокофьев. - Текст : непосредственный // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. - 2024. - № 3. - С. 20-23. - DOI 10.36535/0236-1914-2024-03-3.
8. Бородин, А. Ф. О методических принципах организации взаимодействия железнодорожных направлений и узлов / А. Ф. Бородин. - Текст : непосредственный // Тихомировские чтения: синергия технологии перевозочного процесса : материалы Международной научно-практической конференции ; под общей редакцией А. А. Ерофеева, Гомель, 10-11 декабря 2020 года. - Гомель : Учреждение образования «Белорусский государственный университет транспорта», 2021. - С. 34-38.
9. Ефимов, Р. А. Организация согласованности графиков движения различных видов транспорта в транспортно-пересадочном узле / Р. А. Ефимов, А. Е. Полякова. - Текст : непосредственный // Фёдор Петрович Кочнев - выдающийся организатор транспортного образования и науки в России : труды Международной научно-практической конференции, Москва, 22-23 апреля 2021 года / Ответственный редактор А. Ф. Бородин, составитель Р. А. Ефимов. - Москва : Российский университет транспорта, 2021. - С. 281-292.
10. Роменский, Д. Ю. Разработка принципов формирования клиентоориентированного графика движения поездов в пригородно-городских пассажирских перевозках / Д. Ю. Роменский, К. А. Калинин, М. В. Кулалаева. - Текст : непосредственный // Интеллектуальные транспортные системы : материалы II Международной научно-практической конференции, Москва, 25 мая 2023 года. - Москва : Российский университет транспорта, 2023. - С. 330-337. - DOI 10.30932/9785002182794-2023-330-337.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АЛГОРИТМА ОЦЕНКИ СВОЙСТВ ЦИКЛИЧЕСКОГО КОДА В СИСТЕМАХ ДИСПЕТЧЕРСКОЙ ЦЕНТРАЛИЗАЦИИ

В статье предложен алгоритм сокращенного перебора, позволяющий кратно уменьшить ресурсоемкость и время расчета количества необнаруженных трансформаций циклического кода по сравнению с алгоритмом полного перебора.



А.Н. Малых



А.Н. Малых

Ключевые слова: железнодорожная автоматика и телемеханика, диспетчерская централизация, циклические коды

EDN: ENZQPE

Одним из основополагающих требований, предъявляемых к современным системам железнодорожной автоматики и телемеханики, является их соответствие нормативным значениям показателей надежности и функциональной безопасности.

В документе [1] установлены следующие требования к реализации функций телеуправления (ТУ) и телесигнализации (ТС) системами диспетчерской централизации (ДЦ):

- вероятность трансформации сигнала ТС не более 10^{-10} ;
- вероятность потери сигнала ТС не более 10^{-8} ;

- вероятность возникновения ложного сигнала ТС при отсутствии передачи не более 10^{-12} ;
- вероятность трансформации сигнала ТУ не более 10^{-14} ;
- вероятность потери сигнала ТУ не более 10^{-10} ;
- вероятность генерации ложной команды ТУ при отсутствии передачи не более 10^{-12} ;
- интенсивность опасных отказов технических средств передачи и реализации ответственных команд должна быть не более $3 \cdot 10^{-11}$ 1/ч на одну команду.

При реализации неотвеченных команд ТУ, непосредственно не связанных с обеспечением безопасно-

Малых Александр Николаевич, старший преподаватель кафедры «Системы управления транспортной инфраструктурой» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: влияние надежности и эффективности систем железнодорожной автоматики и телемеханики на перевозочный процесс. Автор 23 научных работ.

Малых Алексей Николаевич, ассистент кафедры «Системы управления транспортной инфраструктурой» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: имитационное моделирование технологических процессов на железнодорожном транспорте. Автор 12 научных работ.

Орлов Александр Валерьевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Системы управления транспортной инфраструктурой» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: эффективность технических систем. Автор 95 научных работ.

Смыслов Алексей Владимирович, аспирант кафедры «Системы управления транспортной инфраструктурой» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: анализ надежности, безопасности и эффективности систем телеуправления на железнодорожном транспорте. Автор пяти научных работ.

Тарадин Николай Александрович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Системы управления транспортной инфраструктурой» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: надежность и безопасность функционирования инфраструктуры на железнодорожном транспорте. Автор 60 научных работ.

сти движения поездов, к системам ДЦ предъявляются требования по достоверности передачи информации. При определении достоверности используются следующие методы: экспертные, расчетные, испытания на машинных моделях, а также испытания системы в условиях эксплуатации [2]. Расчетные методы могут быть использованы для определения передачи информации аппаратурой ДЦ и достоверности передачи информации в каналах ТУ и ТС.

Сложная структура аппаратного обеспечения системы и использование при передаче длинных сообщений, к которым относятся сигналы ТУ и ТС, приводят к тому, что точный расчет вероятностных характеристик практически невозможен. Поэтому при расчетах используется верхняя оценка вероятности искажения сигналов ТУ и ТС при известном классе кода, длины кодовой комбинации n , числе контрольных разрядов r и числе информационных разрядов k .

Рассмотрим алгоритм сокращенного перебора, позволяющий многократно снизить вычислительные ресурсы при расчете количества необнаруженных трансформаций циклического кода с целью доказательства безопасности передачи данных в системах ДЦ.

Для обеспечения требуемого уровня надежности и безопасности передачи данных в системах телеуправления на железнодорожном транспорте широко применяются помехозащищенные коды [3]. Одним из наиболее часто используемых видов таких кодов являются циклические коды [4].

В частности, в ГОСТ Р 59263-2020 [5] среди прочих рекомендуется применение стандартных интерфейсов CAN и Ethernet, в которых в качестве проверки целостности кадров (frame check sequence) обычно применяется CRC (cyclic redundancy check), например, CRC-16 и CRC-16-CCITT. Для генерации кода CRC-16 и CRC-16-CCITT используется полином шестнадцатой степени, соответственно, контрольная часть такого кода состоит из шестнадцати разрядов. Для этих видов кодов установлено, что минимальное кодовое расстояние $d_{\min} = 4$ и код способен гарантированно обнаруживать все ошибки нечетной кратности.

Для расчета количества необнаруженных трансформаций кода CRC-16-CCITT авторами предложены математическая модель и алгоритм, которые позволяют с помощью перебора рассчитать количество необнаруженных трансформаций $N_{\text{нт}}$ для сообщения заданной длины n и заданного значения кратности ошибки k . Кратность ошибки k указывает на то, сколько бит в принятом сообщении изменило свое значение на противоположное («1» в исходном

сообщении трансформируется в «0» в принятом, а «0» трансформируется в «1»). Предполагается, что появление ошибок равновероятно по всей длине сообщения, вероятность их появления характеризуется коэффициентом битовых ошибок BER (bit error gate).

Для имитации воздействия помех на отправленное сообщение реализован алгоритм полного перебора возможных вариантов сочетаний трансформированных битов. Исходное сообщение заданной длины поразрядно суммируется по модулю два (исключающее «ИЛИ» или XOR) со сформированными неповторяющимися шаблонами ошибок, которые представляют собой вектор, равный длине исходного сообщения n , состоящего из k единиц и $(n-k)$ нулей.

Число шаблонов ошибок $N_{\text{ш}}(n, k)$, равное количеству проводимых проверок, можно вычислить по формуле

$$N_{\text{ш}}(n, k) = C_n^k,$$

где n — длина исходного сообщения; k — кратность ошибки.

При реализации алгоритма при каждой проверке искаженное сообщение делится на образующий полином и в случае, если результат деления равен нулю, считается, что произошла необнаруженная трансформация. В этом случае, переменная-счетчик, которая отвечает за подсчет количества необнаруженных трансформаций, увеличивает свое значение на 1. Блок-схема данного алгоритма представлена на рис. 1.

Анализ данного алгоритма показывает, что количество необнаруженных трансформаций $N_{\text{нт}}$ и количество шаблонов ошибок $N_{\text{ш}}$ для сообщений с заданной длиной n и кратностью ошибки k не зависят от содержания исходного сообщения.

При определении количества необнаруженных трансформаций $N_{\text{нт}}$ для относительно коротких сообщений ($n=152$ бит) и кратности ошибки $k=4$, расчет происходит сравнительно быстро: около двух минут. При этом количество сформированных шаблонов ошибок равно:

$$N_{\text{ш}}(152, 4) = C_{152}^4 = 21\,374\,050 \text{ шаблонов.}$$

Однако, увеличение длины отправляемого сообщения n и/или увеличение кратности ошибки k приводит к существенному росту количества возможных шаблонов ошибок $N_{\text{ш}}$. Например, расчет количества необнаруженных трансформаций $N_{\text{нт}}$ для сообщений длиной $n=1000$ бит и кратностью ошибки $k=4$ будет проводиться в течение нескольких суток (количество шаблонов ошибок: $N_{\text{ш}}(1000, 4) = C_{1000}^4 = 41\,417\,124\,750$). При

большей длине сообщения n или кратностях ошибок k расчет становится еще более ресурсоемким.

В задачах, связанных с комбинаторикой, описанная выше проблема получила соответствующее название — «проклятие размерности»: с ростом размера исходных данных происходит быстрый рост сложности переборных алгоритмов [6].

Для решения вышеописанной проблемы авторами был разработан метод, позволяющий проводить перебор не всех возможных шаблонов ошибок $N_{\text{ш}} = C_n^k$, а лишь некоторой части — $N_{\text{ш}}'$, что значительно снижает

продолжительность расчетов при полном совпадении результатов вычислений. Количество действий в сокращенном алгоритме по сравнению с алгоритмом полного перебора будет равно:

$$N'_{\text{ш}} = \frac{k}{n} \cdot N_{\text{ш}} = \frac{k}{n} \cdot C_n^k.$$

Сравнительная оценка объемов вычислений количества необнаруженных трансформаций в сообщении длиной n и кратностью ошибки k при использовании алгоритма с полным перебором шаблонов ошибок и

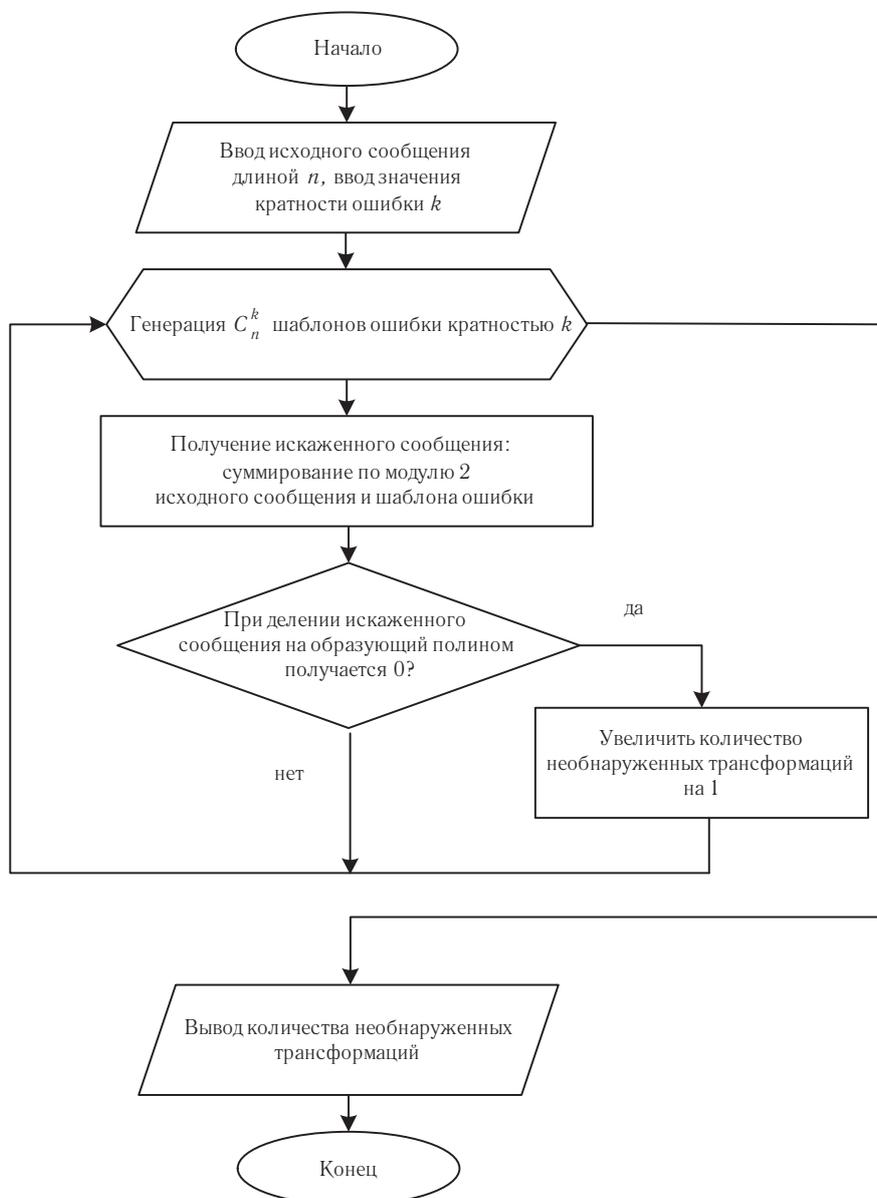


Рис. 1. Блок-схема алгоритма для поиска количества необнаруженных трансформаций, основанного на полном переборе всех возможных шаблонов ошибок

Таблица 1

**Сравнительная оценка алгоритмов расчета количества
необнаруженных трансформаций**

Длина сообщения в битах, n	Кратность ошибки, k	Количество действий при полном переборе всех шаблонов ошибки, $N_{\text{ш}} = C_n^k$	Количество действий при сокращенном алгоритме перебора	Отношение количества действий при полном переборе к количеству действий при сокращенном алгоритме
48	4	194 580	16 215	$\frac{194580}{16215} = \frac{n}{k} = \frac{48}{4} = 12$
48	6	12 271 512	1 533 939	$\frac{12271512}{1533939} = \frac{n}{k} = \frac{48}{6} = 8$
152	4	21 374 050	562 475	$\frac{21374050}{562475} = \frac{n}{k} = \frac{152}{4} = 38$
152	6	15 500 461 060	407 906 870	$\frac{15500461060}{407906870} = \frac{n}{k} = \frac{152}{6} = 25,33$

предложенного сокращенного алгоритма перебора показана в табл. 1.

Разработанный метод основан на свойствах циклического кода: в списке шаблонов ошибок, приводящих к необнаруженным трансформациям, зафиксированы паттерны, анализ которых дал возможность рассчитать количество необнаруженных трансформаций без проведения полного перебора. Блок-схема алгоритма для нахождения количества необнаруженных трансформаций с помощью сокращенного перебора шаблонов ошибок представлена на рис. 2.

Для сравнения двух рассмотренных выше алгоритмов на рис. 3 представлен полный список шаблонов ошибок, приводящих к необнаруженным трансформациям для сообщения длиной $n=48$ бит. На рис. 4 представлен список шаблонов ошибок, приводящих к необнаруженным трансформациям, но полученный с помощью алгоритма сокращенного перебора. Список на рис. 3 содержит 48 шаблонов ошибок, приводящих к необнаруженным трансформациям ($N_{\text{шт}}=48$ по количеству строк), а список на рис. 4 содержит всего две строки.

При анализе списка шаблонов на рис. 3, полученного с помощью полного перебора, можно обнаружить, что в нем есть повторяющиеся комбинации

нулей и единиц — «паттерны». Таких паттернов всего два: они представлены в списке на рис. 4.

Паттернами в данном случае будем называть наборы из «1» и «0», которые содержат в себе четыре «1» (так как кратность ошибок $k=4$), т.е.:

Pattern 1: 10001000000100001

Pattern 2: 100000001000000000000010000000001

Для того, чтобы определить количество необнаруженных трансформаций $N_{\text{шт}}$ с помощью предлагаемого метода сокращенного перебора в строках, содержащих паттерны, подсчитывается количество символов «0» справа от самих паттернов. Это обусловлено тем, что в полном списке шаблонов, приводящих к необнаруженным трансформациям, паттерн «циклически сдвигается вправо» — количество таких сдвигов как раз определяется количеством символов «0» справа от паттернов.

Очевидно, что для рассмотренного случая в полученном списке шаблонов, приводящих к необнаруженным трансформациям, чаще будет повторяться Pattern 1, так как его длина меньше, чем длина Pattern 2. Так, на рис. 5 видно: в строке 32 Pattern 2 «полностью сдвинулся вправо» и не может больше повторяться, далее со строки 33 повторяется только более короткий Pattern 1.

Количество необнаруженных трансформаций, определяемых предлагаемым методом сокращенного перебора, можно рассчитать по формуле

$$N_{\text{нт}} = N_{\text{пат}} + \sum_{i=1}^{N_{\text{пат}}} (n - l_{\text{пат } i}),$$

где n — длина сообщения;

$l_{\text{пат } i}$ — длина i -го паттерна;

$N_{\text{пат}}$ — количество паттернов в списке шаблонов, приводящих к необнаруженным трансформациям.

Для рассмотренного на рис. 5 случая количество необнаруженных трансформаций определяется суммой количества паттернов (2) и количества символов «0» справа от паттернов 1 и 2 (31 и 15), т.е.

$$N_{\text{нт}} = 2 + 31 + 15 = 48.$$

Таким образом, предложенный алгоритм сокращенного перебора позволяеткратно уменьшить ресурсоемкость и время расчета количества необнаруженных трансформаций циклического кода по сравнению с алгоритмом полного перебора. 

Литература

1. ГОСТ 33896-2016. Системы диспетчерской централизации и диспетчерского контроля движения поездов. Требования безопасности и методы контроля = centralized traffic and dispatching control systems of trains movement. Safety requirements and methods of checking : национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 31 марта 2017 г. № 235-ст.: введен впервые : дата введения 2017-11-01. - Москва : Стандартинформ, 2019. - 11 с. - Текст : непосредственный.
2. Горелик, А. В. Технологическая эффективность процесса проектирования систем железнодорожной автоматики и телемеханики : специальность 05.22.08. «Управление процессами перевозок» : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Горелик Александр Владимирович. - Москва, 2005. - 384 с. - Текст : непосредственный.
3. Системы диспетчерской централизации : учебник / Д. В. Гавзов, О. К. Дрейман, В. А. Кононов, А. Б. Никитин. - Москва : Издательство «Маршрут», 2002. - 407 с. - 5-89035-074-9. - Текст : электронный // УМЦ ЖДТ: электронная библиотека. - URL: <https://umczdt.ru/books/1196/225875/> (дата обращения: 18.12.2024). - Режим доступа: по подписке.
4. Шубинский, И. Б. Функциональная надежность информационных систем: методы анализа / И. Б. Шубинский. - Москва : Журнал «Надежность», 2012. - 295 с. - Текст : непосредственный.
5. ГОСТ Р 59263-2020. Системы и устройства железнодорожной автоматики и телемеханики микропроцессорные. Требования к интерфейсам и протоколам обмена информацией = Microprocessor systems and devices of railway automatics and telemechanics. Requirements for interfaces and information exchange protocols: национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 15 декабря 2020 г. № 1317-ст.: введен впервые: дата введения 2021-06-01. - Москва : Стандартинформ, 2020. - 11 с. - Текст : непосредственный.
6. Richard Ernest Bellman; Rand Corporation. Dynamic programming. - Princeton University Press, 1957. - ISBN 978-0-691-07951-6.

ОБОБЩЕНИЕ ОПЫТА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПРЕДИКТИВНОЙ АНАЛИТИКИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Целью статьи является синтез иерархии моделей предиктивной аналитики, реализуемых для объектов и субъектов, функционирующих в ОАО «РЖД». Выполнен синтез семантической сети моделей, вершиной которой является метаонтология на основе онтологий предметных областей и прикладных онтологий, применимых к железнодорожному транспорту. Приведены примеры, подтверждающих реализуемость предложенных иерархий.

Ключевые слова: интеллектуальные транспортные системы, прогнозирование, моделирование

EDN: ANLBHL



М.А. Кулагин



В.Г. Сидоренко

В Стратегии цифровой трансформации транспортной отрасли Российской Федерации поставлены задачи цифровизации управления транспортной системой Российской Федерации и транспортной безопасностью на базе использования цифровых двойников объектов транспортной инфраструктуры [1]. Решение этих задач может быть выполнено при создании развитого и взаимосвязанного множества интеллектуальных транспортных систем (ИТС), обеспечивающих заданный уровень мобильности населения, максимизацию показателей использования транспортной инфраструктуры, повышение безопасности и эффективности транспортного процесса, комфортности для работников и пользователей транспорта. Это достигается путем автоматизированного поиска и принятия к реализации

максимально эффективных сценариев управления на основе использования комбинации различных методов управления, оптимизации и машинного обучения.

Опыт создания ИТС позволил выявить общие черты и подходы к решению родственных задач применительно к различным объектам железнодорожного транспорта. Существует множество работ, посвященных созданию интеллектуальных систем, применяемых при решении задач предиктивной аналитики, внедрение которых оказывает значительное влияние на безопасность движения и эффективность использования имеющихся ресурсов.

Выполненный авторами анализ этих работ, а также личный опыт создания методов и средств предиктивной аналитики позволил сформулировать цель статьи,

Кулагин Максим Алексеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Управление и защита информации» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)), начальник центра искусственного интеллекта Акционерного общества «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (АО «ВНИИЖТ»). Область научных интересов: применение технологий искусственного интеллекта при построении систем предиктивной аналитики и видеоаналитики на транспорте, построение языковых моделей. Автор 33 научных работ. Имеет один патент на изобретение.

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

которая заключается в синтезе иерархии моделей предиктивной аналитики, реализуемых для объектов и субъектов, функционирующих в ОАО «РЖД».

Решение задач предиктивной аналитики можно считать частью процессов планирования, если ее результаты должны быть учтены при создании планов (графиков) работ конкретных объектов или частью оперативного управления, если ее результаты получаются и применяются в режиме реального времени в ходе управления конкретными объектами.

Авторы считают также значимым показать взаимосвязь трех классов объектов: люди, техника, документы.

Материалы и методы

Основными задачами управления транспортной системой страны и ее составляющими, а также транспортной безопасностью наряду с удовлетворением потребностей заказчиков и развитием производственного потенциала являются предотвращение инцидентов безопасности и минимизация их последствий. Рассмотрим задачи предиктивной аналитики — действенного средства предотвращения инцидентов безопасности и построения соответствующих моделей.

Одним из способов снижения вероятности возникновения различных опасных событий, предотвращения инцидентов, является прогнозирование их возникновения, решение задач предиктивной аналитики с целью выявления предостерегающих состояний или таких состояний, достижение которых повышает риск возникновения опасного события.

Проведенные исследования позволили выявить общие подходы к решению подобных задач применительно к различным классам объектов, оказывающих влияние на функционирование железнодорожного транспорта. Авторами построена иерархия моделей, позволяющая объединить накопленный в этом направлении опыт (рис. 1).

Такие различные родительские классы объектов, как люди, техника и документы, предлагается объединить в единый метакласс и создать метаонтологию, описывающую наиболее общие понятия, которые не зависят от предметных областей. Синтез метаонтологии проводится на основе анализа уже существующих и проверенных временем онтологий предметных областей и прикладных онтологий (онтологий конкретных задач) применительно к железнодорожному транспорту. Исследования показали, что для решения задач предиктивной аналитики во всех случаях используется аналогичная последовательность действий. На метауровне (надобъектном уровне) она может быть представлена замкнутой системой управления, аналогичной циклу Деминга (рис. 2). При переходе к менее обобщенным уровням моделирования действия в рамках этого цикла конкретизируются и модифицируются с учетом особенностей конкретного объекта. С точки зрения объектно-ориентированного подхода к программированию это соответствует принципам наследования и полиморфизма. Примеры адаптации этого цикла к решению задач прогнозирования совершения нарушений машинистами приведены в работах [2;3].



Рис. 1. Иерархия моделей предиктивной аналитики

Классификация по родительским классам (люди, техника и документы) влияет на выбор словаря, языка описания задач с точки зрения предметно-ориентированного подхода к проектированию (domain-driven design, DDD), что нашло отражение в табл. 1 в строках «Целевая функция», «Примеры признаков», «Примеры управленческих решений». Выполненный авторами анализ работ в области применения цифровых технологий на транспорте нашел отражение в строке «Примеры применения цифровых технологий» и стал фундаментом для построения данной таблицы, проектирование которой велось снизу вверх: от частного к общему.

Различие между такими типами объектов, как «Прогнозируемые» и «Наблюдаемые» заключается в следующем. В отношении «Прогнозируемых» объектов возможно проведение аналитических и предиктивных действий до момента начала их функционирования (выхода в рейс, отправления с конкретной станции) с целью выявления предотказных состояний с последующим учетом полученных прогнозов на

этапе планирования. В отношении «Наблюдаемых» такое предсказание затруднено, так как отсутствует статистика в отношении конкретных объектов и возможно только наблюдение в режиме реального времени и индикация тех состояний, наступление которых повышает вероятность наступления неблагоприятного исхода. Поскольку для таких объектов могут быть определены действия, которые позволяют вывести их в такие состояния, при которых вероятность возникновения инцидента ниже, то решающие такие задачи системы также предлагается отнести к классу систем предиктивной аналитики. Решение задач предиктивной аналитики по отношению к подобным объектам является частью процесса оперативного управления. Этот уровень классификации оказывает влияние на постановку задачи и выбор целевой функции.

Указанные два уровня классификации задают некоторую матричную структуру моделей и могут меняться между собой местами в предложенной иерархии. Это можно проиллюстрировать табл. 2.

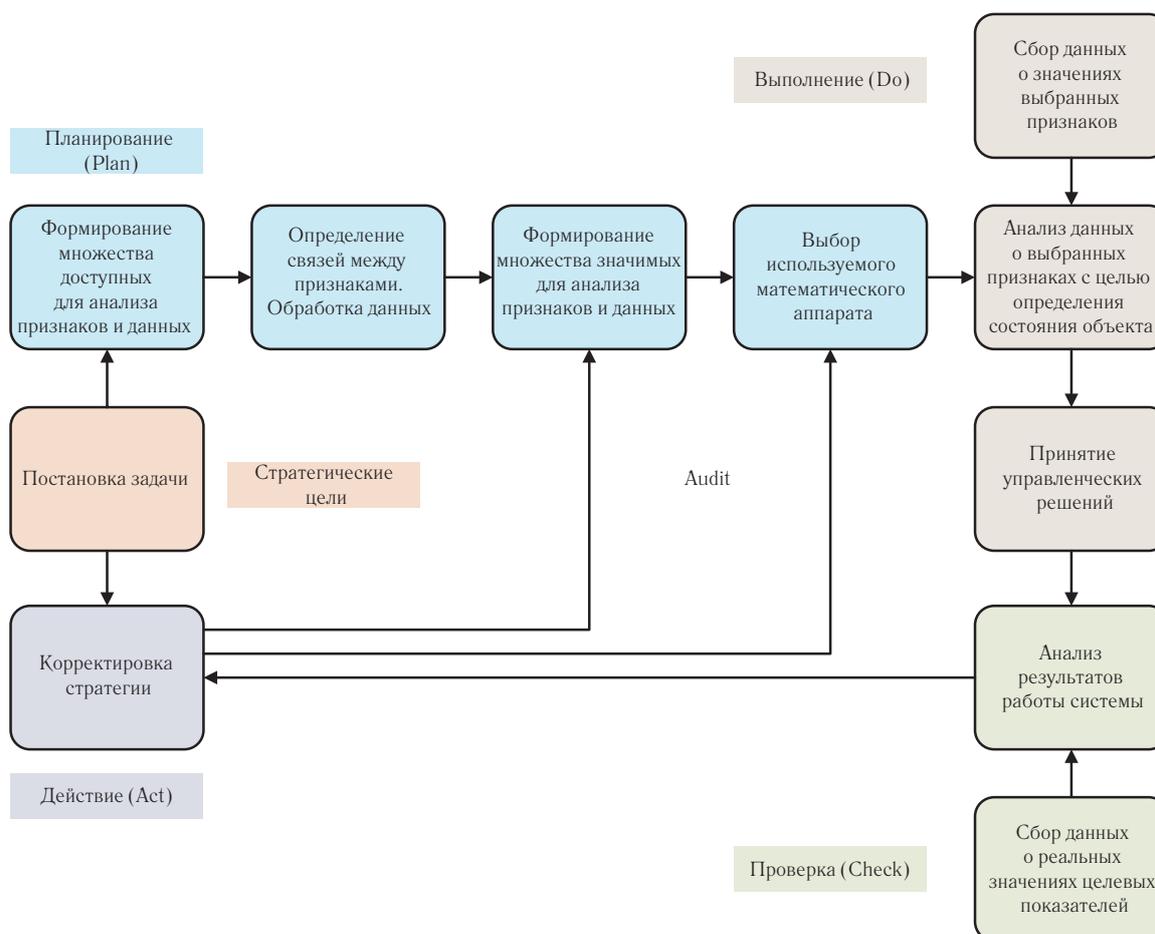


Рис. 2. Обобщенный алгоритм функционирования системы предиктивной аналитики

Таблица 1

Классификация объектов и субъектов предиктивной аналитики

Класс объекта		Люди		Техника, инфраструктура			Документы	
1		2		3			4	
Мета объект								
Тип объекта Прогнозируемые /Наблюдаемые объекты	Прогнозируемые	Наблюдаемые		Прогнозируемые			Наблюдаемые	Прогнозируемые
	Машинист	Посторонний человек на путях/переезде	Сотрудник на путях на рабочем месте	Подвижной состав			Посторонний автомобиль на переезде	«Путевой лист», График исполненного движения
Серия объектов внутри типа Род занятий человека/ Тип техники /Тип документа	Машинист	Посторонний человек на путях/переезде	Сотрудник на путях на рабочем месте	Электровозы	Тепловозы	Мотор-вагонный подвижной состав	Посторонний автомобиль на переезде	«Путевой лист», График исполненного движения
	Поездки машинистов/ Состояние работы машиниста на конкретный момент времени	Кадр с человеком на путях/переездах	Кадр с сотрудниками на рабочем месте	Серия электровозов	Серия тепловозов	Серия моторвагонов	Кадр с автомобилем	Документ заданного типа с уникальным идентификационным номером
Экземпляры данной серии объектов	Поездки машинистов/ Состояние работы машиниста на конкретный момент времени	Кадр с человеком на путях/переездах	Кадр с сотрудниками на рабочем месте	Оборудование на секции	Оборудование на секции	Оборудование на секции	Кадр с автомобилем	Документ заданного типа с уникальным идентификационным номером
	Прогнозирование возникновения нарушений в работе	Прогнозирование своевременности освобождения переезда	Наличие спецодежды	Прогнозирование возникновения аномалий в функционировании тяговых электродвигателей и выхода из строя			Прогнозирование своевременности освобождения переезда	Отслеживание соблюдения маршрута и корректировка по мере продвижения груза (со-става), прогнозирование возможных отклонений от заданной точки назначения или запаздываний относительно заданного срока доставки (при-бытия)
Целевая функция	Прогнозирование возникновения нарушений в работе	Прогнозирование своевременности освобождения переезда	Наличие спецодежды	Прогнозирование возникновения аномалий в функционировании тяговых электродвигателей и выхода из строя			Прогнозирование своевременности освобождения переезда	Отслеживание соблюдения маршрута и корректировка по мере продвижения груза (со-става), прогнозирование возможных отклонений от заданной точки назначения или запаздываний относительно заданного срока доставки (при-бытия)

Табл. 1. Продолжение

1	2			3		4
	Статистика поездок и нарушений	Видео-изображение	Видео-изображение	Результаты измерений электрических и других параметров	Видео-изображение	
Примеры управленческих решений	Проведение профилактических мероприятий	Включение звуковой сигнализации на переезде	Предупреждение о нарушении техники безопасности	Проведение осмотра/ремонта	Включение звуковой сигнализации на переезде	Проверка и корректировка маршрута (сопоставление оптимального графика движения), уведомление заинтересованных лиц
Примеры применения цифровых технологий	[2–4]	[5;6]	[7;8]	[9–19]	[20;21]	[1;22;23] [24]

Таблица 2

Классификация задач предиктивной диагностики

Тип	Родительский класс	
	Люди	Техника, инфраструктура
Прогнозируемый	Прогнозирование возникновения отклонений поведения от нормы (плана)	
Наблюдаемый	Анализ допустимости нахождения в заданном месте в заданное время в текущем состоянии (наличие спецодежды или содержание документа)	

Схожесть подходов к решению задач предиктивной диагностики заданного типа вне зависимости от родительского класса объекта отражает содержание табл. 3.

Следующий уровень иерархии – классы объектов в зависимости от особенностей их конструкции (тип техники и конкретная серия) или участия в производственном процессе транспортной системы (посторонний человек или работник определенной специальности). Этот уровень классификации определяет множество признаков, доступных для анализа.

В табл. 1 приведены лишь некоторые примеры направлений предиктивной аналитики, которые иллюстрируют предложенную классификацию объектов и иерархию объектов. В табл. 1 даны ссылки на объекты цифровизации железнодорожного транспорта, функционирование которых показало эффективность использования рассматриваемых подходов. Применительно к прогнозированию аномалий в работе и опасных состояний транспортной техники и инфраструктуры известны работы по прогнозированию отказов в системе электроснабжения и путевом хозяйстве, опасных состояний сооружений. Во всех рассмотренных примерах широко применяются методы машинного обучения и анализа временных рядов.

На основе выполненного обобщающего анализа накопленного опыта и выявления общих черт процессов предиктивной аналитики, реализуемых применительно к различным видам ресурсов, возможно

выделение и построение шаблонов проектирования программного обеспечения соответствующих интеллектуальных систем. Одновременно в ходе сбора данных и выполнения экспериментов происходит наполнение баз данных и баз знаний интеллектуальных транспортных систем.

Определенные в работе запросы к системам предиктивной аналитики (см. табл. 2) нацелены на получение положительного эффекта от внедрения соответствующих интеллектуальных систем.

Обсуждение и заключение (общие выводы, область применения)

В статье выполнено обобщение опыта, накопленного в ходе выполненных авторами исследований в части построения интеллектуальных систем предиктивной аналитики на железнодорожном транспорте. Научная новизна полученных в статье результатов заключается в следующем:

- построена иерархия моделей объектов предиктивной аналитики, отражающая выявленные общие и отличительные черты производственных и человеческих ресурсов разных классов с точки зрения задач предиктивной аналитики и управления, что позволило интегрировать результаты практического использования известных авторам интеллектуальных систем предиктивной аналитики;
- выявлены общность требований к системам предиктивной аналитики для ресурсов разных типов и подходов к постановке и решению поставленных

Таблица 3

Подходы к решению задач предиктивной диагностики

Вопрос	Объект		Документальное сопровождение, подтвержденное опасности
	Работник/Оборудование		
	Несет опасность	Подвержен опасности	
Через какой промежуток времени произойдет опасное событие заданного типа с заданной вероятностью?	Задача регрессии (например, градиентный бустинг)	Задача трекинга (алгоритмы компьютерного зрения)	–
Какова вероятность того, что опасное событие заданного типа произойдет на заданном пользователю горизонте времени?	Задача классификации (например, градиентный бустинг или наивный байесовский классификатор)	–	–
Детектированы ли аномалии у объекта (в поведении человека или работе оборудования)?	Анализ временных рядов (например, автокодировщики)	Задача детектирования и распознавания (алгоритмы компьютерного зрения)	Использование смарт-контрактов

задач, а также особенности этих требований в зависимости от класса анализируемого объекта, что позволит адаптировать накопленную базу знаний методов предиктивной аналитики к особенностям конкретного объекта.

Практическая ценность полученных результатов заключается в том, что эти результаты могут стать основой единой методологии создания и развития разветвленной сети интеллектуальных транспортных систем: позволят создать инструменты, облегчающие разработку подобных систем, задающие их типовую структуру (фреймворк) и множество шаблонов проектирования программного обеспечения таких систем. 

Литература

1. Опыт и перспективы автоматизации управления перевозочным процессом скоростного транспорта городских агломераций / В. Г. Сидоренко, Е. В. Копылова, А. И. Сафронов, М. А. Туманов. - Текст : непосредственный // Автоматика на транспорте. - 2023. - Т. 9, № 1. - С. 33-48.
2. Kulagin, M. Transport workers activities analysis using an artificial neural network / M. Kulagin, V. Sidorenko // International Conference on Intelligent Information Technologies for Industry. - 2018. - P. 308-316.
3. Kulagin, M. A Recommender Subsystem Construction for Calculating the Probability of a Violation by a Locomotive Driver using Machine-learning Algorithms / M. Kulagin, V. Sidorenko // 2020 IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS). - 2020. - P. 1-5.
4. Кулагин, М. А. Оценка экономической эффективности профилактических мероприятий по сокращению числа нарушений при управлении подвижным составом / М. А. Кулагин, В. Г. Сидоренко. - Текст : непосредственный // Надежность. - 2022. - Т. 22, № 4. - С. 37-44.
5. Ивашевский М. Р. Системы видеонаблюдения на железнодорожном транспорте / М. Р. Ивашевский. - Текст : непосредственный // Мир транспорта. - 2019. - Т. 17, № 5. - С. 298-314.
6. Журавлёва, Л. М. Снижение аварийных рисков с помощью систем интеллектуального видеонаблюдения / Л. М. Журавлёва, А. П. Богачёв, Н. В. Яцкиевский. - Текст : непосредственный // Мир транспорта. - 2017. - № 3. - С. 206-212.
7. Сенников, А. В. Разработка алгоритма детектирования средств индивидуальной защиты на видеоданных / А. В. Сенников, А. Ф. Стефаниди. - Текст : непосредственный // Новые информационные технологии и системы (НИТиС-2021). Пенза, 24-26 ноября 2021 года : сборник научных статей по материалам XVIII Международной научно-технической конференции. - Пенза : Пензенский государственный университет. - С. 150-155.
8. Современный метод детектирования средств индивидуальной защиты для лица с использованием технического зрения и глубокого машинного обучения / Ларичев Д. В. [и др.]. - Текст : непосредственный // Состояние и перспективы развития современной науки по направлению «Техническое зрение и распознавание образов» : сборник статей II Всероссийской научно-технической конференции. Том 2. Военный инновационный технополис «ЭРА». Анапа : 22 октября 2020 года. - Анапа : Федеральное государственное автономное учреждение «Военный инновационный технополис «ЭРА»», 2020. - С. 183-189.
9. Kulagin M. A., Sidorenko V. G. Predicting the failure of traction electric motors of electric rolling stock of railways using deep neural networks // Russian Electrical Engineering. 2021. Т. 92, № 9. - С. 515-519.
10. Bodnar B., Ochkasov O., Serdiuk V., Ochkasov M. Signal Analysis of the Armature Rotation Irregularities in the Traction Electric Motor by Unsupervised Anomaly Detection Methods. Transport Means 2022 // Proc. of the 26th Intern. Sci. Conf. (05-07 Oct., 2022, Kaunas, Lithuania). Kaunas, 2022. Pt. II. - P. 761-766.
11. Доманов, К. И. Оценка технического состояния тяговых электрических двигателей электровозов серии 2ЭС6 / К. И. Доманов. - Текст : непосредственный // Инновационные проекты и технологии в образовании, промышленности и на транспорте : материалы научной конференции, посвященной Дню российской науки. Омск, 08 февраля 2018 года. - Омск : Омский государственный университет путей сообщения. - С. 338-343.
12. Обухов, А. Д. Организация предиктивного технического обслуживания локомотивов / А. Д. Обухов. - Текст : непосредственный // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. - 2020. - № 4. - С. 86-88.

13. Хромов, И. Ю. Обоснование влияния нарушений режимов эксплуатации на ухудшение технического состояния локомотивов / И. Ю. Хромов. - Текст : непосредственный // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. - 2020. - № 2. - С. 62-68.
14. Диагностика тяговых электродвигателей электроподвижного состава с использованием искусственных нейронных сетей / А. С. Космодамианский, Ю. М. Иньков, И. А. Менщиков, С. И. Баташов. - Текст : непосредственный // Электротехника. - 2022, № 9. - С. 26-34.
15. Sidorenko V. G., Kulagin M. A., Mikhailov S. V. Approach to Predicting Failures of Traction Electric Motors // Russian Electrical Engineering. - 2022. - Т. 93, № 9. - С. 592-595.
16. Анализ состояния существующего технологического процесса ремонта тяговых электродвигателей грузовых электровозов постоянного тока с помощью теории сетевого планирования и управления / В. В. Бублик, О. В. Гателюк, Н. В. Есин [и др.]. - Текст : непосредственный // Транспорт Урала. - 2020. - № 2 (65). - С. 70-74.
17. Проневич, О. Б. Интеллектуальные методы повышения точности прогнозирования редких опасных событий на железнодорожном транспорте / О. Б. Проневич, М. В. Зайцев. - Текст : непосредственный // Надежность. - 2021. - Т. 21. - № 3. - С. 54-64.
18. Гречишников, В. А. Использование квалификационной способности нейронных сетей для определения аварийных режимов в тяговой сети / В. А. Гречишников, Н. Д. Куров, Д. А. Куров. - Текст : непосредственный // Электротехника. - 2020. - № 9. - С. 20-25.
19. Применение методов машинного обучения для прогнозирования опасных отказов объектов железнодорожного пути / И. Б. Шубинский [и др.]. - Текст : непосредственный // Надежность. - 2020. - Т. 20, № 2. - С. 43-53.
20. Альтман, Е. А. Применение алгоритмов компьютерного зрения для детектирования объектов на железнодорожном переезде / Е. А. Альтман, Н. Г. Ананьева, Н. А. Тихонова. - Текст : непосредственный // Известия Транссиба. - 2016. - № 1 (25). - С. 70-76.
21. Вережинская Е. А. Исследование и разработка оптико-электронной системы предотвращения аварийных ситуаций на железнодорожных переездах / Е. А. Вережинская. - Текст : непосредственный // Сборник трудов IV Всероссийского конгресса молодых ученых. Санкт-Петербург, 07-10 апреля 2015 года. - Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, 2015. - С. 72-76.
22. Подходы к оценке качества планирования и управления движением пассажирских поездов метрополитена / Т. А. Искаков, А. И. Сафронов, В. Г. Сидоренко, М. А. Чжо. - Текст : непосредственный // Автоматика на транспорте. - 2020. - Т. 6, № 1. - С. 38-63.
23. Baranov L. A., Balakina E. P., Safronov A. I., Sidorenko V. G. Minimization of energy consumption for urban rapid-transit traction // Russian Electrical Engineering. - 2021. - Т. 92, № 9. - С. 492-498. - DOI: 10.3-103/S1068371221090030.
24. Харин О. В., Хомяков С. В., Кулагин М. А., Идиатулин Р. Ф., Зайнуллин С. Ф. Автоматизированная система «Сервис мониторинга смарт-контрактов грузовых перевозок на платформе Распределенный реестр данных». Очередь 2020 г.» (РРД ГП. Очередь 2020) Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 202-2614877, 28.03.2022. Заявка № 2022614021 от 21.03.2022.

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РЕМОНТА КОЛЕСНЫХ ПАР В СРЕДЕ ANYLOGIC

Дано описание процедуры создания и использования имитационной модели процесса ремонта колесных пар в условиях депо. Показаны схема моделируемого процесса ремонта колесных пар, созданная с использованием базовых блоков среды AnyLogic. Представлено описание и результаты оптимизационного эксперимента, выполненного с построенной моделью.



О.Ю. Кривич



И.К. Сергеев

Ключевые слова: AnyLogic, имитационное моделирование, текущий ремонт колесных пар, средний ремонт колесных пар

EDN: DCYIQE

К числу наиболее сложных управленческих задач относятся задачи организации производства. Обращая внимание на сферу технического обслуживания подвижного состава, можно отметить, что наиболее сложные и комплексные производственные процессы имеют место в цехах депо по обслуживанию подвижного состава. Задача организации таких процессов в условиях непрерывно меняющейся внешней среды всегда являлась актуальной и предприятия ищут различные инструменты для ее решения, формируя запросы на научные исследования.

Отвечая на запросы ремонтных предприятий железнодорожного транспорта, профильные специалисты и ученые разрабатывают математические модели и зависимости, главной целью использования которых

является организация производственного процесса с учетом оптимального распределения людских ресурсов и производственных мощностей [1–3]. Такие модели позволяют представить производственный процесс в символьном виде, а значит и подвергнуть его обработке математическим аппаратом. Однако возможность расширения и адаптации таких моделей под конкретные производственные условия как правило сопряжена с ростом общего уровня сложности математического описания, что приводит к возникновению проблем на этапе практического применения таких моделей. Альтернативным способом решения задачи организации производственных процессов является формирование особых моделей при помощи специализированных программных комплексов ими-

Кривич Ольга Юрьевна, кандидат технических наук, доцент, начальник Учебного отдела учебно-методического многофункционального центра Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: повышение эффективности технологической подготовки вагоноремонтного производства, оценка потребительских свойств продукции железнодорожного транспорта. Автор 70 научных работ.

Сергеев Иван Константинович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: динамика и прочность подвижного состава, математическое и компьютерное моделирование. Автор 40 научных работ.

Полутов Матвей Александрович, студент кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: компьютерное моделирование, подвижной состав.

Мепаришвили Мария Рамазовна, студент кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: компьютерное моделирование, подвижной состав.

тационного моделирования и их применения с целью генерирования статистической информации. Такой подход позволяет получить сведения об исследуемом процессе еще на этапе его проектирования, без привлечения финансовых ресурсов. Стоит отметить, что имитационные модели допускают применение символьных формул внутри собственных расчетных модулей, что позволяет проектировать сложные системы и производить наукоемкие исследования сочетая два описанных выше подхода к моделированию.

Число программ, предназначенных для описания производственных процессов растет с каждым годом. Если еще в начале 2000-х годов для решения данных задач у исследователей была возможность использовать только отдельные блоки и подпрограммы среды MS Excel, то сейчас на рынке программных продуктов процессного моделирования конкурируют десятки компаний. Часть из имеющихся продуктов имеют узкую специализацию, другие рассчитаны на решение задач широкого профиля. Например, программный инструмент ED Airopt направлен на создание имитационных моделей аэропортов, а программный пакет Aspen Plus специализируется на области добычи углеводородов и нефтехимии. Инструмент ExtendSim поддерживает создание динамических моделей в широком диапазоне промышленных областей, а среда имитационного моделирования AnyLogic успела зарекомендовать себя как цифровой пакет для решения множества различных задач, начиная от модели работы кассы в магазине и заканчивая моделями распространения вируса по земному шару. Выбор велик и зачастую определяется потребностями и знаниями языков программирования авторов моделей. Учитывая это, для выполнения моделирования производственного процесса ремонта колесных пар авторы статьи остановились на продукте AnyLogic, разработанном отечественными специалистами, основанном на языке Java и зарекомендовавшем себя как надежный инструмент имитационного моделирования [4;5].

В качестве моделируемого производственного процесса был выбран процесс ремонта колесных пар в объеме текущего и среднего ремонта в условиях депо. Для получения модели исследуемый процесс был представлен в виде маршрутной технологии, составленной на основе действующей технологической документации [6]. При этом для упрощения создания модели был сделан ряд допущений:

- элементы колесных пар, требующие ремонта, после проведения ремонта складываются, а после извлекаются со склада для замены неисправных узлов;
- корпуса букс, элементы торцевого крепления подшипников, смотровые и крепительные крышки

букс, а также внутренние и лабиринтные кольца подшипников не ремонтируются, а сразу заменяются;

- процесс ремонта подшипников не детализирован, в модель закладывается среднее общее время на ремонт одного подшипника;

• оперативное время работы людских ресурсов принимается равным оперативному времени работы оборудования (т.е. людские ресурсы прикрепляются к оборудованию на все время операций и не могут покинуть оборудование до их завершения);

- не учитывается возможность повторного ремонта буксового узла по результатам выходного вибродиагностического контроля.

Составленная с учетом допущений схема маршрутной технологии ремонта колесной пары показана на рис. 1.

Представленная на рис. 1 схема соответствует маршрутной технологии ремонта колесных пар в колесно-роликовых участках депо, аккредитованных на проведение текущего и среднего ремонта колесных пар. Для составления имитационной модели необходимо было подобрать элементы библиотек среды AnyLogic, пригодные для представления составленного технологического процесса с учетом транспортных операций.

Моделирование в среде AnyLogic может быть выполнено с применением трех методов: метода агентного моделирования, метода дискретно-событийного моделирования и метода системной динамики. Кроме того, возможно сочетание нескольких методов в рамках одной модели. К примеру, диаграмму процесса удобно представить в виде дискретно-событийной модели, отметив ключевые события и переходы в соответствующих блоках диаграммы, после чего использовать специальных агентов внутри диаграммы процесса, обладающих собственными параметрами, функциями, и даже способных переходить в разные состояния. Именно такой гибридный подход был использован в данной работе. В табл. 1 представлены основные блоки среды AnyLogic, использованные при составлении модели и их краткая характеристика.

Как можно заметить из описания, часть блоков отвечает за создание, распределение и удаление агентов из процесса, другая часть блоков моделирует операции обработки, а третья часть блоков моделирует операции транспортировки. Параметры операций задаются внутри блоков, к их числу относятся время на операцию, захватываемые ресурсы, вместимость очередей и др. Стоит отметить, что AnyLogic имеет встроенный генератор случайных чисел, а также встроенные математические модели законов распределения случайной величины, что позволяет учитывать характер случайных процессов, моделируемых в

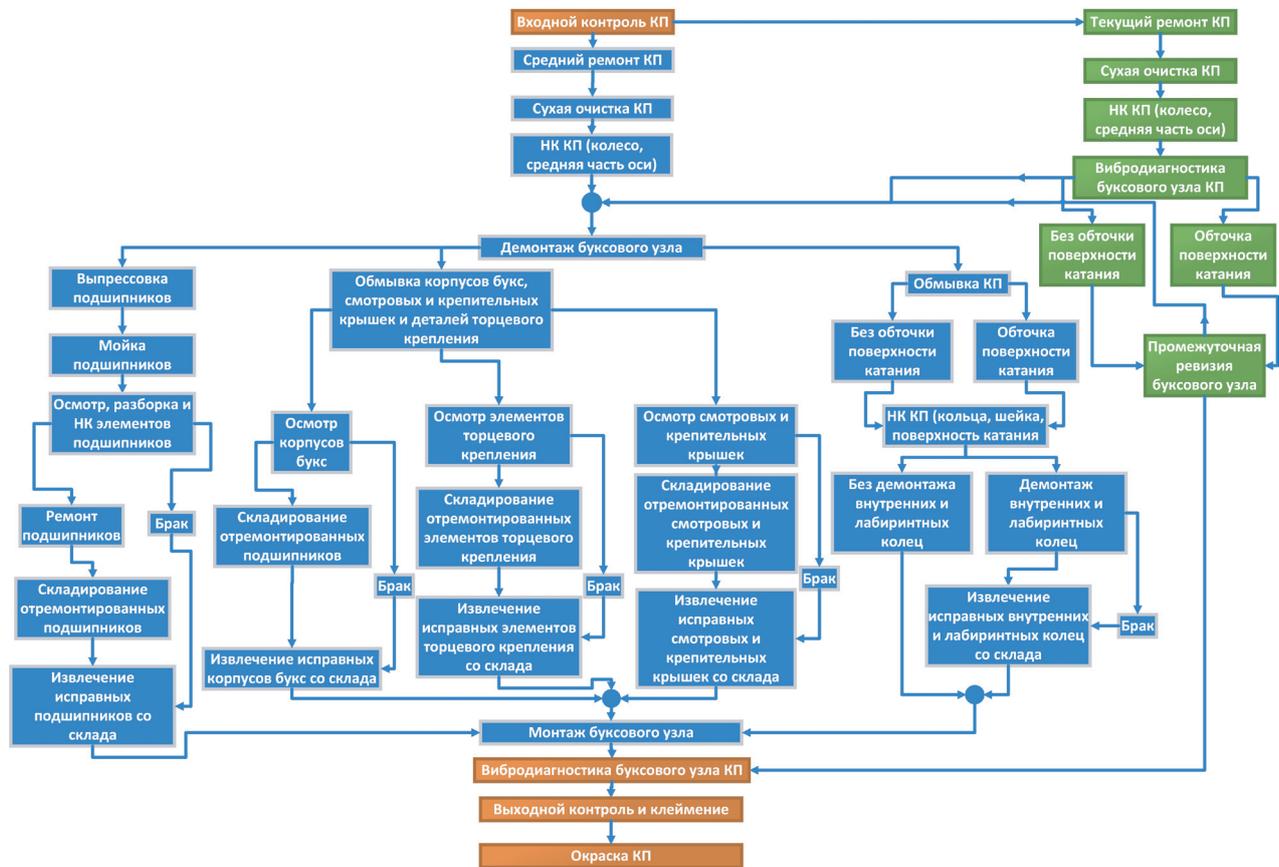


Рис. 1. Схема маршрутной технологии ремонта колесных пар

данной среде. Выбор подходящего закона распределения для конкретной производственной задачи является отдельной задачей, требующей глубоких фундаментальных исследований и обработки большого числа статистических данных. В связи с чем, в данной работе для большинства моделируемых операций было использовано треугольное распределение, применяемое в тех случаях, когда известны только допустимые границы нахождения случайной величины (в данном контексте это максимальное и минимальное время на технологическую операцию) и ее наиболее вероятное значение (рис. 2). Кроме того, был учтен сменный характер работы людских ресурсов, а также было принято, что характер поступления заявок на ремонт соответствует пуассоновскому потоку.

Выражение для плотности треугольного распределения имеет следующий вид:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{2(x - \min)}{(\max - \min)(\text{mode} - \min)} n_{пу} & \min < x \leq \text{mode}; \\ \frac{2(\max - x)}{(\max - \min)(\max - \text{mode})} n_{пу} & \text{mode} < x \leq \max. \end{cases}$$

где x — значение случайной величины;

\max — максимальное значение случайной величины;

\min — минимальное значение случайной величины;

mode — наиболее вероятное значение (мода) случайной величины.

В нотации AnyLogic треугольное распределение может быть задано выражением `triangular(min, max)`, в этом случае значение моды будет рассчитано как половина суммы минимального и максимального значения случайной величины.

Таблица 1

Базовые блоки AnyLogic, примененные в данной модели

Имя блока	Графическое обозначение	Назначение
Sink		Создает агентов (поступающие в ремонт колесные пары, извлекаемые со склада детали на замену и др.)
Service		Моделирует процесс обслуживания агентов ресурсами (обмывка колесных пар, осмотр корпусов букс и др.)
Seize		Моделирует выдачу заданий ресурсам по перемещению агентов (оператору крана приступить к управлению, слесарю прокатить колесную пару по рельсовому пути и др.)
Move ByCrane		Моделирует перемещение колесных пар краном-балкой на различные позиции
Convey		Моделирует перемещение элементов по конвейеру (перемещение подшипников в роликовое отделение, транспортировка корпусов букс на позицию осмотра и др.)
MoveTo		Моделирует перемещение агента людским ресурсом (прокатка колесной пары слесарем, перенести корпус буксы на позицию монтажа и др.)
Release		Освобождает захваченные ресурсы (освободить оператора крана по окончании транспортировки колесной пары, освободить слесаря по окончании прокатки колесной пары и др.)
Select Output		Направляет поток агентов по нужному пути согласно условию или вероятности (распределение колесных пар по линиям среднего и текущего ремонта, браковка узлов с заданной вероятностью и др.)
Split		Создает два потока агентов из одного, используется для моделирования результата операций разборки (снять буксу с колесной пары, извлечь блок подшипников из буксы и др.)
Combine		Объединяет два потока агентов в один, используется для моделирования результата операций сборки (установить буксу на колесную пару, монтировать лабиринтные кольца на ось и др.)
Batch		Объединяет два однотипных агента в партию, используется для формирования комплектов с нужным числом элементов (объединить два подшипника в комплект, объединить две буксы в партию и др.)
Match		Синхронизирует два потока агентов между собой, используется для задания буферной очереди перед операциями сборки
Time Measure Start		Начинает отсчитывать время для пропущенного агента (используется для сбора статистики)
Time Measure End		Прекращает отсчитывать время для пропущенного агента (используется для сбора статистики)
Sink		Удаляет агентов из системы (отремонтированные колесные пары, забракованные детали и др.)

Общий вид составленной модели представлен на рис. 3–5. Приведем краткое описание моделируемого процесса. При входе в модель поток агентов «колесная пара» попадает на входной контроль, проводимый бригадиром, после чего с помощью кран-балки перемещается на позицию сухой очистки средней части оси. Далее колесная пара поступает на диагностику.

Подача колесных пар осуществляется слесарями вручную по рельсовому пути.

По результатам неразрушающего контроля с учетом результатов входного контроля колесные пары делятся на требующие текущего или среднего ремонта, после чего поток агентов разделяется. Колесные пары, требующие среднего ремонта, перемещаются

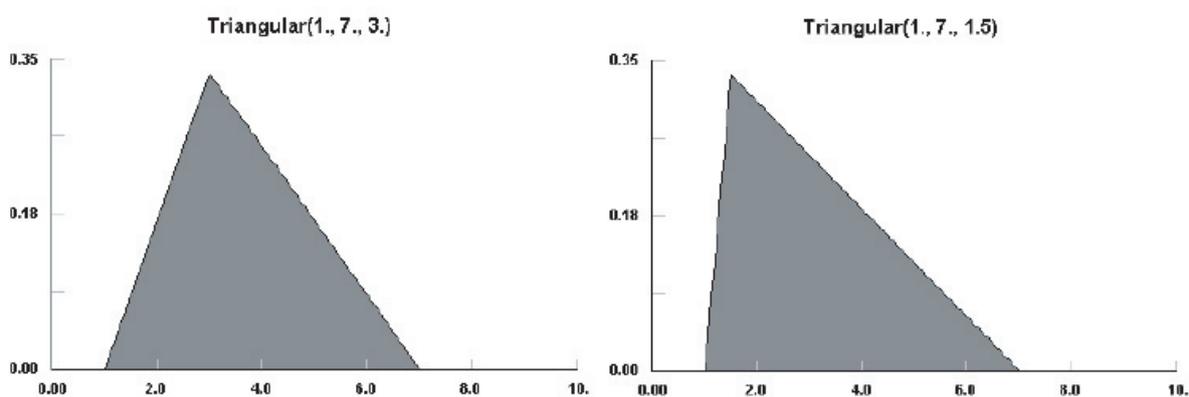


Рис. 2. Пример функции плотности вероятности треугольного распределения

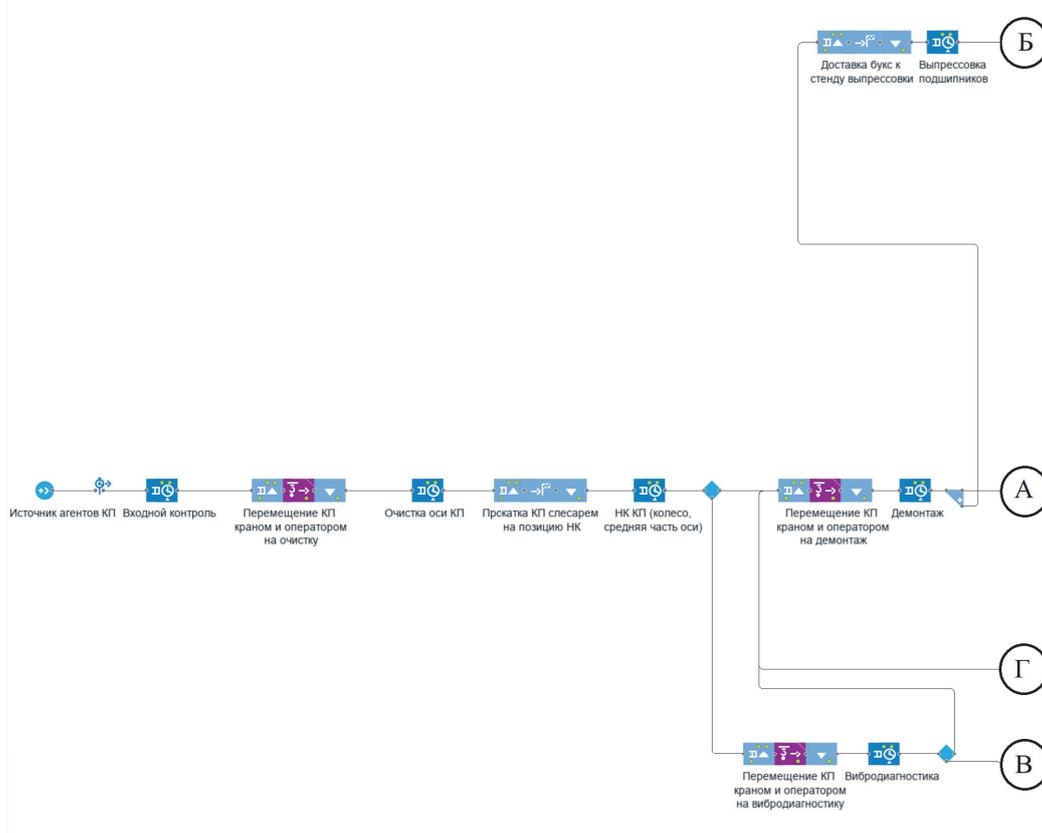


Рис. 3. Диаграмма процесса ремонта колесных пар (часть 1)

кран-балкой на позицию демонтажа, где агенты типа «букса» отделяются. Колесным парам при необходимости выполняется обточка, после чего производят диагностику шейки оси, а также при необходимости демонтаж внутренних и лабиринтных колец с контролем размеров. После чего производят процедуру монтажа исправных буксовых узлов.

Колесные пары, требующие текущего ремонта, перемещаются на отдельный путь кран-балкой, где проходят процедуру вибродиагностического контроля. По результатам вибродиагностики буксовых узлов часть колесных пар отправляется на линию

среднего ремонта. После вибродиагностики колесные пары поступают на промежуточную ревизию буксовых узлов, по результатам которой часть колесных пар также может отправиться на линию среднего ремонта.

Далее колесным парам при необходимости выполняется обточка, после чего два потока агентов типа «колесная пара» вновь объединяются и поступают в единую очередь на заключительные операции контроля, клеймения и окраски.

Буксовым узлам проводят процедуры согласно рис. 1, при этом неисправным узлам мгновенно (без

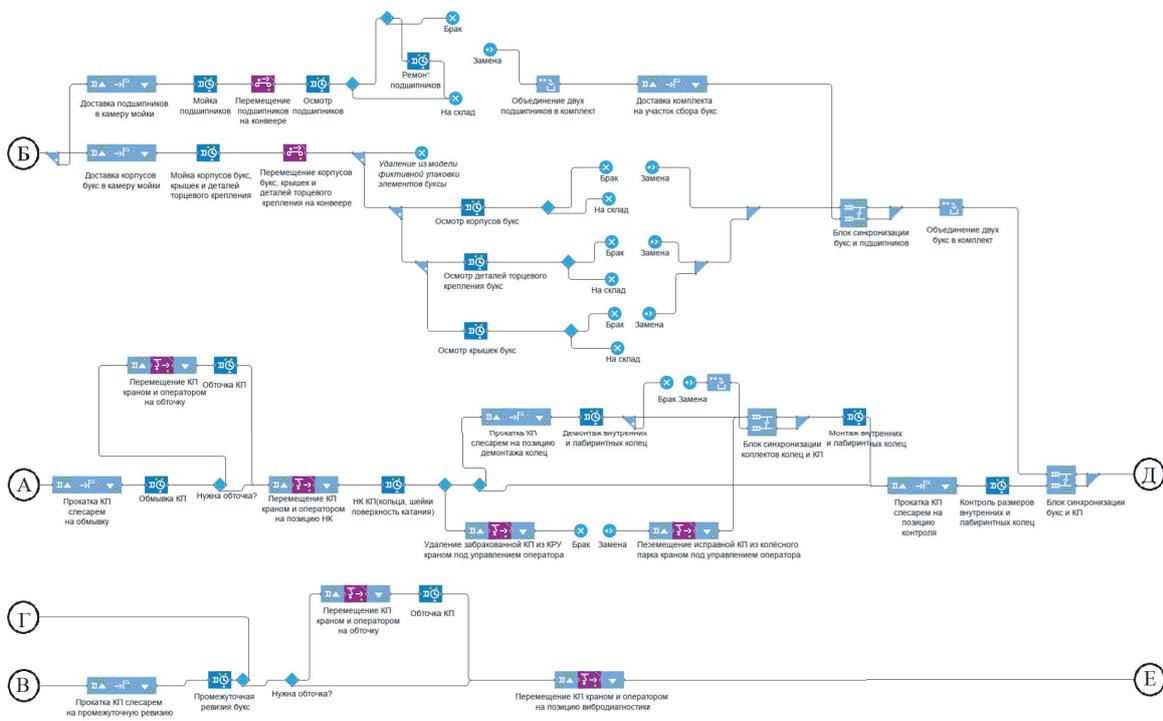


Рис. 4. Диаграмма процесса ремонта колесных пар (часть 2)



Рис. 5. Диаграмма процесса ремонта колесных пар (часть 3)

задержки) подбирают замены, а уже потом выполняют ремонт. Объединение исправных буксовых узлов и колесных пар происходит на позиции монтажа.

Созданная модель позволяет исследовать процесс в течение любого интервала времени. Для настройки ресурсов, оборудования и иных параметров модели были использованы данные производственного процесса, собранные в ходе производственной практики студентов, статистика, а также типовые нормы времени на операции, приведенные в специальной литературе

[7]. Данные прогонов модели, выполненных при подготовке настоящей работы указаны в табл. 2.

Результаты первого прогона модели свидетельствуют, что ресурс слесарей является наиболее загруженным (рис. 6,а). Указанное приводит к увеличенному времени обслуживания колесных пар в связи с возникновением большого числа очередей на различных участках модели.

Из второго прогона следует, что добавление двух ставок слесарей в штатное расписание участка (по

Таблица 2

Конфигурации прогонов модели

№ п/п	Людские ресурсы		Входящий поток колесных пар, шт./мес.	Время моделирования, мес.
	Название ресурса	Количество, чел.		
1	Бригадиры	1	800	12
	Слесари	3		
	Дефектоскописты	2		
	Токари	2		
	Крановщики	2		
	Слесари роликового отделения	4		
2	Бригадиры	1	800	12
	Слесари	4		
	Дефектоскописты	2		
	Токари	2		
	Крановщики	2		
	Слесари роликового отделения	4		

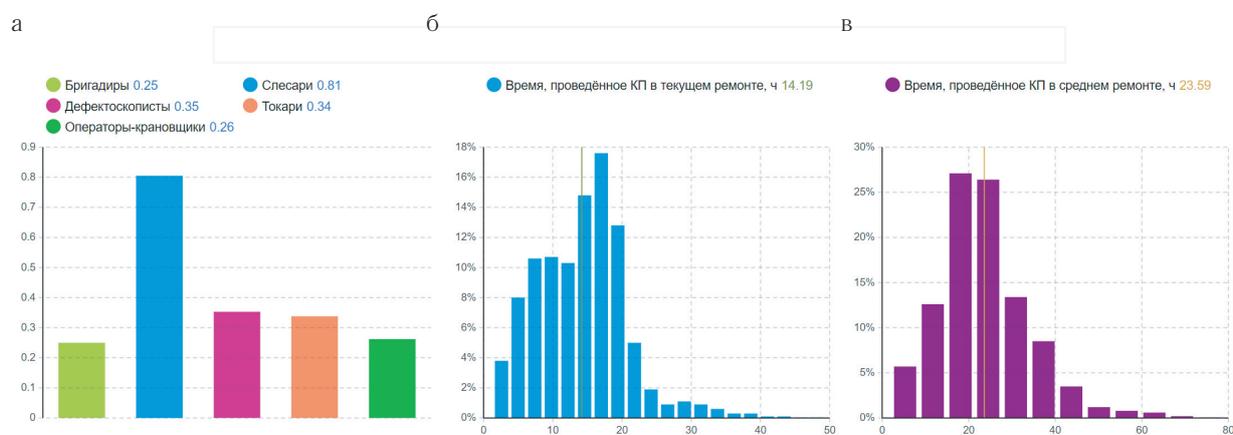


Рис. 6. Результаты первого прогона модели: а – коэффициенты использования людских ресурсов; б – график плотности вероятности и среднее значение времени нахождения колесной пары в текущем ремонте; в – график плотности вероятности и среднее значение времени нахождения колесной пары в среднем ремонте

одной в колесный и роликовый участки) сокращает нагрузку на данные типы ресурсов, а также положительно сказывается на показателе среднего времени ремонта колесных пар (рис. 7,а). Анализируя результаты расчета времени, проведенного колесными парами в ремонте, можно заметить, что при увеличении штата слесарей среднее время среднего ремонта колесных пар снижается на 12%. При этом модель стабильна в обеих конфигурациях в течение всего времени прогонов (то есть очереди на вход к операциям не переполняются агентами). Стоит подчеркнуть, что получить аналитическое выражение для связи входного параметра типа «число ресурсов» и выходного параметра типа «время на ремонт» крайне затруднительно, а имитационное моделирование является удобным способом решения подобных производственных задач, играющих ключевое значение в управлении предприятием.

Отметим также изменение формы диаграммы распределения плотностей вероятности нахождения

колесных пар в ремонте между прогонами модели. Особенно ярко это наблюдается при анализе процесса среднего ремонта. На рис. 6,в видно, что для части колесных пар этот вид ремонта был выполнен за 8 и более часов, в то время как при увеличенном числе слесарей в цехе (рис. 7,в) максимальное значение времени, проведенном в среднем ремонте не превышает 6 часов. Проведенный оптимизационный эксперимент является лишь одним из множества потенциально возможных. Среда AnyLogic предоставляет пользователю широкий набор инструментов обработки статистики и даже встроенный механизм оптимизации параметров модели. В результате дальнейшего процесса работы с моделью можно уточнить число необходимого оборудования, выполнить экономический расчет путем привязки финансовых показателей к агентам модели и создать планировку цеха с учетом необходимых средств технологического оснащения участка, средств транспортировки ремонтируемых узлов и транспортных потоков.

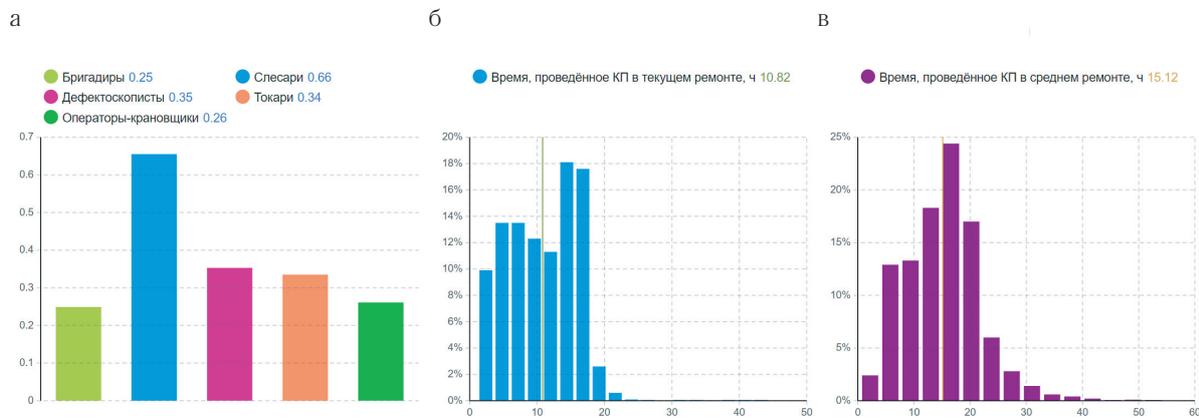


Рис. 7. Результаты второго прогона модели: а – коэффициенты использования людских ресурсов; б – график плотности вероятности и среднее значение времени нахождения колесной пары в текущем ремонте; в – график плотности вероятности и среднее значение времени нахождения колесной пары в среднем ремонте

Литература

1. Сергеев, К. А. Декомпозиция задач ТПП вагоноремонтного производства / К. А. Сергеев, О. Ю. Кривич, О. И. Мироненко. - Текст : непосредственный // Наука и техника транспорта. - 2022. - № 1. - С. 8-10.
2. Сергеев, К. А. Математическое описание ремонтируемых вагонов и их узлов / К. А. Сергеев, О. И. Мироненко, О. Ю. Кривич. - Текст : непосредственный // Наука и техника транспорта. - 2022. - №3. - С. 21-24.
3. Сергеев, К. А. Построение структурной модели технологического процесса ремонта вагонов / К. А. Сергеев, О. Ю. Кривич, И. К. Сергеев. - Текст : непосредственный // Наука и техника транспорта. - 2021. - № 4. - С. 72-73.
4. Оптимизация цепей поставок с помощью имитационного моделирования в AnyLogic / Р. М. Мухтарбекова, А. К. Долотбакова, Ю. С. Бубликова, Э. И. Исмаилова. - Текст : непосредственный // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. - 2021. - № 2(58). - С. 102-106.
5. Псеровская, Е. Д. Исследование возможностей использования инструмента имитационного моделирования AnyLogic в организации работы контрейлерного терминала / Е. Д. Псеровская, О. Б. Шерстобитова, Д. А. Басманов. - Текст : непосредственный // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. - 2023. - № 4(60). - С. 71-83.
6. Кривич, О. Ю. Производство и ремонт подвижного состава : учебное пособие / О. Ю. Кривич; Московский государственный университет путей сообщения Императора Николая II. - Москва : Московский государственный университет путей сообщения Императора Николая II, 2016. - 216 с. - Текст : непосредственный.
7. Комплект документов на типовой технологический процесс ремонта колесных пар с цилиндрическими роликовыми подшипниками ТК-304 ; утверждено Распоряжением ОАО «РЖД» от 27 декабря 2018 г. № 2812/р. - 156 с. - Текст : непосредственный.

ФОРМАЛИЗОВАННЫЕ МЕТОДЫ СТРУКТУРНО-АЛГОРИТМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА РЕЗУЛЬТАТОВ МОНИТОРИНГА МАССЫ ГРУЗА В СИСТЕМУ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО КОММЕРЧЕСКОГО ОСМОТРА



В.Е. Нутович

В статье приводятся описание математической и информационной моделей мониторинга массы груза, перевозимого железнодорожным транспортом, а также методы структурно-алгоритмического синтеза решений о наличии коммерческой неисправности по результатам взвешивания в единую макросистему интеллектуального коммерческого осмотра (АСКМ ИКО).

Ключевые слова: интеллектуальные транспортные системы, мониторинг массы груза, взвешивание вагонов, коммерческий осмотр вагонов, обеспечение надежности, АСКМ НП, АСКМ ИКО

EDN: GNCSFA

В целях обеспечения сохранности и безопасности грузовых перевозок железнодорожным транспортом перевозчик при приеме груза к перевозке и в пути следования контролирует массу перевозимого груза. Несоответствие фактической массы груза данным, указанным в перевозочном документе, может означать недостоверно указанные сведения грузоотправителем или, в случае существенного расхождения в меньшую сторону, быть признаком хищения. Превышение массы груза трафаретной грузоподъемности вагона становится угрозой безопасности перевозки и может привести к крушению. Также по результатам взвешивания можно выявить и иные коммерческие неисправности.

Построим математическую и информационные модели мониторинга массы перевозимого груза в

рамках всей грузовой перевозки от момента приема груза на станции назначения до выдачи груза на станции отправления. Для этого выделим из общей классификации коммерческих неисправностей [1] такие, которые могут быть выявлены по результатам взвешивания вагонов на вагонных весах (табл. 1). В классификации предусмотрим нулевой код, соответствующий отсутствию коммерческих неисправностей.

Математическая модель выявления коммерческих неисправностей по результатам взвешивания будет представлять собой некоторую функцию f , удовлетворяющую выражению:

$$y_{ij}(t) = f(pr_{ij}(t), x_{0j}(t), x_{ij}(t), v_i(t), pv_i, pves_k), \quad (1)$$

где $y_{ij}(t)$ – код коммерческой неисправности, определенный по результатам взвешивания вагона i на

Нутович Вероника Евгеньевна, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Цифровые технологии управления транспортными процессами», начальник научно-образовательного центра «Интеллектуальные транспортные системы и технологии» (НОЦ 2Т) Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)), почетный железнодорожник, почетный работник транспорта. Область научных интересов: системный анализ, управление и обработка информации в транспортно-логистических системах, автоматизация и управление технологическими процессами и производствами в транспортно-логистических системах, интеллектуальные транспортные системы. Автор 80 научных работ, в том числе трех монографий и трех учебно-методических пособий. Имеет 55 свидетельств о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Таблица 1

**Коммерческие неисправности, выявляемые по результатам
взвешивания вагонов на вагонных весах**

Код	Наименование	Возможность проследования вагона далее в составе поезда
0	Отсутствие коммерческой неисправности	Да
1	Перегруз сверх грузоподъемности	Нет
2	Перегруз вагона против документов	Да
3	Недогруз вагона против документов	Необходимость дополнительной проверки на наличие доступа к грузу
4	Превышение допустимой разницы нагрузки по тележкам	Нет
5	Превышение допустимой нагрузки на колесную ось	Нет
6	Остатки ранее перевозимых грузов	Да

станции j в момент времени t ; код коммерческой неисправности равен одному из допустимых значений в соответствии с табл. 1;

$pr_{ij}(t)$ – признак проведения взвешивания вагона i на станции j в момент времени t и достоверности его результатов;

$x_{ij}(t)$ – результат взвешивания вагона i на станции отправления в момент времени t ; при отсутствии взвешивания на станции отправления будем принимать данный показатель равным массе груза, указанной в перевозочном документе;

$x_{ij}(t)$ – результат взвешивания вагона i на станции j в момент времени t ;

$v_i(t)$ – сведения о вагоне i в рамках текущей грузовой перевозки в момент времени t ;

pv_i – паспортные данные о вагоне i ;

pv_{es_k} – паспортные данные вагонных весов k .

Функция f учитывает ряд обстоятельств взвешивания, такие как погрешность и достоверность.

Так как взвешивание проводится на разных вагонных весах, имеющих разные погрешности и способы измерения (стационарные весы или весы, встроенные в рельс и осуществляющие взвешивание в движении), то в целях приведения результатов к возможности их сопоставления будем учитывать погрешность измерения в соответствии с документом «МИЗ115-2008. Рекомендации. Государственная система обеспечения единства измерений. Масса грузов, перевозимых железнодорожным транспортом. Измерения и учет массы груза при взаиморасчетах между грузоотправителем и грузополучателем» [2].

Так как при динамическом взвешивании может произойти резкое торможение или ускорение движения вагона, что, в свою очередь, может привести к недо-

стовой оценке, будем дополнительно учитывать признак, формируемый электронными вагонными весами автоматически, характеризующий достоверность результатов измерения.

На основании полученного кода коммерческой неисправности $y_{ij}(t)$ будем автоматически принимать решение о необходимости отцепки вагона от состава поезда или возможности проследования далее до станции назначения:

$$r_{ij}(t) = z(y_{ij}(t)), \quad (2)$$

где $r_{ij}(t)$ – решение на станции j в момент времени t о возможности проследования вагона i до станции назначения.

Для построения единой информационной модели выявления коммерческих неисправностей по результатам взвешивания вагонов (далее – Модель мониторинга массы груза) все результаты измерений и значение показателя массы груза, указанные в перевозочном документе будем фиксировать в единой базе данных. Такой подход позволит автоматически при получении результата взвешивания от электронных вагонных весов проводить расчеты в соответствии с введенными функциями $f(1)$ и $z(2)$; определять наличие коммерческой неисправности и принимать решение о дальнейших действиях.

Для проведения расчетов в базе также будем фиксировать по результатам взвешивания: признак достоверности, нагрузку, приходящуюся на первую и на вторую тележки вагона; по паспортным данным вагона: количество осей, массу тары, допустимую осевую нагрузку, трафаретную грузоподъемность; по паспортным данным вагонных весов: погрешность измерения; по конкретной грузовой перевозке: при-

знак нахождения в составе сцепа, метод погрузки (насыпью, навалом, наливом, иное), способ определения массы груза при отправлении в соответствии с перевозочным документом, а также признаки оформления актов общей формы по результатам коммерческих осмотров.

В целях структурно-алгоритмического синтеза решений о наличии коммерческой неисправности по результатам взвешивания в единую систему интеллектуального коммерческого осмотра (далее – ИКО) в дерево декомпозиции задач коммерческого осмотра встроим соответствующий класс методо-ориентированных проверок.

Таким образом модуль взвешивания будет выступать как элемент макроструктуры ИКО, принимающий входную информацию, обрабатывающий ее и передающий выходную информацию в макросистему (рис. 1). Внутренняя схема информационных потоков модуля мониторинга массы груза представлена на рис. 2.

Математическую функцию работы модуля опишем следующим образом:

$$V_{ij} = \omega(y_{ij}(t), r_{ij}(t)), \quad (3)$$

где V_{ij} – выходная информация модуля с результатами обработки измерений вагона i на станции j в момент времени t ;

ω – функция работы модуля мониторинга массы груза.

При проведении исследования получены функции f , z , ω и построены детальные алгоритмы как внутренней работы модуля мониторинга массы груза, так и алгоритмы структурно-алгоритмического синтеза результатов его работы в систему ИКО.

Общее описание системы ИКО рассмотрено в статье [3]. Непосредственно проведение взвешивания вагонов соответствует требованиям Единого типового технологического процесса проведения коммерческого осмотра вагонов и поездов на железнодорожных

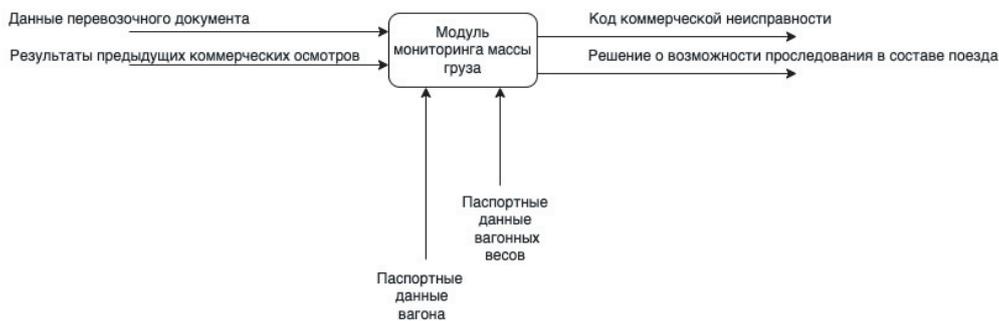


Рис. 1. Внешние информационные потоки Модуля мониторинга массы груза как элемента макроструктуры ИКО



Рис. 2. Внутренние информационные потоки Модуля мониторинга массы груза

станциях [4] и предполагает установку соответствующего весового оборудования на станциях, подключенного к сети передачи данных.

На основании приведенных в статье методов под руководством и при участии автора разработан и внедрен в ОАО «РЖД» модуль автоматического выявления коммерческих неисправностей по результатам взвешивания (АСКМ НП Взвешивание) в составе системы интеллектуального коммерческого осмотра (АСКМ ИКО). Модуль позволяет оперативно выявлять отклонения массы перевозимого груза от установленных параметров и принимать управляющие воздействия для устранения неисправностей, тем самым повышая уровень обеспечения безопасности и сохранности грузовых перевозок. 

Литература

1. Классификатор коммерческих неисправностей грузовых вагонов (б.д.): утвержден распоряжением ОАО «РЖД» от 13 марта 2020 г. № 551/р. - URL: https://e-ecolog.ru/docs/0JFT7o8qiIqxyHZsKnTmz?ysclid=m3-8c1or817917281449&utm_referrer=https%3A%2F%2Fyandex.ru%2F (дата обращения: 08.11.2024). - Текст : электронный.
2. МИЗ115-2008. Рекомендации. Государственная система обеспечения единства измерений. Масса грузов, перевозимых железнодорожным транспортом. Измерения и учет массы груза при взаиморасчетах между грузоотправителем и грузополучателем : утверждена ФГУП ВНИИМС 30.05.2008. - URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/8a3/4293819474.pdf?ysclid=m38cekcs04906155033> (дата обращения: 08.11.2024). - Текст : электронный.
3. Нутович, В. Е. Формализованные методы обработки информации, анализа и синтеза системы интеллектуального коммерческого осмотра вагонов / В. Е. Нутович. - Текст : непосредственный // Наука и техника транспорта. - 2023. - № 3. - С. 77-85.
4. Единый типовой технологический процесс проведения коммерческого осмотра вагонов и поездов на железнодорожных станциях : утвержден Распоряжением ОАО «РЖД» от 31.12.2019 г. № 3116р. - URL: <https://itt-54.ru/wp-content/uploads/2023/12/%D0%A0%D0%B0%D1%81%D0%BF%D0%BE%D1%80%D1%8F%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5-%D0%9E%D0%90%D0%9E-%D0%A0%D0%96%D0%94-31.12.2019-N-3116%D1%80-%D0%95%D0%A2%D0%9F-%D0%BA%D0%BE%D0%BC%D0%BC.-%D0%BE%D1%81%D0%BC%D0%BE%D1%82%D1%80%D0%B0.pdf> (дата обращения: 08.11.2024). - Текст : электронный.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИЯ И НОВЫЕ ТИПЫ УГРОЗ БЕЗОПАСНОСТИ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА



И.Ф. Михалевич



С.С. Соколов

Рассмотрены вопросы обеспечения безопасности интеллектуальных систем водного транспорта (ИСВТ), обусловленные угрозами нефизического характера, включая несовершенство нормативного регулирования разработки и эксплуатации ИСВТ, цифровое неравенство составных частей интегрированных автоматизированных систем корпоративного и технологического управления объектов ИСВТ, недостаточное развитие отечественных аппаратно-программных платформ ИСВТ.

Ключевые слова: акт незаконного вмешательства, интеллектуальная система водного транспорта, компьютерная атака, угроза

EDN: DOCNKB

Интелектуализация транспорта предусматривает как повышение интеллектуального уровня отдельных транспортных средств, так и создание интеллектуальных транспортных систем (ИТС), что является мировым трендом. В России первые ИТС обеспечивали реализацию интеллектуальных функций отдельно внутри автомобиля и отдельно в объектах на обочине дороги или управления движением [1].

Термин ИТС имеет множество определений. В [2;3] ИТС определена как система управления, интегрирующая современные информационные и телематические технологии и предназначенная для автоматизированного поиска и принятия к реали-

зации максимально эффективных сценариев управления транспортно-дорожным комплексом региона, конкретным транспортным средством или группой транспортных средств с целью обеспечения заданной мобильности населения, максимизации показателей использования дорожной сети, повышения безопасности и эффективности транспортного процесса, комфортности для водителей и пользователей транспорта. В [4] ИТС определяются как системы, использующие комбинацию компьютеров, коммуникаций, позиционирования и технологий автоматизации для повышения безопасности, управления и эффективности наземного транспорта.

Михалевич Игорь Феодосьевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, доцент кафедры «Управление и защита информации» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)), почетный радист, член-корреспондент Академии информатизации образования), награжден медалью ордена «За заслуги перед Отечеством II степени». Область научных интересов: связь и телекоммуникации, защита информации, информационная безопасность, информационные технологии, технологии автоматизированного, автоматического управления и искусственного интеллекта, автоматизированные системы, системы автоматического управления. Автор более 200 научных работ, в том числе двух монографий и шести учебных пособий. Имеет 11 авторских свидетельств и патентов на изобретения, свидетельства на программы для ЭВМ.

Соколов Сергей Сергеевич, доктор технических наук, доцент, проректор Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)), Почетный работник морского флота, действительный член Российской академии транспорта. Область научных интересов: теории систем, управления, графов, нечетких множеств, эвристических алгоритмов, интеллектуальные системы управления, системы принятия решений, информационные технологии, автоматизированные системы управления на транспорте, информационная и транспортная безопасность объектов транспортной инфраструктуры и транспортных средств морского и внутреннего водного транспорта, разработка средств автоматизации в рамках развития технологий автономного (безэкипажного) судовождения, цифровые двойники транспортных процессов, современные методы и технологии подготовки кадров для транспортной отрасли. Автор более 300 научных работ, в том числе восьми монографий. Имеет три патента на изобретения.

Развитие науки, техники и технологий позволило создавать ИТС различных видов транспорта [5]. Технологии водного, наземного и воздушного транспорта включены в приоритетные направления научно-технологического развития страны [6]. Технологии ИТС и автономных транспортных средств входят в перечень важнейших наукоемких технологий как критические [7], что вызвано возможностью влияния ИТС на безопасность критической информационной инфраструктуры страны и национальную безопасность в целом. Это в полной мере относится к интеллектуальным системам водного транспорта (ИСВТ) [8;9].

Угрозы безопасности ИСВТ

Технологии ИТС основаны на принципе V2X (Vehicle-to-Everything). Его реализация предусматривает взаимодействие каждого транспортного средства ИТС со всеми другими объектами, способными повлиять на их поведение и внедрение в транспортные средства и объекты инфраструктуры ИТС технологий обработки больших объемов информации. Под обработкой информации понимаются любые действия по ее сбору, накоплению, вводу, выводу, приему, передаче, записи, хранению, регистрации, преобразованию, отображению и т.п., совершаемые с заданной целью [10;11]. В определенных случаях целью действий (или вследствие бездействия) может быть нарушение безопасности ИСВТ, что существенно расширяет ландшафт угроз.

Традиционно угрозы безопасности водного транспорта рассматриваются в контексте актов незаконного вмешательства (АНВ) в функционирование транспортных средств и объектов инфраструктуры физического характера, такие, как терроризм, хулиганство, аппаратные отказы оборудования, ошибки персонала и др. [12–15]. Это не соответствует ландшафту угроз безопасности ИСВТ, который содержит также АНВ нефизической природы, в том числе, компьютерные атаки, уязвимости и недеklarированные возможности программного обеспечения (ПО) и технологий обработки данных, ошибки ПО и др. [8;9;16], Компьютерной атакой в ИСВТ является целенаправленное воздействие программных и (или) программно-аппаратных средств на информационные системы, автоматизированные и (или) автоматические системы управления, системы искусственного интеллекта (ИИ), информационно-телекоммуникационные сети, сети связи морских и речных судов, портов и иных объектов ИСВТ в целях нарушения и (или) прекращения их функционирования и (или) создания угрозы безопасности информации, обрабатываемой такими объектами. Уязвимость ИСВТ можно опреде-

лить как наличие слабых мест в активах или элементах управления ИСВТ, которые могут быть использованы одной или несколькими угрозами. Эти определения сформулированы на основе [17;18].

Функционирование ИСВТ обеспечивают сети радиосвязи, которые легко доступны для средств радиоэлектронной борьбы (РЭБ). Воздействие средств РЭБ приводит к уменьшению сетевых ресурсов, что снижает управляемость ИСВТ и может вызвать столкновения судов между собой, с объектами инфраструктуры, повлечь иные неблагоприятные последствия. Данные обстоятельства также существенно влияют на безопасность ИСВТ, что рассмотрено авторами в [8;9;12;16].

С учетом изложенного безопасность ИСВТ определим как состояние защищенности объектов инфраструктуры водных путей и судов, процессов их проектирования, производства, строительства и эксплуатации от АНВ. Под АНВ будем понимать любое противоправное действие (в том числе компьютерную атаку) или бездействие, угрожающее безопасности функционирования ИСВТ, повлекшее за собой причинение вреда жизни и здоровью людей, материальный ущерб либо создавшие угрозу наступления таких последствий.

Общемировым трендом является рост числа типов и частоты реализации угроз безопасности нефизического характера, основной состав и пример статистики реализации которых приведен в табл. 1.

В 2023–2024 годах наблюдались изменения частоты реализации при неизменном составе основных угроз безопасности, что установлено и российскими исследователями [20;21].

В ИСВТ АНВ нефизической природы могут быть реализованы с использованием физического, Интернет и беспроводного доступа к объектам, что иллюстрирует рис. 1.

В физической области угрозы возникают вследствие возможности прямого доступа злоумышленников (в том числе из числа легитимных лиц) к судовому оборудованию, оборудованию центров дистанционного управления, навигационных знаков и иных объектов инфраструктуры, причалов и портов. Посредством беспроводного доступа возможны атаки на указанные объекты при нахождении злоумышленников за пределами контролируемой зоны объекта, но в непосредственной близости с ними. Этим же угрозам подвержены объекты ИСВТ удаленно через Интернет.

Интеллектуализация водного транспорта, особенно в части безэкипажного (автономного) судовождения и использования ИИ, существенно влияет на безопасность ИСВТ. Безэкипажным является судно,

Таблица 1

Статистика реализации новых типов угроз безопасности функционирования транспортного комплекса Европейского Союза [19]

Типы актов незаконного вмешательства	Частота реализации	
	2021 год	2022 год
Программы -вымогатели	13%	25%
Атаки, связанные с данными	21%	9%
Вредоносное ПО	11%	6%
Атаки «отказ в обслуживании»	2%	13%
Фишинг	7%	3%
Атаки на цепочки поставок	3%	7%
Атаки нарушения функционирования	4%	4%
Подмена источника	3%	2%
Эксплуатация уязвимостей	4%	1%

управляемое внешним оператором или автономной бортовой программой [22;23]. Внешнее управление возможно лишь при наличии радиоканалов телемеханики, функционирование которых может быть нарушено, например, средствами радиоэлектронной борьбы и ошибками и/или недекларированными действиями ИИ. Под ИИ понимается комплекс технологических решений, позволяющий имитировать когнитивные функции человека (включая поиск решений без заранее заданного алгоритма) и получать при выполнении конкретных задач результаты, сопоставимые с результатами интеллектуальной деятельности человека или превосходящие их [24]. Такой комплекс включает в себя информационно-коммуникационную инфраструктуру, ПО, процессы и сервисы по обработке данных и поиску решений [24], что опять-таки зависит от состояния каналов радиосвязи и ПО.

Применение ИИ является одним из перспективных направлений развития ИСВТ. Но его применение связано с новыми типами угроз, среди которых в [24] указаны:

- нехватка вычислительных мощностей, недостаточное развитие отечественных решений в области ИИ, включая программно-аппаратные комплексы и электронную компонентную базу;
- дефицит высококвалифицированных специалистов и инновационных разработок в области ИИ;
- низкий уровень внедрения технологий ИИ в государственном управлении;
- нормативные барьеры, препятствующие внедрению технологий ИИ в отдельных отраслях экономики, включая отсутствие методологической базы для обе-

спечения систем ИИ достоверными исходными данными;

- необходимость обеспечения безопасности при разработке и использовании технологий ИИ;
- необходимость обеспечения защиты персональных данных и иной информации ограниченного доступа, объектов интеллектуальных прав при создании и обучении моделей ИИ.

Более того, анализ отечественных нормативных правовых актов обеспечения безопасности объектов водного транспортного комплекса выявил разрыв



Рис. 1. Пути доступа для совершения АНВ в функционирование объектов ИСВТ

между физическими и нефизическими областями регулирования, а документов международных организаций — противоречия с российским законодательством в части терминологии и признаков классификации ИСВТ и судов как объектов критической информационной инфраструктуры [8;9;12;16]. Несовершенство нормативной правовой базы обеспечения безопасности ИСВТ может замедлить их создание и привести к неполному учету условий, влияющих на их безопасность.

Совместная реализация на объектах ИСВТ информационных технологий, технологий автоматизированного и автоматического управления привела к созданию интегрированных автоматизированных систем корпоративного и технологического управления объектов ИСВТ, составные части которых (АСКУ и АСТУ) неравно защищены от угроз нефизического характера. Цифровое неравенство АСТУ и АСКУ создает риски безопасности комплексного характера и содержать угрозу скрытного развития, что рассмотрено авторами в [8;9;16;25].

Для обеспечения безопасности ИСВТ необходимо в значительной степени повысить уровень их обеспеченности средствами защиты информации (СЗИ), адаптированными к особенностям функционирования АСТУ. Так, сертифицированные СЗИ содержат сотни наименований для АСКУ и только десятки для АСТУ.

Не менее важным является совершенствование методического обеспечения безопасности функционирования объектов ИСВТ. В отличие от банка данных угроз безопасности информации (БДУ БИ), созданного более десятка лет назад в интересах АСКУ. Банк данных угроз автоматизированных систем управления производственными технологическими процессами (БДУ АСУ ТП) был анонсирован только в декабре 2023 года.

Как указано на сайте ФСТЭК России, этот ресурс является первым в стране единым источником исходных данных об угрозах и уязвимостях, специфичных для АСУ ТП и промышленного интернета вещей в различных отраслях экономики, включая транспорт. Однако данный ресурс находится в начальном состоянии. В разделе «Транспорт» БДУ АСУ ТП на 16 сентября 2024 г. содержались только сведения о железнодорожном подвижном составе (рис. 2).

Отсутствие данных о других видах транспорта не означает отсутствие угроз. Это, скорее всего, проявление проблемы неполноты информации, поступающей от объектов транспортного комплекса, которая была рассмотрена авторами в [8;9;16]. О том, что такие угрозы есть несомненно, говорит перечень и характеристика угроз, характерных для АСТУ ИСВТ (АСУ ТП), которые приведены в табл. 2.

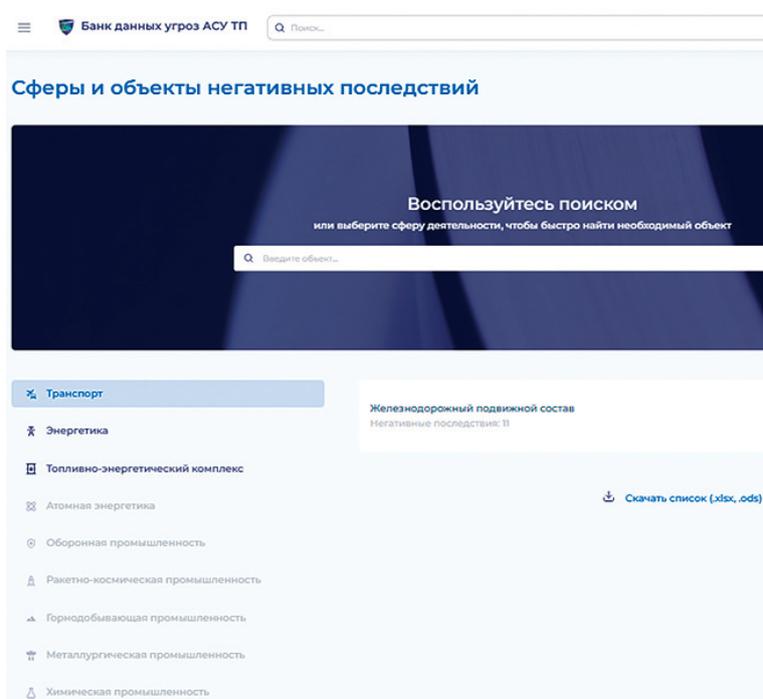


Рис. 2. Раздел «Транспорт» БДУ АСУ ТП

Таблица 2

Угрозы безопасности АСУ ТП [24]

Код	Наименование	Характеристика
1	2	3
УТП:01	Угроза утечки информации	Угроза заключается в возможности противоправного получения либо передачи информации (конфиденциальной, конфигурационной, аутентификационной, управляющей, измерительной и др.). Например, утечка значений параметров технологического процесса с АРМ оператора технологического процессом.
УТП:02	Угроза получения информационных ресурсов из недоверенного или скомпрометированного источника	Угроза заключается в возможности нарушения функционирования АСУ ТП и (или) внедрения в ее состав вредоносных программных или программно-аппаратных средств в результате получения компонентов программного обеспечения или его обновлений из недоверенных или скомпрометированных источников. Например, загрузка обновлений, содержащих программные закладки.
УТП:03	Угроза удаленного несанкционированного подключения к компонентам АСУ ТП	Угроза заключается в возможности получения удаленного доступа к информационным ресурсам АСУ ТП с использованием штатных средств удаленного доступа, предоставляемых компонентами АСУ ТП, и (или) проведения сетевой атаки. Например, использование сервисов и ресурсов корпоративной сети предприятия для получения доступа к компонентам АСУ ТП.
УТП:04	Угроза несанкционированного доступа	Угроза заключается в возможности получения доступа к информационным ресурсам, нарушающего установленные в АСУ ТП правила разграничения доступа, с использованием штатных средств, предоставляемых компонентами АСУ ТП. Например, несанкционированный доступ к информации, хранимой на файловом хранилище.
УТП:05	Угроза несанкционированной модификации (искажения)	Угроза заключается в возможности изменения содержания или формы представления обрабатываемой в АСУ ТП информации (конфигурационной, аутентификационной, управляющей, измерительной и др.), нарушающего установленный в АСУ ТП порядок обработки информации и правила разграничения доступа. Например, искажение отображаемой средствами человеко-машинного интерфейса информации.
УТП:06	Угроза несанкционированной подмены	Угроза заключается в возможности внедрения ложного или подмены существующего компонента АСУ ТП и (или) обрабатываемой с его использованием информации. Например, несанкционированная загрузка в ПЛК некорректных значений переменных.
УТП:07	Угроза удаления информационных ресурсов	Угроза заключается в возможности удаления обрабатываемой в АСУ ТП (конфиденциальной, конфигурационной, аутентификационной, управляющей, измерительной и др.), нарушающего установленных в АСУ ТП правил разграничения доступа. Например, удаление файлов проектов управления и контроля.

Табл. 2. Окончание

1	2	3
УТП:08	Угроза отказа в обслуживании	Угроза заключается в недоступности АСУ ТП или ее компонентов и (или) приостановлении оказания услуг или предоставления сервисов для авторизованных пользователей (в том числе до перезагрузки или проведения восстановительных работ). Например, вывод из строя (отказ в обслуживании) модуля ввода-вывода.
УТП:09	Угроза нарушения функционирования (работоспособности)	Угроза заключается в возможности нарушения штатного функционирования компонентов АСУ ТП и (или) задержке (замедлении) времени обработки информации. Например, выключение или перезагрузка ПЛК за счет несанкционированной отправки специального сетевого пакета.
УТП:10	Угроза несанкционированного сбора данных об автоматизированной системе управления	Угроза заключается в возможности сбора нарушителем данных о конфигурации АСУ ТП, учетных записях пользователей, применении программных и аппаратных средствах, перечнях открытых портов и запущенных сервисов, возможных уязвимостей программного обеспечения, используемых протоколах передачи данных и другой информации, необходимой для реализации компьютерной атаки. Например, сканирование технологической сети для определения доступных хостов.

Выводы

В качестве выводов отметим следующее.

1. Создание ИСВТ сопровождается появлением новых типов угроз, обусловленных обработкой больших объемов информации, сложностью, уязвимостями и недеklarированными возможностями используемых новейших технологий (информационных, телекоммуникационных, автоматизированного и автоматического управления, ИИ и др.), реализуемых путем компьютерных атак, неустранения ошибок ПО, загрузки ПО из недоверенных источников, инициирования недеklarированного поведения ИИ и др. способами.

2. Новыми для ИСВТ угрозами безопасности являются также:

- несовершенство нормативной правовой базы разработки и реализации ИСВТ, отставание которой от состояния готовых к внедрению и, возможно, используемых технологий создает условия для неучета актов незаконного вмешательства нефизического происхождения в функционирования объектов ИСВТ;

- цифровое неравенство автоматизированных систем технологического и корпоративного управления в обеспеченности средствами защиты и персоналом, способными обеспечить комплексную защиту объектов ИСВТ от актов незаконного вмешательства физической и нефизической природы происхождения.

3. Решение задач обеспечения безопасности ИСВТ должно носить комплексный характер. Меры безопасности должны охватывать все этапы жизненного цикла ИСВТ, а их реализация начинаться заблаговременно. 

Исследование выполнено в рамках стратегического проекта № 3 «Электронная навигация и беспилотное (автономное) судовождение» по программе стратегического академического лидерства «Приоритет-2030» по теме «Реализация проектов по разработке конструкторско-технологических решений и программных продуктов в области систем управления автономным судном на основе удаленного доступа (включая системы объективного контроля, обеспечения безопасности и живучести)».

Литература

1. Козлов, Л. Н. О концептуальных подходах формирования и развития интеллектуальных транспортных систем в России / Л. Н. Козлов, Ю. М. Урличич, Б. Е. Циклис. - Текст : непосредственный // Транспорт Российской Федерации. - 2009. - № 3-4 (22-23). - С. 30-35.
2. ГОСТ Р 56829-2015. Интеллектуальные транспортные системы. Термины и определения = Intelligent transport systems. Terms and definitions : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 10 декабря 2015 г. № 2150-ст : дата введения 2016-06-01. - URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200128315?ysclid=m4gn8yqc7j399550789> (дата обращения: 09.12.2024). - Режим доступа : Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. - Текст : электронный.
3. ПНСТ 555-2021. Интеллектуальные транспортные системы. Системы искусственного интеллекта для автоматизации управления автомобильными транспортными средствами. Классификация и общие технические требования. = Intelligent transport systems. Artificial intelligent systems for automatization of motor vehicle driving. Classification and general technical requirements : предварительный национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 26 ноября 2021 г. № 48-пнст : срок действия с 2022-03-01 до 2023-03-01. - URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200181919?ysclid=m4gnna7k6x8-53460858> (дата обращения: 09.12.2024). - Режим доступа : Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. - Текст : электронный.
4. Intelligent transport systems. Handbook on Land Mobile (including Wireless Access). International Telecommunication Union Radiocommunication Sector. Volume 4, 2021 edition. - URL: https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/hdb/R-HDB-49-2021-PDF-E.pdf (дата обращения: 25.08.2024). - Текст : электронный.
5. Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года (утверждена Распоряжением Правительства Российской Федерации от 27.11.2021 № 3363-р). - URL: <http://static.government.ru/media/files/7enYF2uL5kFZIOpQhLl0nUT91RjCbeR.pdf> (дата обращения: 25.08.2024). - Текст : электронный.
6. Приоритетные направления научно-технологического развития Российской Федерации (утверждены Указом Президента Российской Федерации от 18.06.2024 № 529). - URL: <https://docs.cntd.ru/document/1306389112?ysclid=m4go7fjnvk639317311> (дата обращения: 09.12.2024). - Режим доступа : Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. - Текст : электронный.
7. Перечень важнейших наукоемких технологий Российской Федерации (утвержден Указом Президента Российской Федерации от 18.06.2024 № 529). - URL: <https://docs.cntd.ru/document/1306389112?ysclid=m4goatbeh9215270477> (дата обращения: 09.12.2024). - Режим доступа : Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. - Текст : электронный.
8. Михалевич, И. Ф. Концептуальные проблемы транспортной безопасности водных интеллектуальных транспортных систем / И. Ф. Михалевич. - Текст : непосредственный // Надежность. - 2024. - № 2. - С. 72-87. - <https://doi.org/10.21683/1729-2646-2024-24-2-72-87>.
9. Михалевич, И. Ф. Проблемы обеспечения безопасности автономного судоходства на внутренних водных путях / И. Ф. Михалевич / Москва : Горячая линия - Телеком, 2024. - 335 с. - Текст : непосредственный.
10. ГОСТ Р 51624-2000. Автоматизированные информационные системы в защищенном исполнении. Общие требования : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : принят и введен в действие Постановлением Госстандарта России от 30 июня 2000 г. № 175-ст.: введен впервые. - URL: <https://гостайна.рф/gost-r-51624-00-zi-as-v-zashchishchennom-ispolnenii-obshchie-trebovaniya?ysclid=m4gq25ol2e18078858> (дата обращения: 09.12.2024). - Режим доступа : Центр новых технологий Импульс. - Текст : электронный.
11. ГОСТ Р 51583-2014. Защита информации. Порядок создания автоматизированных систем в защищенном исполнении. Общие положения = Information protection. Sequence of protected operational system formation. General provisions : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 28 января 2014 г. № 3-ст.: переиздание. Октябрь 2018 г. - URL: <https://docs.cntd.ru/>

document/1200108858?ysclid=m4gqcv18s9579104562 (дата обращения: 09.12.2024). - Режим доступа : Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. - Текст : электронный.

12. Технический регламент о безопасности объектов внутреннего водного транспорта (утвержден Постановлением Правительства Российской Федерации от 12.08.2010 № 623). - URL: <https://docs.cntd.ru/document/902231454?ysclid=m4gqql0ilmc135551877> (дата обращения: 09.12.2024). - Режим доступа : Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. - Текст : электронный.

13. Требования по обеспечению транспортной безопасности, учитывающие уровни безопасности для транспортных средств морского и внутреннего водного транспорта (утв. Постановлением Правительства Российской Федерации от 08.10.2020 № 1637). - URL: <https://docs.cntd.ru/document/565983839?ysclid=m4gqmwvlqz509256631> (дата обращения: 09.12.2024). - Режим доступа : Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. - Текст : электронный.

14. Требования по обеспечению транспортной безопасности, в том числе требования к антитеррористической защищенности объектов (территорий), учитывающие уровни безопасности для различных категорий объектов транспортной инфраструктуры морского и речного транспорта (утв. Постановлением Правительства Российской Федерации от 08.10.2020 № 1638). - URL: <https://docs.cntd.ru/document/565983835?ysclid=m4gqq4argq346819313> (дата обращения: 09.12.2024). - Режим доступа : Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. - Текст : электронный.

15. Требования по обеспечению транспортной безопасности, в том числе требования к антитеррористической защищенности объектов (территорий), учитывающие уровни безопасности для объектов транспортной инфраструктуры морского и речного транспорта, не подлежащих категорированию (утверждены Постановлением Правительства Российской Федерации от 10.10.2020 № 1651). - URL: <https://docs.cntd.ru/document/565995417?ysclid=m4gqts8s3c713642424>. - Режим доступа : Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. - Текст : электронный.

16. Информационная безопасность системы автономного судовождения в контексте специфических для интеллектуальных транспортных систем угроз / Л. А. Баранов, И. Ф. Михалевич, Н. Д. Иванова, С. С. Соколов. - Текст : непосредственный // Проблемы управления безопасностью сложных систем : материалы XXXI международной конференции, Москва, 13 декабря 2023 года. - Москва : Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН, 2023. - С. 249-256. - DOI: 10.25728/iccss.2023.53.91.033.

17. Российская Федерация. Законы. Федеральный закон «О безопасности критической информационной инфраструктуры Российской Федерации» от 26.07.2017 № 187-ФЗ. - URL: <https://docs.cntd.ru/document/436752114?ysclid=m4grgngr58397410000> (дата обращения: 09.12.2024). - Режим доступа : Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. - Текст : электронный.

18. ГОСТ Р 51275-2006. Защита информации. Объект информатизации. Факторы, воздействующие на информацию. Общие положения = Protection of information. Object of informatisation. Factors influencing the information. General : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27 декабря 2006 г. № 374-ст.: переиздание : Декабрь 2018 г. - URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200057516?ysclid=m4grji72of81237717> (дата обращения: 09.12.2024). - Режим доступа : Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. - Текст : электронный.

19. Threat Landscape Transport Sector. ENISA, March 21, 2023. - URL: <https://www.enisa.europa.eu/publications/enisa-transport-threat-landscape> (дата обращения: 16.09.2024). - Текст : электронный.

20. Аналитический отчет: Ландшафт киберугроз для России и СНГ 2024. Лаборатория «Касперского». - URL: https://go.kaspersky.com/rs/802-IJN-240/images/Report_Threat_Landscape_RU.pdf (дата обращения: 22.05.2024). - Текст : электронный.

21. Кибербезопасность на бескрайних морях. Блог компании Positive Technologies. - URL: <https://habr.com/ru/companies/pt/articles/303198/> (дата обращения: 04.07.2023). - Текст : электронный.

22. ГОСТ Р 59298-2021. Суда безэкипажные внутреннего плавания. Термины и определения = Unmanned inland navigation vessels. Terms and definitions : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29 января 2021 г. № 29-ст.: введен впервые: дата введения 2021-04-01. - URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200177819?ysclid=m4gugpvgr3786113598> (дата обращения: 09.12.2024). - Режим доступа : Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. - Текст : электронный.

23. ГОСТ Р 59284-2020. Суда безэкипажные технического флота. Общие требования = Unmanned vessels of technical fleet. General requirements: национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : введен впервые утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29 декабря 2020 г. № 1429-ст Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29 декабря 2020 г. № 1429-ст (дата обращения: 09.12.2024). -Режим доступа : Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. - Текст : электронный.

24. Национальная стратегия развития искусственного интеллекта на период до 2030 года (утв. Указом Президента Российской Федерации от 10.10.2019 г. № 490, в редакции Указа от 15.02.2024 № 124). - URL: <https://docs.cntd.ru/document/563441794?marker=65C0IR> (дата обращения: 09.12.2024). - Режим доступа : Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. - Текст : электронный.

25. Баранов, Л. А. Нечеткая система оценки рисков информационной безопасности интеллектуальных систем водного транспорта / Л. А. Баранов, Н. Д. Иванова, И. Ф. Михалевич. - Текст : непосредственный // Автоматика на транспорте. - 2024. - Т. 10, № 1. - С. 7-17. - DOI: 10.20295/2412-9186-2024-10-01-7-17.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ПОЛЕТОВ ДЛЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОГО И ОРНИТОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЛЕТОВ

Одним из главных элементов обеспечения безопасности полетов в гражданской авиации является создание систем управления безопасностью полетов (СУБП). В соответствии с документами ИКАО и РФ СУБП должны быть разработаны для каждого вида обеспечения полетов. Рассматриваются два варианта разработки СУБП: для телекоммуникационного обеспечения полетов и для орнитологического обеспечения полетов.



А.В. Власова



В.В. Воробьев

Ключевые слова: безопасность полетов, система управления безопасностью полетов, опасный фактор, фактор риска

EDN: ORKEJD

Современная мировая гражданская авиация (ГА) выполняет полеты на основе реализации концепции ИКАО (ICAO – International Civil Aviation Organization) CNS/ATM (Communication, Navigation, Surveillance / Air Traffic Management – связь, навигация, наблюдение/организация воздушного движения), в которой определены частные пути развития мировой ГА в ближайшие десятилетия. В рамках реализации этой концепции были также разработаны Глобальный план обеспечения безопасности полетов (ГПБП) и Глобальный аэронавигационный план (ГАНП). Во всех этих и других документах ИКАО указано, что наивысшим приоритетом для ГА является обеспечение безопасности полетов (БП).

В соответствии с Руководством по управлению БП (РУБП), безопасность полетов – это состояние, при котором возможность (вероятность) причинения ущерба лицам или имуществу снижена до приемлемого уровня и поддерживается на этом и более низком

уровне посредством постоянного процесса выявления опасных факторов (ОФ) и управления факторами риска (ФР) [3]. В данном определении имеются два фундаментальных понятия: ОФ и ФР и указывается, что ОФ необходимо выявлять, а ФР следует управлять, что и составит процедуру управления безопасностью полетов.

В документах ИКАО нет определения собственно понятий ОФ и ФР, но по смыслу определения понятия БП можно предложить следующую трактовку для определения ОФ и ФР.

Появление ОФ означает возникновение таких условий выполнения полета воздушного судна (ВС), при которых появляется определенная вероятность причинения ущерба лицам или имуществу и требуется учет этого обстоятельства. Под понятием ФР можно понимать такое состояние выполнения полетов ВС, когда происходит заметное увеличение вероятности возможности причинения ущерба лицам или имуще-

Власова Арусся Витальевна, кандидат технических наук, доцент кафедры организации перевозок на воздушном транспорте Московского государственного технического университета гражданской авиации (МГТУ ГА). Область научных интересов: безопасность полетов на воздушном транспорте, организация перевозок на воздушном транспорте. Автор 20 научных работ.

Воробьев Вадим Вадимович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой безопасности полетов и жизнедеятельности Московского государственного технического университета гражданской авиации (МГТУ ГА). Область научных интересов: безопасность полетов на воздушном транспорте. Автор 67 научных работ.

ству по отношению к значению вероятности появления ОФ и требуется принятия соответствующих мер по устранению создавшихся условий полета ВС, т.е. устранения ФР.

Таким образом, для выполнения требований по обеспечению БП, необходимо своевременно выявлять ОФ с целью их учета и контроля, далее принимая необходимые меры по устранению ФР, если в них перешли те или иные ОФ. Поэтому целью данного исследования является разработка орнитологического и телекоммуникационного блоков СУБП аэропорта.

Методология

В РУБП приведена матрица оценки ФР для БП, показанная в табл. 1 [3].

В РУБП даны разъяснения, что следует понимать под каждой категорией «Серьезность риска», из которых следует, что категории «незначительная» и «ничтожная» могут быть переведены в ОФ. При этом отмечается, что ФР для БП концептуально оцениваются как приемлемые, допустимые или недопустимые. ФР, попадающие в зону недопустимых рисков неприемлемы ни при каких условиях.

Необходимо отметить, что ФР для БП, оцененные в зоне допустимых рисков, приемлемы при условии, что реализованы адекватные компенсационные меры. Особо обратим внимание, что приемлемые ФР являются по сути ОФ и не требуют специальных мер по их устранению, в отличие от допустимых ФР, которые могут быть переведены в ОФ после определенных действий.

В соответствии с основными положениями РУБП для обеспечения нормативных требований по БП на каждом авиапредприятии, осуществляющем полеты ВС, необходимо сформировать соответствующую систему управления БП (СУБП).

При этом у поставщика услуг — аэропорта должно быть СУБП объединяющее все виды обеспечения

Таблица 1

Матрица оценки ФР для БП

Вероятность рисков		Серьезность рисков				
		катастрофические А	опасные В	серьезные С	легкие D	незначительные Е
частые	5	5А	5В	5С	5D	5Е
редкие	4	4А	4В	4С	4D	4Е
отдаленные	3	3А	3В	3С	3D	3Е
маловероятные	2	2А	2В	2С	2D	2Е
крайне маловероятные	1	1А	1В	1С	1D	1Е

полетов, задача которой является выявление в соответствующей сфере обеспечения полетов ОФ и управления возникающим ФР. То есть необходимо создание некой блочной СУБП, координирующей работу всех служб и подразделений

Общие принципы создания СУБП для всех поставщиков услуг и видов обеспечения полетов ВС изложены в РУБП, а также в отечественных нормативных документах, а именно в Постановлении Правительства РФ №642 и в Приказе Министерства транспорта РФ № 331 [4;5].

Рассмотрим возможности создания СУБП для двух видов авиационного обеспечения полетов, в рамках СУБП аэропорта: радиотехнического и орнитологического. Такой выбор связан с тем, что радиотехническое обеспечение полетов ВС играет основополагающую роль в выполнении полетов ВС, о чем свидетельствует тот факт, что реализация ГАНП в ближайшие годы включает в себя 19 блоков, из которых 16 относятся к различным аспектам использования радиоэлектронных систем (РЭС) [6;7].

Важно учесть создание СУБП при орнитологическом обеспечении полетов, о чем будет сказано далее.

Обычно в системы радиотехнического обеспечения полетов включают радиолокационные и радионавигационные системы, а также системы телекоммуникаций. Каждая из этих систем включает свои радиосредства, такие как радиолокационные станции управления воздушным движением (УВД), посадочные радиолокаторы, метеорологические радиолокаторы и другие.

Каждый вид радиоэлектронного оборудования (РЭО) можно проранжировать по степени его влияния на БП с точки зрения выявления необходимости создания для него СУБП.

Полагается, что эта тема отдельного исследования, так как отказы некоторых видов РЭО представляют собой допустимый ФР, т. е. могут рассматриваться как ОФ с ничтожной серьезностью риска в соответствии с табл. 1.

В качестве примера системы реализации СУБП выберем телекоммуникационную систему речевой связи «диспетчер УВД — командир воздушного судна (КВС)».

Отметим, что невзирая на широкое развитие цифровой радиосвязи в ГА, из документов ИКАО следует, что речевая связь по линии «диспетчер УВД- КВС» будет сохраняться практически всегда в силу требований БП.

Как известно, любая радиосистема постоянно функционирует в условиях действий различных видов шумов и помех, интенсивность которых случайным

образом изменяется во времени в зависимости от условий функционирования аппаратуры и состояния окружающей среды.

Потеря речевой радиосвязи «диспетчер УВД-КВС» в какой-то момент времени расценивается как серьезный инцидент и должна считаться появлением ФР с оценкой 4В (см. табл. 1). Рассмотрим этот вопрос более подробно с целью возможности построения СУБП для управления указанным ФР.

Если происходит потеря радиосвязи по линии «диспетчер УВД–КВС», то возникает необходимость повторения радиосообщения, т.е. происходит переспрос, который определяется некоторой вероятностью P_n , зависящей от уровня действующих помех, а суммарные временные затраты на одну связь с учетом переспросов могут быть представлены в виде [8]:

$$\tau_{свн} = \tau_{св0} \left(\frac{1}{1 - P_n} \right), \quad (1)$$

где $\tau_{св0}$ – длительность сеанса связи без переспросов; $\tau_{свн}$ – длительность сеанса связи при наличии переспросов; P_n – вероятность переспроса.

При определенных значениях P_n длительность сеанса связи может вырасти настолько, что коэффициент загрузки диспетчера УВД K_z достигнет значения 0,7, что является по нормативам ИКАО недопустимым [9]. Отметим, что нормативное значение K_z составляет 0,55.

Как отмечалось выше, значение P_n определяется уровнем помех, действующих на трассе. Если значение P_n из-за действий помех увеличивает K_z до значений более 0,55, необходимо фиксировать появление ОФ, а если K_z приближается к значению 0,7 необходимо фиксировать появление ФР и принимать соответствующие меры по снижению значения P_n .

На основе этой информации можно показать возможности построения СУБП для рассматриваемого случая.

Начало работы по созданию телекоммуникационного блока СУБП необходимо начинать с мониторинга помеховой обстановки в соответствующей зоне выполнения полетов.

На первом этапе анализа составляется карта помех, которая отражает возможность попадания сигналов от других источников излучения радиоволн в полосу пропускания действующего приемника. На этом этапе не проводится оценка возможности подавления или искажения полезного сигнала, а выясняются возможные источники негативного воздействия.

На втором этапе анализа следует учитывать мощности воздействующих помеховых сигналов, время их возникновения, источники их появления (имеется в виду место их расположения) и другие необходи-

мые сведения. На основе этих данных может быть построена прогностическая модель воздействия помех на используемое оборудование. При этом обратим внимание, что для решения поставленной задачи не требуется точного решения задачи с указанием конкретных цифр. Можно ограничиться интервальными оценками, которые укажут на то, есть или нет основания для выявления ОФ. Возможно также применение методов математического моделирования для создания соответствующей карты помех.

Итоговым результатом проведенных исследований должна явиться полная карта помеховой обстановки данного региона, где указываются уровни вероятности возникновения ОФ во времени и по месту. Наличие такой помеховой карты обеспечивает выбор соответствующих режимов работы задействованного РЭО для максимального устранения негативного действия помех в данном ВП в соответствующее время.

Для рассматриваемого радиоканала «диспетчер УВД–КВС» имеется соотношение для интенсивности радиообмена [9]:

$$\mu = \mu_0 \left(1 - e^{-\frac{\lambda}{\lambda_m}} \right), \quad (2)$$

где μ_0 – максимально возможная для данного канала связи интенсивность радиообмена; λ – интенсивность воздушного движения, λ_m – максимально возможная интенсивность воздушного движения, обеспечивающая требуемые значения показателей БП, т.е. λ_m есть пропускная способность конкретной зоны УВД.

Из соотношения (2) следует, что, если в данной конкретной зоне УВД действуют интенсивные радиопомехи (в определенное время), то следует снижать интенсивность радиообмена, т.е. уменьшать интенсивность воздушного движения. Эта мера позволит не перерасти ОФ в ФР.

Результаты

Таким образом этапы создания СУБП для рассматриваемого случая показаны на рис. 1.

Далее перейдем к рассмотрению второй ситуации, т.е. возникновению ОФ, связанных с орнитологической обстановкой на трассе полета ВС.

Отметим, что данное рассмотрение методически принципиально отличается от предыдущего тем, что помехи в любом радиоканале присутствуют всегда, а вопросы орнитологического обеспечения полетов могут присутствовать или отсутствовать для того или иного авиапредприятия.

Тем, не менее, данное рассмотрение весьма актуально, так как в самых разных источниках в последнее время указывается, что интенсивность появления орнитологических проблем на трассах выполнения

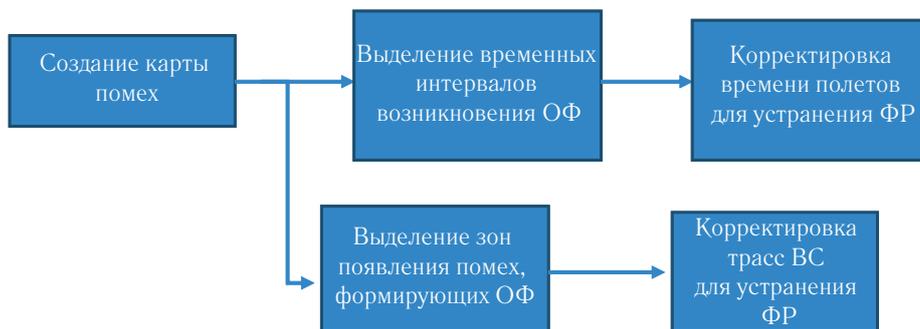


Рис. 1. Последовательность формирования СУБП при телекоммуникационном обеспечении полетов

полетов ГА во всем мире и в России, в частности, существенно возросла [10–13]. Поэтому кратко опишем в целом сложившуюся ситуацию и предложим вариант разработки СУБП для данного случая.

В [13] приводятся данные, что, начиная с 2004 года, ежегодно количество авиационных происшествий, связанных с орнитологической обстановкой, в пересчете на 100 тыс. взлетов и посадок, в РФ к 2017 году выросли от 1,55 до 3,71, т.е. увеличение составило 2,4 раза и наблюдается тенденция дальнейшего увеличения упомянутого показателя.

Одновременно обратим внимание, что аналогичные цифры в США составили рост от 1,16 до 1,52, т.е. отношение было 1,3, что почти в 2 раза ниже, чем в России. Далее рассмотрим анализ этих цифр.

Поэтому проблема создания блока СУБП для орнитологического обеспечения полетов ВС в РФ стоит достаточно остро, что и обусловило появление соответствующих нормативных документов РФ в 2022 и 2023 годах.

В этих документах указывается на необходимость раз в 5 лет на каждом авиапредприятии анализировать орнитологическую обстановку и соответствующие данные заносить в аэронавигационный паспорт аэродрома и публиковать в соответствующих сборниках аэронавигационной информации.

При этом отмечается, что помимо орнитологической службы (ОС) аэропорта, за орнитологической обстановкой должны также следить и соответствующие службы организации воздушного движения.

Отсюда возникает возможность появления еще одного ОФ, переходящего при определенных условиях, в ФР, если сложилась определенная орнитологическая обстановка. На это указано в работе [12], где проанализировано взаимодействие службы ОВД и ОС на основе реальных измерений. Ранее было показано,

что коэффициент загрузки диспетчера УВД может стать ОФ, переходящим в ФР при определенных условиях [9]. Данные работы [12] показывают, при каких условиях K_z становится ОФ при орнитологическом воздействии, сами эти условия описаны в [14].

Таким образом, исходными данными для создания СУБП при орнитологическом обеспечении полетов являются указанные выше сведения, приводимые в аэронавигационном паспорте и в сборнике аэронавигационной информации. Эти данные представляют собой возможные варианты возникновения орнитологической ситуации, а реальная ситуация фиксируется в конкретном месте и в конкретное время. Прежде всего такая ситуация фиксируется визуально, хотя в нормативных документах РФ по созданию СУБП указывается необходимость радиолокационного контроля. Рассмотрим этот вопрос более подробно.

Для проведения радиолокационного контроля орнитологической обстановки необходимо использование специального орнитологического радиолокатора [18]. Именно такие радиолокаторы, типа «Merlin», используются в США. Возможно, по этой причине, БП, связанная с орнитологической обстановкой в США, количественно в 2 раза лучше, чем в РФ, где нет ни одного орнитологического радиолокатора [16–17].

Отсюда возникает насущная необходимость разработки орнитологического радиолокатора в РФ, что при потенциальных возможностях соответствующей промышленности в РФ вполне реально.

Таким образом, в РФ на практике реальное обнаружение орнитологической опасности возможно только визуально. Далее необходимо применять меры по устранению этой опасности, перечень которых приведен в [5]. В него входят, например, химические средства, подача звуковых сигналов, применение световых эффектов и т.д.

Однако, как показывает практика [13] известные применяемые средства отпугивания птиц, являются малоэффективными и в реальности не решают задачу. В то же время в [5] указаны в качестве средств разгона птиц беспилотные ВС и радиоуправляемые модели.

К сожалению, на практике эти средства решения орнитологических проблем на практике не применяются. Поэтому представляется целесообразным уделить особое внимание разработке и применению указанных средств для решения орнитологических проблем.

Таким образом, можно предложить следующую схему СУБП при возникновении орнитологической ситуации, изображенную на рис. 2.

Здесь необходимо отметить что обычные методы, не столь эффективны для отпугивания птиц. К обычным методам относятся биоакустические установки; газовые пушки; трещетки; зеркальные шары; лазерные отпугиватели; сети; муляжи, имитирующие мертвых птиц; химические методы. Поэтому целесообразно в ближайшем будущем, в качестве основных средств отпугивания птиц от аэродромов использовать радиоуправляемые модели и беспилотные ВС [15]. Сам этот вопрос тре-

бует отдельных и достаточно серьезных исследований в самое, ближайшее время, так как остальные указанные выше средства, используемые уже десятки лет, показали свою невысокую эффективность.

Выводы

Разработанная система будет особо актуальна для аэропортов в Южном МТУ Росавиации, так как анализ данных Росавиации показал, что лидером по числу инцидентов на 100 тыс. взлетов и посадок в аэропортах (их районах), связанных со столкновением с птицами, является Южное МТУ Росавиации (4,06 инцидентов) (рис. 3).

По числу инцидентов и сообщений о столкновениях воздушных судов с птицами лидируют следующие аэропорты южного МТУ Росавиации: Владикавказ (Беслан), Махачкала, Минеральные Воды [15]. Именно в представленных аэропортах, в первую очередь необходимо внедрять блок СУБП при орнитологическом обеспечении полетов.

Таким образом представленные блоки СУБП, должны быть внедрены в СУБП аэропорта, для выявления и контроля за ОФ и устранения ФР.



Рис. 2. Этапы создания СУБП при орнитологическом обеспечении полетов

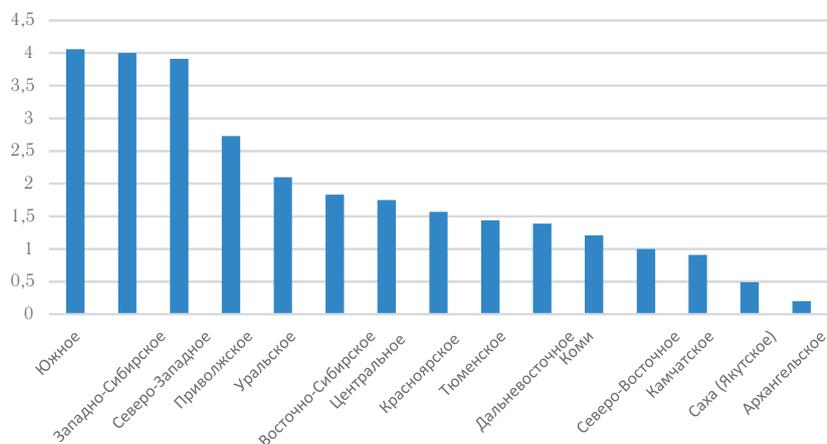


Рис. 3. Распределение относительного числа инцидентов (число инцидентов на 100 тыс. взлетов и посадок в аэропортах (их районах)), связанных со столкновением с птицами по территориальным органам Росавиации

Литература

1. Глобальный аэронавигационный план // icao.int. - URL: https://www.icao.int/meetings/a38/documents/ganp_ru.pdf (дата обращения: 10.12.2024). - Текст : электронный.
2. Глобальный план обеспечения безопасности полетов // icao.int. - URL: https://www.icao.int/safety/Documents/10004_ru.pdf (дата обращения: 10.12.2024). - Текст : электронный.
3. Руководство по управлению безопасности полетов. Doc. 9859, 2018. - URL: <https://zs.favt.ru/public/materials/4/1/1/2/7/41127be1e8f43c7fe930bea9c758f90a.pdf> (дата обращения: 10.12.2024). - Текст : электронный.
4. Постановление Правительства РФ № 642 от 12 апреля 2022 г. Правила разработки и применения систем управления безопасностью полетов воздушных судов, а также сбора и анализа данных о факторах опасности и риска, создающих угрозу безопасности полетов гражданских воздушных судов, хранения этих данных и обмена ими в соответствии с международными стандартами Международной организации гражданской авиации. - URL: <https://docs.cntd.ru/document/350213806?ysclid=m4idhdd168185505646>. - Режим доступа : Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов (дата обращения: 10.12.2024). - Текст : электронный.
5. Приказ Министерства транспорта РФ № 331 от 2 октября 2023 г. Федеральные авиационные правила «Правила борьбы с опасностью, создаваемой объектами животного мира на аэродромах гражданской авиации». - URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202311010015?ysclid=m4idop9y2y728449-206> (дата обращения: 10.12.2024). - Текст : электронный.
6. Воробьев, В. В. Роль радиоэлектронного оборудования в управлении безопасностью полетов при реализации глобального аэронавигационного плана ИКАО / В. В. Воробьев, А. В. Власова. - Текст : непосредственный // Научный Вестник МГТУ ГА. - 2017. - № 4. - С. 156-161.
7. Власова А. В. Радиоэлектронное оборудование гражданской авиации как компонент управления безопасностью полетов / А. В. Власова, В. В. Воробьев. - Текст : электронный // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: материалы международной научно-технической конференции молодых ученых, Могилев, 26-27 октября 2017 г. / редкол.: И. С. Сазонов (гл. ред.) [и др.]; <http://e.biblio.bru.by/ha>. - Могилев : Белорусско-Российский университет, 2017. - С. 228. - URL: <http://e.biblio.bru.by/handle/12121212/9900?show=full> (дата обращения: 10.12.2024).

8. Униченко, Е. Г. Влияние качества функционирования каналов авиационной командной связи на безопасность и эффективность УВД / Е. Г. Униченко. - Текст : непосредственный // Научный Вестник МГТУ ГА. - 2013. - № 193. - С. 84-86.
9. Власова, А. В. Коэффициент загрузки диспетчера УВД как показатель уровня управления безопасностью полетов / А. В. Власова. - Текст : непосредственный // Научный вестник ГосНИИ ГА. - 2018. - № 22. - С. 102-108.
10. Парфенов, Н. А. Разработка автоматизированной системы для безопасной эксплуатации летательных аппаратов / Н. А. Парфенов, Д. И. Матюхин, А. В. Звягинцева. - Текст : непосредственный // Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах. - 2022. - № 3(29). - С. 45-49.
11. Люсов, Е. В. Проблемные вопросы безопасной эксплуатации воздушного транспорта / Е. В. Люсов. - Текст : непосредственный // Транспорт. Горизонты развития : Труды 2-го Международного научно-промышленного форума, Нижний Новгород, 07-09 июня 2022 года. - Нижний Новгород : Волжский государственный университет водного транспорта, 2022. - С. 132.
12. Исследование технологии взаимодействия службы обслуживания воздушного движения и орнитологической службы / В. Н. Нечаев, М. В. Кулаков, Г. А. Гаспарян [и др.]. - Текст : непосредственный // Научный Вестник МГТУ ГА. - 2023. - Т. 26, № 1. - С. 49-57. - DOI: 10.26467/2079-0619-2023-26-1-49-57.
13. Гузий, А. Г. Методологический подход к количественному оцениванию риска, обусловленного столкновением воздушных судов с птицами / А. Г. Гузий, А. П. Костина. - Текст : непосредственный // Вестник МГТУ ГА. - 2022. - Т. 25, № 5. - С. 12-24. - DOI: 10.26467/2079-0619-2022-25-5-12-24.
14. Власова, А. В. Сравнительный анализ моделей загруженности диспетчера управления воздушным движением / А. В. Власова // Гражданская авиация: XXI век: сборник материалов X Международной молодежной научной конференции (5-6 апреля 2018 г.). - Ульяновск : УИ ГА, 2018. - С. 120-121.
15. Мацюра, А. В. Радиолокационные орнитологические наблюдения: краткий обзор стационарных и мобильных комплексов / А. В. Мацюра. - Текст : непосредственный // Acta Biologica Sibirica. - 2015. - № 1 (3-4). - С. 118-147.
16. Phillips, Adam C.; Majumdar, Siddhartha; Washburn, Brian E.; Mayer, David; Swearingin, Ryan M.; Herricks, Edwin E.; Guerrant, Travis L.; Beckerman, Scott F.; Pullins, Craig K. «Efficacy of Avian Radar Systems for Tracking Birds on the Airfield of a Large International Airport». Wildlife Science Bulletin, 2018.
17. Geringer, Michael B; Lima, Steven L.; DeVault, Travis L. «Evaluation of an Avian Radar System in a Midwestern Landscape». Wildlife Science Bulletin, 2016.
18. Ruth J.M. Applying radar technology to migratory bird conservation and management: strengthening and expanding a collaborative: U.S. Geological Survey, 2007. Report number 2007-1361. - 86 p.

РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ РАБОТНИКОВ ЛОКОМОТИВНЫХ БРИГАД ГРУЗОВОГО ДВИЖЕНИЯ



Л.А. Леванчук

Безопасности процесса перевозок определяется надежностью работников локомотивных бригад. Исследования проведены в группе машинистов грузового движения. Результаты позволили установить, что работники не склонны рисковать, у них определен высокий уровень деперсонализации, формальном выполнении профессиональных обязанностей без личностной включенности и сопереживания. Это может отразиться на надежности работников и корпоративной безопасности.

Ключевые слова: работники локомотивных бригад, условия труда, надежность специалистов

EDN: XGLJRS

Для обеспечения безопасности процесса перевозок важной является проблема надежности специалистов, осуществляющих профессиональную деятельность в системе «человек—техника», в частности, работников локомотивных бригад. В настоящее время оценка надежности как элемент «человеческого фактора» оценивается на основании анкетирования и результатов физиолого-психологических исследований [1–3].

Материалы и методы

Исследования проведены среди машинистов грузового движения. Для изучения было роздано 140 анкет, 27% анкет оказались непригодными для анализа, т.к. не прошли проверку на искренность ответов. Выполнен анализ профессионально важных качеств работников локомотивных бригад (РЛБ) грузового движения и особенностей, связанных с безопасностью движения [4–14]. Для изучения средовых факторов, влияющих на профессионально важные качества

работников использована анкета, предложенная Е. А. Жидковой [15]. Статистическая обработка результатов проведена в ПК Excel 16.0; STATISTICA 10.0.

Результаты исследования

Возрастная структура опрошенных составляет 31% в возрасте 19–30 лет, 37% — в возрасте 31–40 лет, 32% в возрасте 41 год и старше. По стажу работы РЛБ распределены следующим образом: менее 5 лет — 26%, 6...10 лет — 27%, 11...20 лет — 32%, 21 год и более — 15%. Обычная продолжительность рабочей смены машинистов и помощников машинистов представлена как 8 часов у 5%, 12 часов у 72%, более 12 часов у 23%. У 60% график работы ненормированный. Более 90% РЛБ отметили наличие у них сверхурочной работы, 9% были отстранены от поездной работы из-за наезда. 66% опрошенных испытывают беспокойство в связи с шумом в кабине локомотива, 62% испытывают беспокойство от воздействия вибрации. Запахи в кабине беспокоят 59%

Леванчук Леонид Александрович, кандидат технических наук, ассистент кафедры «Техносферная и экологическая безопасность» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I (ПГУПС). Область научных интересов: охрана труда, организация риск-ориентированного контроля безопасности производственной деятельности. Автор 33 научных работ, в том числе одной монографии. Имеет два патента и пять свидетельств на программы для ЭВМ и базы данных.

опрошенных. При анализе температурного режима в кабине установлено, что в зимний период охлаждение ног испытывают 73% опрошенных, охлаждение рук – 25%, охлаждение всего тела – 59%, в летний период 77% РЛБ испытывают перегрев в кабине локомотива. 68% опрошенных считают, что их рабочая поза при управлении поездом является вынужденной, малоподвижной и способствует утомлению. 85% опрошенных РЛБ считают, что условия труда негативно влияют на их здоровье, более 90% РЛБ считают, что их условия труда нуждаются в улучшении. Основными причинами транспортных происшествий РЛБ считают вину третьих лиц и действие непреодолимых обстоятельств (рис. 1).

На рис. 2 представлены результаты ответов РЛБ о наличии у них хронической патологии, подтвержденной в лечебных учреждениях.

Во многом профессиональная надежность деятельности обеспечивается комплексной системой психологического обеспечения специалистов.

Диагностика личностных черт, наличия профессионально важных качеств (ПВК) посредством психодиагностических методик позволяет выявить группы риска для проведения мероприятий, направленных на профилактику сердечно-сосудистых заболеваний, переутомления и на сохранение профессионального долголетия.

Под системой ПВК понимают индивидуальные качества работника, влияющие на эффективность деятельности и успешность ее освоения [4–7]. Среди качеств наряду со здоровьем обозначены быстрота реакции, скорость и точность движений, координация, эмоциональная и психическая устойчивость, оперативность мышления [8–15].

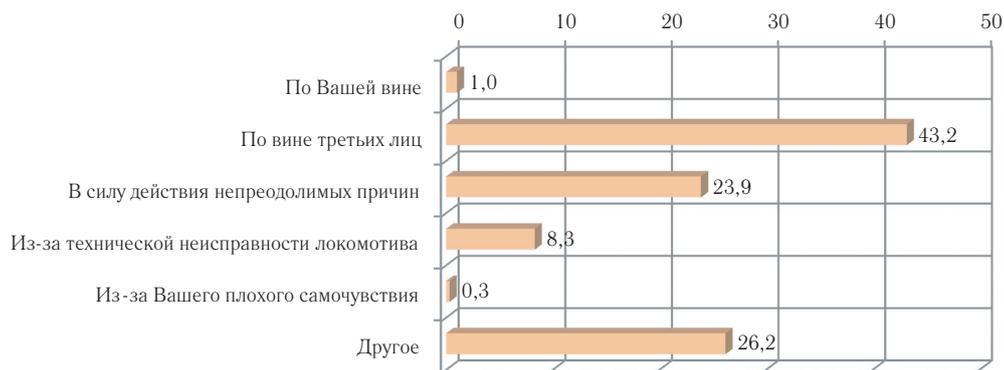


Рис. 1. Наличие транспортных происшествий у машинистов и помощников машинистов и их причины, %

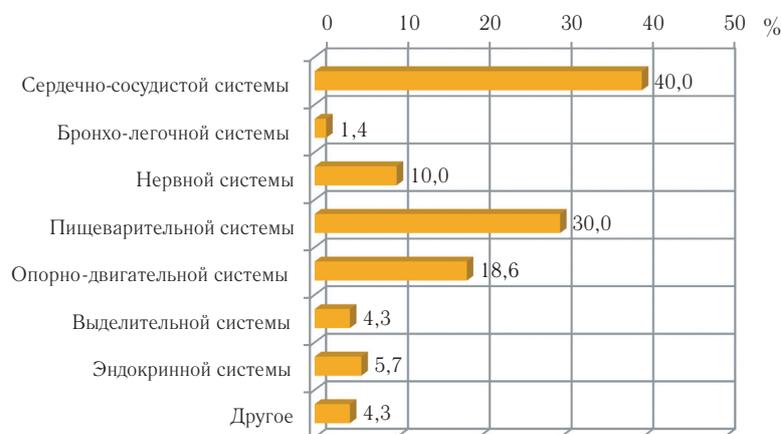


Рис. 2. Доля РЛБ, имеющих хронические заболевания

Выводы

Изучение стрессоров в жизни машинистов локомотивов позволило выявить, что основными являются финансовые проблемы (21%), отсутствие стабильного графика работы (18%), постоянное нарушение планов (11%).

У 52% работников локомотивных бригад диагностировано «Общее выгорание», у 48% «Эмоциональное истощение». Полученные результаты указывают на наличие у опрошенных явлений хронического утомления. У 46% опрошенных диагностированы признаки депрессии и раздражительности.

Обеспечение безопасности поездной работы зависит от качества отношения к выполнению РЛБ своих рабочих функций и обязанностей, от отношения непосредственно к самой организации. Это связывает данную проблематику с надежностью РЛБ и с психологией корпоративной безопасности. 

Литература

1. Гордиенко, Е. П. Методы повышения безопасности движения поездов / Е. П. Гордиенко. - Текст: непосредственный // Актуальные проблемы и перспективы развития транспорта, промышленности и экономики России (ТрансПромЭк - 2020) : труды Международной научно-практической конференции. - Воронеж : филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения в г. Воронеж», 2020. - С. 88-91.
2. Малахова, О. Ю. Векторы подготовки конкурентоспособного специалиста в контексте реализации клиентоориентированности ОАО «РЖД» на основе формирования корпоративных компетенций / О. Ю. Малахова, С. Н. Маланчева, А. П. Иванова. - Текст : непосредственный // Междисциплинарное взаимодействие в контексте подготовки специалистов железнодорожной отрасли : монография; Самарский государственный университет путей сообщения; Оренбургский институт путей сообщения. - Уфа : Общество с ограниченной ответственностью «Аэтерна», 2017 - 126 с. - С. 34-41.
3. Кулагин, М. А. Методы формирования рейтинга машинистов в рамках интеллектуальной системы / М. А. Кулагин, В. Г. Сидоренко, О. В. Харин. - Текст : непосредственный // Интеллектуальные транспортные системы: материалы II Международной научно-практической конференции, Москва, 25 мая 2023 г. - Москва, 2023. - С. 205-211. - DOI: 10.30932/9785002182794-2023-205-211.
4. Никитина, А. В. Развитие профессионально важных качеств в контексте подготовки специалиста железнодорожной отрасли / А. В. Никитина, Ю. Н. Егорова. - Текст : непосредственный // Научный поиск: теория и практика: альманах. - Уфа: Общество с ограниченной ответственностью «Аэтерна», 2017. - С. 128-130.
5. Рожковская, Е. В. Об особенностях психофизиологического обеспечения деятельности работников локомотивных бригад / Е. В. Рожковская, Н. В. Зоткин. - Текст : электронный // UNIVERSUM: психология и образование. - 2019. - № 1 (55). - С. 16-18. - URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=368522-61&ysclid=m4i2ip8xy9683558> (дата обращения: 10.12.2024).
6. Сокольская, М. В. Взаимосвязь профессионально-важных качеств и стрессоустойчивости личности машиниста локомотива как показателя(ей) профессионального здоровья / М. В. Сокольская. - Текст : электронный // Психологическое здоровье человека: жизненный ресурс и жизненный потенциал: материалы III Международной научно-практической конференции, Красноярск, 24-25 ноября 2016 года; главный редактор И. О. Логинова. - Версо, 2016. - С. 121-129. - URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=xg-kmvh&ysclid=m4i2uchagb137412002> (дата обращения: 10.12.2024).
7. Bell J. Review of human reliability assessment methods. Holroyd. — Buxton : HSE Books, 2019. - 79 p. - Текст : непосредственный
8. Hammerl M., Vanderhaegen F. Human factors in the railway system safety analysis process // 3rd International rail human factors conference (France). 2021. - URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/1113-7178.pdf> (дата обращения: 10.12.2024). - Текст : электронный
9. Диагностика профессионально важных качеств работников локомотивных бригад с помощью психодиагностических комплексов «VIENNA» и «УПД-МК» / В. В. Сериков, В. Я. Колягин, А. А. Закревская, Е. В. Богданова. - Текст : электронный // Социально-гуманитарные проблемы современности: сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции: в 5 частях, Белгород,

30 сентября 2017 года; Под общей редакцией Е. П. Ткачевой. - Белгород : Общество с ограниченной ответственностью «Агентство перспективных научных исследований», 2017. - С. 106-109. - URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30406612&ysclid=m4i3tm0jni201318359> (дата обращения: 10.12.2024).

10. Коршун, Е. А. Риск возникновения профессиональных заболеваний при воздействии вредных и опасных факторов на машинистов и помощников машинистов путевых машин / Е. А. Коршун, В. М. Медведева. - Текст : непосредственный // Проблемы безопасности российского общества. - 2022. - № 4 (40). - С. 76-80.

11. Москвин, А. А. Признаки, сигнализирующие о снижении функциональных резервов организма машинистов железнодорожного транспорта / А. А. Москвин, Е. Д. Целых, М. Х. Ахтямов. - Текст : непосредственный // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. - 2021. - Т.2. - С. 164-168.

12. Москвин, А. А. Оценка состояния функциональных показателей организма машинистов локомотивных бригад при прогнозировании чрезвычайных ситуаций на железнодорожном транспорте / А. А. Москвин. - Текст : непосредственный // Наука и техника транспорта. - 2023. - № 3. - С. 111-116.

13. Кравцова, А. В. Гигиеническая оценка условий труда машинистов железнодорожных составов и профессионального риска их здоровью / А. В. Кравцова. - Текст : непосредственный // Мечниковские чтения. - 2023 : сборник материалов конференции. 96-я Всероссийская научно-практическая конференция студенческого научного общества с международным участием. - Санкт-Петербург, 2023. - С. 176-177.

14. Невструева, Т. Х. Особенности профессионального выгорания машинистов локомотивов: в контексте проблемы повседневного стресса / Т. Х. Невструева, Г. А. Тимошенко. - Текст : непосредственный // Актуальные проблемы психологии труда и организационной психологии субъекта жизнедеятельности : сборник научных трудов Всероссийской научно-практической конференции, Хабаровск, 10-11 ноября 2022 года. - Хабаровск : Дальневосточный государственный университет путей сообщения, 2023. - С. 30-36. - URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50339565&ysclid=m4i54pgrax587560147> (дата обращения: 10.12.2024).

15. Предварительные результаты реализации программы по снижению заболеваемости и предотвращению смертности от болезней системы кровообращения у работников локомотивных бригад / Е. А. Жидкова, Е. М. Гудор, В. Б. Панкова, М. Ф. Вильк, И. А. Попова, К. Г. Гуревич, О. М. Драпкина. - Текст : непосредственный // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. - 2022. - Т. 21, № 9. - С. 50-57. doi: 10.15829/1728-8800-2022-3307. - EDN: TPZGMW.

ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫХ ТУАЛЕТНЫХ КОМПЛЕКСОВ С БИОРЕАКТОРОМ НА ПОДВИЖНОМ СОСТАВЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА



О.С. Сачкова



В.А. Кочнев

В статье изложены основные этапы технологического развития туалетных систем в России и за рубежом. Отмечена важность использования на подвижном составе железных дорог экологически чистых туалетных комплексов с биореактором (ЭЧТК). Для эффективного функционирования ЭЧТК предложено использовать биоразлагаемое дезинфицирующее средство с моющим и дезодорирующим действием «БИОДЕЗЖТ».

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, экологически чистые туалетные комплексы, подвижной состав, биоразлагаемое средство

EDN: ASNISV

Обеспечение экологической безопасности на железной дороге — это комплекс мер, который направлен на снижение негативного воздействия на людей, окружающую среду и рациональное использование природных ресурсов. Очистка сточных вод — это ключевая задача, поскольку они непосредственно воздействуют на окружающую среду и здоровье людей. Недостаточная очистка сточных вод может привести к серьезным последствиям, включая распространение инфекционных заболеваний и нанесение значительного ущерба экосистемам, загрязняя водоемы и почву, что в свою очередь влияет на биоразнообразие и сельское хозяйство [1–4].

В конце XX века в мире начали использовать туалеты закрытого типа. В поездах, которые были соз-

даны в Великобритании до 1980 года, применялась система прямого слива. Канализационные отходы из туалетов поездов попадали прямо на рельсы. Для этого использовалась вода из специального резервуара. Но в 1981 году все поменялось. В поездах начали появляться вагоны с емкостями для сбора канализационных отходов.

И только в 1996 году все новые составы были оборудованы такими резервуарами. С 1993 года Индийские железные дороги активно внедряют и тестируют ряд инновационных технологий, направленных на модернизацию системы открытого слива. Среди них — вакуумные туалеты и системы туалетов с контролируемым сливом (CDTS), которые позволяют осуществлять сброс отходов только после дости-

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

Кочнев Виктор Андреевич, соискатель кафедры «Техносферная безопасность» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: безопасность жизнедеятельности на транспорте, охрана труда. Автор 12 научных работ.

«ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫХ ТУАЛЕТНЫХ КОМПЛЕКСОВ С БИОРЕАКТОРОМ НА ПОДВИЖНОМ СОСТАВЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА»

жения поездом скорости в 30 километров в час. Это позволяет поддерживать чистоту на станциях. Также внедряются туалеты с нулевым сливом, известные как биотуалеты. Индийская железная дорога (IR) первой в мире внедрила «анаэробные бактерии» в железнодорожные системы и установила биотуалеты в 79 269 пассажирских вагонах в 2021–2022 годах. Это позволяет ежедневно предотвращать попадание на рельсы почти 2 740 000 литров человеческих экскрементов [5].

С 1996 года на железных дорогах начали использовать туалеты с биореактором. В Швейцарии первыми установили такие туалетные комплексы в 60 вагонах на федеральных железных дорогах (SBB). Позднее они появились в служебных вагонах на сети железных дорог Германии (DB) и в поездах железнодорожной компании Bayerische Oberlandbahn [6].

В 1992 году на железных дорогах России появились первые туалеты закрытого типа. В вагонах WLABmee (RIC-200), которые были приобретены в Германии, были установлены специальные устройства. Эти вагоны соответствуют стандартам, действующим на европейских железных дорогах и оснащены экологически чистыми туалетными блоками. Внедрение экологически чистых туалетов в пассажирских вагонах началось в соответствии с «Экологической программой железнодорожного транспорта на 2001–2005 годы», которая была утверждена 23 декабря 2000 года. В 2000 году специальная комиссия, которая работала при Министерстве путей сообщения России, приняла решение об установке на поездах современные и безопасные туалеты «Экотол-В» и «Экотол-ЭП» [7].

В соответствии с экологическими нормами Российской Федерации, со стратегией ОАО «РЖД» в области экологии и «Стратегией развития АО «Федеральная пассажирская компания» до 2030 года», компания ОАО «ФПК» реализует меры по защите окружающей среды и поддержанию санитарного состояния инфраструктуры. Экологически чистыми туалетными комплексами (ЭЧТК) оборудуются не только новые, но и прошедшие капи-

тальный ремонт пассажирские вагоны, что также ведет к снижению водопотребления и водоотведения на железнодорожном транспорте (табл. 1) [8–14]. По состоянию на 31 декабря 2023 г. экологически чистыми туалетами оборудовано около 84% от всего парка пассажирских вагонов, что на 2% больше чем годом ранее [11]. Внедрение ЭЧТК с биореактором способствует обеспечению экологической безопасности на железной дороге. Процесс очистки сточных вод, происходящий в биореакторе направлен на снижение негативного воздействия на людей, окружающую среду и рациональное использование природных ресурсов.

В настоящее время на железнодорожном транспорте функционируют туалеты, сточные воды которых направляются в накопительные баки вагонов, а затем удаляются из них в специально оборудованных пунктах обслуживания с последующим сбросом в канализационную систему [12–14] (рис. 1).

Чтобы система работала без перебоев, сотрудники обслуживающих бригад регулярно проводят техническое обслуживание ЭЧТК. В рамках этой работы они откачивают содержимое накопительных баков, а затем вывозят и передают сточные воды в специализированную организацию, которая имеет право принимать стоки в этом регионе. Непрерывная эксплуатация ЭЧТК составляет 3–4 дня в зависимости от объема накопительного бака, после чего требуется произвести откачку.

С 2001 года на всех железных дорогах Министерства путей сообщения Российской Федерации началось создание разветвленной сети станций технического обслуживания, предназначенных для обслуживания ЭЧТК пассажирских вагонов. На этих станциях процесс опорожнения баков-накопителей осуществляется с применением специализированных ассенизаторских машин, которые подъезжают к вагонам и перемещаются вдоль состава [15].

Вводится в эксплуатацию стационарный комплекс обслуживания (СКО), который позволяет очищать баки-сборники ЭЧТК в пассажирских поездах за время, не превышающее четверти часа. СКО обе-

Таблица 1

**Показатели снижения водопотребления и водоотведения
в период с 2021 по 2023 годы на железнодорожном транспорте**

Параметры	2021 г.	2022 г.	2023 г.
Водопотребление, млн м ³	5,7	5,2	4,6
Водоотведение, млн м ³	3,3	3,2	3,1

спечивает возможность сбора отходов ЭЧТК в специальные контейнеры для их последующего удаления через канализацию или вывоза специализированными транспортными средствами. Эта система обслуживания позволяет проводить очистку и обеззараживание баков-сборников ЭЧТК в пассажирских вагонах, а также имеет функцию откачки (рис. 2) [15].

Данные ЭЧТК используют воду из системы водоснабжения для смыва, что приводит к большому расходу чистой воды, более частой заправке водой вагонов на станциях в пути следования, в связи с чем образуется больше количество сточных вод. Это, в свою очередь, может привести к загрязнению водоемов и почвы, что негативно сказывается на окружающей среде.

Экологически чистые туалетные комплексы с биореактором позволяют снизить количество сточных вод за счет использования биологических процессов для разложения отходов.

Компания AKW A+V Protec (Германия) известна во всем мире как разработчик и изготовитель биореакторов для железнодорожного подвижного состава.

В настоящее время на железных дорогах Швейцарии, Голландии и других стран используются в общей сложности более 3500 биореакторов (рис. 3).

В биореакторе AKW A+V Protec происходит процесс, в результате которого твердые фракции задерживаются в емкости и подвергаются биологическому разложению, что приводит к уменьшению данной фракции. Жидкая составляющая очищается с помощью микроорганизмов. Биологически обработанная жидкость подвергается дополнительной гигиенической обработке, после чего может сливаться на железнодорожное полотно. Биологические процессы очистки жидкой фракции сточных вод должны осуществляться в биореакторе Protec за счет находящейся там биомассы, содержащей нитрифицирующие микроорганизмы при температуре +20°C и активной аэрации воздухом (рис. 4) [14].

Заполнение биореактора биомассой происходит только при первом вводе ЭЧТК в эксплуатацию, для эффективной работы биореактора достаточно 1 л биологического раствора на весь период эксплуата-



Рис. 1. Внешний вид экологически чистых туалетных комплексов с накопительными баками



Рис. 2. Мобильная и стационарная установки для откачки сточных вод

ции. В дальнейшем добавление микроорганизмов не требуется.

Биомасса представляет собой суспензию почвенных аэробных нитрифицирующих бактерий в питательном растворе. Концентрация микроорганизмов составляет примерно 5–7% сухого вещества (50–70 г сухих бактерий в одном литре раствора). В качестве питательной среды для нитробактерий (субстрата) используется раствор минеральных солей (сульфат аммония, хлориды кальция, магния и натрия, гидрофосфаты калия и натрия) с мочевиной. Нитрифицирующие микроорганизмы широко распространены в окружающей среде и обитают как в почве, так и в различных водоемах. Их деятельность играет важную роль в круговороте азота в природе, поскольку они участвуют в процессе превращения аммония в нитраты, которые легко усваиваются растениями. Кроме того, нитрифицирующие бактерии способствуют повышению растворимости некоторых минералов [19].

В соответствии с указаниями контролирующих ведомств, очищенная остаточная жидкость регулярно проверяется на содержание микроорганизмов. Как правило, предельно допустимые значения не превышают нормативных требований [17;18].

Консервация и обеззараживание отходов осуществляется при использовании средства, дезинфицирующего с моющим и дезодорирующим действием, «БИОДЕЗЖТ», производства ООО «ПолимерРус». Данное средство также предназначено для промывки и дезодорации накопительных баков (металлических и полимерных) ЭЧТК [20]. Основными критериями к таким средствам являются химический состав, био-

разлагаемость, антимикробная активность, токсичность. Средство «БИОДЕЗЖТ» соответствует требованиям МР 2.01-081/22 «Санитарно-гигиенические и противоэпидемические мероприятия по обеспечению безопасности при обслуживании туалетных комплексов замкнутого типа (ЭЧТК) подвижного состава железнодорожного транспорта» [21]. Данное средство доказало свою эффективность в ходе проведения комплексных испытаний низкой степенью токсичности в отношении активного ила очистных сооружений. В ходе исследований было установлено, что показатель токсичности образцов рабочих растворов дезинфицирующего средства «БИОДЕЗЖТ» с моющим и дезодорирующим эффектом составил 19,7%. Этот результат соответствует нормативному значению, не превышающему 20%.

Это может снизить негативное воздействие на экосистему и минимизировать риск распространения бактерий и вредоносных микроорганизмов через сточные воды.

После введения в желудок крыс дезинфицирующего средства «БИОДЕЗЖТ» в различных дозировках от 1000,0 до 5000,0 мг/кг не удалось определить летальную дозу. Результаты эксперимента показали, что по критерию DL_{50} при введении в желудок дезинфицирующего средства «БИОДЕЗЖТ» относится к четвертому классу малоопасных веществ согласно ГОСТ 12.1.007-76.

Применение нативного препарата в количестве 2500 мг/кг на кожу крыс не вызвало никаких симптомов отравления или смерти животных, было замечено только легкое раздражение в месте нанесения.



Рис. 3. Пример биореактора для подвижного состава

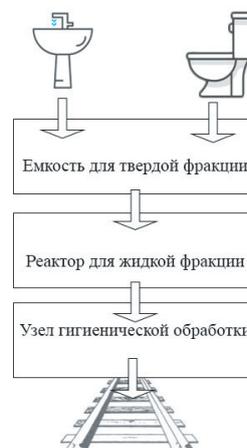


Рис. 4. Схема функционирования биореактора

Исходя из этого, можно сделать вывод, что DL_{50} препарата при нанесении на кожу составляет более 2500 мг/кг. Эти данные позволяют отнести препарат «БИОДЕЗЖТ» к 4 классу малоопасных веществ согласно ГОСТ 12.1.007-76 (табл. 1).

При введении в брюшную полость крыс, смертельная доза (DL_{50}) средства составила 865 ± 86 мг/кг. Животные погибли в течение первых 24 часов. Следовательно, дезинфицирующее средство «БИОДЕЗЖТ» относится к 4 классу малотоксичных веществ, согласно классификации К.К. Сидорова (табл 2).

В ходе исследований было установлено, что «БИОДЕЗЖТ» может вызывать раздражение кожи морских свинок при нанесении. При нанесении на кожу нативного средства наблюдались такие реакции как эритема (1 балл) и отек кожи (0,5 балла). Общая сумма баллов составила 1,5. После заживления кожа полностью восстанавливалась без образования рубцов.

Следовательно, «БИОДЕЗЖТ» относится к 4 классу опасности по выраженности местно-раздражающих свойств дезинфицирующих средств на кожу (табл. 3).

В ходе исследований было установлено, что при однократном нанесении средства «БИОДЕЗЖТ» на кожу мышей в концентрации 2,0% не было выявлено никаких признаков химического ожога или раздражения. Даже многократное нанесение средства «БИОДЕЗЖТ» на кожу животных (10 аппликаций) не вызвало морфологических изменений кожи. Таким образом, рабочий раствор средства с концентрацией 2,0% относится к 4 классу опасности – малоопасным по выраженности местно-раздражающих свойств дезинфицирующих средств на кожу.

После того как кроликам в конъюнктивальный мешок глаза была введена одна капля препарата, проводилось исследование, направленное на оценку местного раздражающего воздействия на глазные оболочки.

Таблица 1

Классификация опасности веществ по степени воздействия на организм (ГОСТ 12.1.007-76)

Наименование показателя	Класс опасности			
	1 – чрезвычайно опасные	2 – высоко-опасные	3 – умеренно опасные	4 – малоопасные
Предельно допустимая концентрация ПДК вредных веществ в воздухе рабочей зоны, мг/куб. м	Менее 0,1	0,1–1,0	1,1–10,0	Более 10,0
Среднесмертельная доза (DL_{50}) при введении в желудок, мг/кг	Менее 15	15–150	151–5000	Более 5000
Среднесмертельная доза (DL_{50}) при нанесении на кожу, мг/кг	Менее 100	100–500	501–2500	Более 2500

Таблица 2

Классификация токсичности веществ при введении под кожу и в брюшную полость животного (по К.К. Сидорову)

Класс токсичности	Степень токсичности	Средняя смертельная доза при введении, мг/кг:	
		под кожу	в брюшную полость
1	Чрезвычайно токсично	0,3	0,2
2	Высокотоксично	0,4–15,0	0,3–10,0
3	Умеренно токсично	16–150	11–100
4	Малотоксично	151–1500	101–1000
5	Практически нетоксично	1501–4500	1001–3000
6	Относительно безвредно	Более 4500	Более 3000

Применение средства вызывало покраснение и отек конъюнктивы у кроликов (суммарная оценка 4 балла). Через 24 часа признаки раздражения уже не наблюдались и в течение последующих шести дней они не проявлялись. Это соответствует третьему классу опасности по степени выраженности раздражающего действия дезинфицирующих средств на глаза.

После того, как на органы зрения кроликов был нанесен раствор изучаемого вещества, необходимо провести процедуру промывания водой. Это поможет предотвратить возможное раздражение.

В ходе исследования было обнаружено, что у животных, которым на глаза был нанесен раствор, признаки раздражения исчезли в течение нескольких суток. Данные представлены в табл. 4.

Использование 2,0% рабочих растворов препарата в форме капель для глаз у кроликов приводило к легкому раздражению слизистых оболочек глаз (4 класс опасности).

Чтобы определить, как средство всасывается через кожу, хвосты мышей погружали в рабочий раствор на две трети длины. Эксперименты проводили каждый день по два часа в течение десяти дней.

В процессе исследования не было выявлено общего токсического эффекта при оценке способности вещества проникать через кожный покров. У животных, задействованных в эксперименте, не наблюдалось ни клинических проявлений, ни функциональных изменений в работе нервной системы сразу после проведения опыта. Это позволяет сделать вывод, что вещество не оказывает токсического воздействия на организм при попадании на кожу.

Исследование сенсibiliзирующего действия препарата проводилось в соответствии с методическими указаниями МР № ОI-19/126-17 из руководства Р 4.2.3676-20. В ходе экспериментов не было обнаружено признаков ответной реакции гиперчувствительности замедленного типа.

Это означает, что рабочие растворы не вызывают сенсibiliзации, и препарат можно считать малоопасным с точки зрения сенсibiliзирующего эффекта.

В ходе проведенных экспериментов по оценке острой токсичности и опасности средства дезинфицирующего с моющим и дезодорирующим действием «БИОДЕЗЖТ» показатели безопасности полностью соответствуют «Нормативным показателям безопас-

Таблица 3

Классификация опасности по выраженности местнораздражающих свойств дезинфицирующих средств на коже

Выраженность раздражающего действия	Средний суммарный балл выраженности эритемы и величины отека	Классы опасности
Резко выраженное	Более 6	1
Выраженное	4,1–6,0	2
Умеренное	2,1–4,0	3
Слабое или отсутствие	0–2,0	4

Таблица 4

Классификация по выраженности раздражающих свойств дезинфицирующих средств на глаза

Выраженность раздражающего действия	Средний суммарный балл конъюнктивы (А+Б+В) и роговица (А+Б)	Классы опасности
Резко выраженное	Более 11	1
Выраженное	7–10	2
Умеренное	4–6	3
Слабое	1–3	4
Отсутствие	0	5

ности и эффективности дезинфекционных средств, подлежащих контролю при проведении обязательной сертификации» №01-12/75-97 и Единым санитарно-эпидемиологическим и гигиеническим требованиям к товарам, подлежащим санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю) (глава II, Раздел 20 «Требования к дезинфекционным средствам»), требованиям по эффективности и безопасности, установленным Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека.

Для работников бригад, обслуживающих экологически чистые туалетные комплексы, применение средств с низкой токсичностью минимизирует опасность воздействия вредных химических соединений и способствует предотвращению распространения бактерий и прочих вредных микроорганизмов, что также не отменяет использование средств индивидуальной защиты [22].

Выводы

Комплексный подход к внедрению на подвижном составе железных дорог ЭЧТК с биореактором совместно с дезинфицирующим средством «БИОДЕЗЖТ» является одним из методов обеспечения безопасности на железнодорожном транспорте. Использование ЭЧТК, оснащенных биореакторами, позволяет предотвратить попадание твердых фракций отходов на железнодорожные пути, обеспечить эпидемиологическую безопасность сточных вод, поступающих в окружающую среду, повышает уровень комфорта пассажиров за счет использования современных технологий и снижает нагрузку на канализационные системы. Применяемое в ЭЧТК дезинфицирующее средство безопасно для контактирующих с ним работников бригад обслуживания и уменьшает риск распространения инфекционных заболеваний. Условия труда работника, занимающе-

гося откачкой, сопряжены с воздействием на него вредных и опасных условий. Условия труда слесаря-сантехника по тяжести трудового процесса, согласно Р 2.2.2006-05, определяются как вредные. Внедрение ЭЧТК с биореактором и СКО способствует снижению частоты обслуживания ЭЧТК и взаимодействию с отходами обслуживающего персонала, что, в свою очередь, уменьшает воздействие негативных факторов на него.

В Российской Федерации существуют гигиенические требования к сбросу сточных вод на почву применительно к условиям орошения. Санитарно-химические показатели сточных вод, очищенных в ЭЧТК с биореактором, укладываются в диапазоны требований данного документа [18]. При этом термическая обработка сточных вод имеет преимущества перед другими способами обеззараживания, т.к. не связана с применением вредных для человека и окружающей среды химических средств дезинфекции с одной стороны и, с другой стороны, является значительно менее энергоемкой, чем такие физические методы как озонирование и ультрафиолетовое облучение. Таким образом, сточные воды пассажирских вагонов, сбрасываемые из ЭЧТК, безопасны в эпидемическом отношении и не приводят к загрязнению окружающей среды опасными химическими веществами [23].

Важно отметить, что внедрение ЭЧТК требует определенных затрат на оборудование и обслуживание, однако в долгосрочной перспективе это может привести к снижению затрат на очистку сточных вод и повышению уровня безопасности и комфорта.

Таким образом, внедрение ЭЧТК, оснащенных биореактором, представляет собой обоснованное решение, направленное на обеспечение комфортных и безопасных условий как для пассажиров, так и для работников бригад обслуживания на железнодорожном транспорте. 

Литература

1. Вишняков, Я. Д. Экологический императив технологического развития России : монография / Я. Д. Вишняков, С. П. Киселева : Ростов-на-Дону: Терра. - 295 с. - Текст : непосредственный.
2. Karmanov M.V., Korotkov A.V., Gryzunova N.V., Kiseleva I.A., Kuznetsov V.I. The strategic analysis of industry-specific competition and environmental risks – an integrated approach // International Journal of Environmental and Science Education. - 2016. - Vol. 11. - № 18. - pp. 12657-12667.
3. Kosyakova I.V., Anopchenko T.Yu., Murzin A.D., Kandrashina E.A., Surnina O.E. Environmental risk to health of the population // International Journal of Environmental and Science Education. - 2016. - Vol. 11. - № 14. - pp. 7091-7115.
4. Киселёва, С. П. Организационный механизм эколого- ориентированного инновационного развития в регионе / С. П. Киселёва, М. О. Шевченко. - Текст : электронный // Интернет-журнал Науковедение. -

2013. - № 6 (19). - С. 44. - URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=sakqcd&ysclid=m35jws0tpb484060-487> (дата обращения: 08.10.2024).

5. E-Paper: The New Indian Express. - URL: <https://www.newindianexpress.com/nation/2022/Jul/17/railways-introduces-bio-toilets-in-79269-passenger-coaches-2477747.html> (дата обращения: 03.09.2024). - Текст : электронный.

6. Устройство, эксплуатация и обслуживание туалетов с биореакторами. - Текст : непосредственный // Железные дороги мира. - 2008. - № 4. - С. 59-62.

7. Комплексное обеспечение технологического развития экологически чистых туалетных комплексов пассажирских поездов / С. П. Киселева, О. В. Канунников, Г. А. Аракелова, П. В. Зозуля. - Текст : непосредственный // Управление. - 2020. - Т. 8, № 3. - С. 42-52. - DOI: 10.26425/2309-3633-2020-8-3-42-52.

8. Российская Федерация. Законы. Об охране окружающей среды : Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ: принят Государственной Думой 20 декабря 2001 года; одобрен Советом Федерации 26 декабря 2001 года. - Москва : Омега-Л, 2014. - 62 с. - Текст : непосредственный.

9. Экологическая стратегия ОАО «РЖД» до 2030 года и перспективу до 2035 года (утверждена протоколом заседания правления ОАО «РЖД» от 12.07.2022 г. № 44. - URL: <https://company.rzd.ru/ru/9353/page/105104?id=2008> (дата обращения: 05.11.2024). - Текст : электронный.

10. Стратегия развития ОАО «Федеральная пассажирская компания» до 2030 года. - URL: <https://company.rzd.ru/ru/9397/page/104069?id=46605&ysclid=m34e16qi6h517273418> (дата обращения: 05.10.2024). - Текст : электронный.

11. Годовой отчет АО «ФПК» за 2022 г. - URL: <https://ar2022.fpc.ru/ru> (дата обращения: 23.05.2024). - Текст : электронный.

12. Обеспечение санитарно-гигиенической и противоэпидемиологической безопасности железнодорожного подвижного состава при использовании сантехнических систем замкнутого типа / О. С. Юдаева, О. В. Канунников, В. А. Аксельрод, С. Ю. Алехин. - Текст : непосредственный // Наука и техника транспорта. - 2017. - № 3. - С. 66-69.

13. Перспективы унификации санитарно-технических систем пассажирского подвижного состава / О. С. Юдаева, В. А. Аксельрод, С. Ю. Алехин, И. А. Семенов, А. С. Козлов. - Текст : непосредственный // Проблемы безопасности российского общества. - 2017. - № 2. - С. 86-89.

14. Эколого-экономические аспекты технологического развития туалетных комплексов пассажирских поездов / Я. Д. Вишняков, С. П. Киселева, О. В. Канунников, Г. А. Аракелова, П. В. Зозуля. - Текст : непосредственный // «Актуальные проблемы управления-2019» : материалы 24-й Международной научно-практической конференции, Москва, 19-20 декабря 2019 года. - Т. 1, вып. 1. - Москва : Государственный университет управления, 2020. - С. 274-278.

15. Эффективность системы эколого-экономического регулирования оборота фекальных отходов железнодорожного транспорта в Российской Федерации / П. В. Зозуля, С. П. Киселева, Я. Д. Вишняков, О. В. Канунников, С. В. Ерошенко. - Текст : электронный // Интернет-журнал «Отходы и ресурсы». - URL: <https://resources.today/PDF/06ECOR420.pdf>. - 2020. - № 4. - С. 1-16. - DOI: 10.15862/06ECOR420 (дата обращения: 05.11.2024).

16. Материалы интернет-сайта. - URL: <https://www.protec-bioreactor.com/en/solutions/#facts> (дата обращения: 19.08.2024). - Текст : электронный.

17. СанПиН 2.1.5.980-00. 2.1.5. Водоотведение населенных мест, санитарная охрана водных объектов. Гигиенические требования к охране поверхностных вод. Санитарные правила и нормы : утверждены Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации Г. Г. Онищенко : введены взамен СанПиН 4630-88 «Охрана поверхностных вод от загрязнения»: дата введения 2001-01-01. - URL: https://10.gospotrebnadzor.ru/upload/medialibrary/668/sanpin-2.1.5.980_00.pdf?ysclid=m34ejqv6wq897228346 (дата обращения: 05.11.2024). - Текст : электронный.

18. СанПиН 2.1.7.573-96 «Гигиенические требования к использованию сточных вод и их осадков для орошения и удобрения» : утверждены постановлением Госкомсанэпиднадзора РФ от 31 октября 1996 г. № 46. - Москва : Информационно-издательский центр Минздрава России, 1997. - 54 с. - URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293825/4293825376.pdf?ysclid=m34eunwya825751709> (дата обращения: 05.11.2024). - Текст : электронный.

19. Антимикробные свойства биоцида на основе четвертичных аммонийных соединений и полигексаметиленгуанидина и потенциальные способы его дезактивации / Ю. В. Литти, Д. В. Сердюков, О. В. Канунников,

В. А. Аксельрод, Н. Г. Лойко. - Текст : непосредственный // Биотехнология. - 2020. - Т. 36, № 6. - С. 115-126.

20. Кочнев, В. А. Обоснование использования биоразлагаемых моющих, дезинфицирующих и дезодорирующих средств в экологически чистых туалетных комплексах подвижного состава железнодорожного транспорта / В. А. Кочнев. - Текст : непосредственный // Наука и техника транспорта. - 2024. - № 3. - С. 83-86. - EDN: VIRQKS.

21. МР 2.01-081/22. Методические рекомендации. Санитарно-гигиенические и противоэпидемические мероприятия по обеспечению безопасности при обслуживании туалетных комплексов замкнутого типа (ЭЧТК) подвижного состава железнодорожного транспорта : ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт гигиены транспорта Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (ВНИИЖГ)» (М. Ф. Вильк, Ж. В. Овечкина, О. С. Сачкова, А. А. Шарaban, О. А. Резанова) : Утверждено Главным государственным санитарным врачом по железнодорожному транспорту Российской Федерации Ю. Н. Каськовым : согласовано Директором ФГУП ВНИИЖГ Роспотребнадзора, доктором медицинских наук, профессором, член корреспондентом РАН М. Ф. Вильком. - Москва, 2022. - 23 с. - Текст : непосредственный.

22. WorksafeMahi Naumaru Aotearoa, Protective clothing: WorkSafe guidance, 2021. - ISBN: 978-1-98-856796-9.

23. Комплексный подход к анализу и оценке механизмов эколого-экономического регулирования системы железнодорожного транспорта с учетом государственной экологической политики технологического развития РФ / С. П. Киселева, Я. Д. Вишняков, П. В. Зозуля, С. В. Ерощенко, О. В. Канунников. - Текст : электронный // Интернет-журнал «Отходы и ресурсы». - 2020. - Т. 7, № 4. - С. 1-15. - URL: <https://resources.today/PDF/04ECOR420.pdf>. - DOI: 10.15862/04ECOR420 (дата обращения: 06.09.2024).

ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ЗАБОЛЕВАЕМОСТЬ РАБОТНИКОВ ПУТЕВОГО КОМПЛЕКСА

В статье отражены результаты аналитического обзора данных о случаях профессиональных заболеваний (ПЗ), установленных у работников ремонтно-путевого комплекса за период с 2009 по 2023 годы. Приводится информация об условиях труда, основных вредных производственных факторах, воздействующих на путевых рабочих, данные сопоставляются со структурой ПЗ последних. Рекомендуются мероприятия медицинского и организационно-технического характера, направленные на сохранение профессионально значимых функций путевых рабочих.



Ю.В. Пименова

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, профессии с вредными условиями труда, работники путевого комплекса, профессиональная заболеваемость

EDN: NQENVS

За период с 2009 по 2023 годы в структурных подразделениях Центральной дирекции по ремонту пути (далее – ЦДРП) у работников был установлен 41 случай ПЗ (табл. 1). Все пострадавшие являются мужчинами, в том числе у двоих работников зафиксировано одновременно два ПЗ:

- 1-й случай – вибрационная болезнь в сочетании с нейросенсорной тугоухостью;
- 2-й случай – двусторонняя радикулопатия в сочетании с двусторонней нейросенсорной тугоухостью.

По данным табл. 1 в структуре производственных заболеваний работников ремонтно-путевого комплекса, как и по ОАО «РЖД» в целом, преобладает нейросенсорная тугоухость (НСТ), развивающаяся вследствие перманентного интенсивного воздействия производственного шума – за период наблюдения к учету принято 30 случаев (73,2%). Остальные профессиональные патологии в сумме составляют 11 случаев (26,8%), в том числе среди путевых рабочих наиболее распространены заболевания, поражающие

дыхательную, костно-мышечную системы и опорно-двигательный аппарат (табл.2).

Неблагоприятное воздействие шумового давления, которое оказывают на железнодорожников, занятых в путевом комплексе, работающие путевые машины, механизмы, путевой инструмент и проходящие поезда, усугубляется воздействием вибрации, напряженностью труда, повышенными физическими перегрузками, вынужденным характером рабочей позы; запыленностью зоны дыхания при погрузочно-разгрузочных работах со щебеночной продукцией, эксплуатации щебнеочистительных и хоппер-дозаторных машин. Негативное воздействие производственной среды на здоровье персонала находит отражение в структуре ПЗ путевых рабочих (рис. 1).

В целях установления перечня профессий, наиболее подверженных риску возникновения ПЗ, проведен анализ статистических данных в разрезе профессиональных групп. Результаты анализа представлены в табл. 3.

Пименова Юлия Владимировна, инженер лаборатории коммунальной гигиены и эпидемиологии отдела медико-биологических исследований ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт гигиены транспорта» (ВНИИЖГ Роспотребнадзора), аспирант кафедры «Техносферная безопасность» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: железнодорожная гигиена, охрана труда, железнодорожный транспорт. Автор 10 научных работ.

Таблица 1

**Профессиональные заболевания работников ремонтно-путевого комплекса
за период с 2008 по 2023 годы**

Год	Вид заболевания (количество случаев)					Всего, кол-во случаев
	Хронический обструктивный бронхит легких (ХОБЛ)	Бронхиальная астма (БА)	Хроническая дистогенная радикулопатия (ХДР)	Вибрационная болезнь (ВБ)	Нейросенсорная тугоухость (НСТ)	
2008	1	—	—	—	1	2
2009	—	1	1	2*	2*	6
2010	1	—	—	1	4	6
2011	—	—	—	—	1	1
2012	—	—	—	1	2	3
2013	—	—	—	—	4	4
2014	—	—	—	—	2	2
2015	—	—	—	—	3	3
2016	—	—	1	—	—	1
2017	—	—	—	—	—	0
2018	—	—	1	—	3	4
2019	—	—	—	—	2	2
2020	—	—	1*	—	2*	3
2021	—	—	—	—	3	3
2022	—	—	—	—	1	1
2023	—	—	—	—	—	0
Итого	2	1	4	4	30	41
Удельный вес, %	4,8	2,4	9,8	9,8	73,2	100

* — у работника выявлено одновременно два ПЗ.

Установлено, что наибольшее количество (48,7%) выявленных ПЗ приходится на профессию машиниста (помощника машиниста) железнодорожно-строительной машины (ЖДСМ), второе ранговое место (12,8%) занимает профессия монтера пути, третье место (10,1%) — машинист бульдозера, на четвертом (5,1%) — составитель поездов, остальные профессии представлены в общей структуре ПЗ единичными случаями.

В структуре ПЗ путевых рабочих на протяжении всего периода наблюдений ведущее место занимает НСТ — заболевание, связанное с воздействием производственных факторов акустической природы. В выписках медицинских учреждений, выявивших у пострадавших НСТ, обозначено, что причинами развития заболеваний стало длительное систематическое

воздействие шумового давления, присутствующего на рабочем месте, превышающего ПДУ 80 дБА. По данным медицинских заключений зафиксированы:

- 5 случаев односторонней и 25 случаев двусторонней НСТ 1–3 степени тяжести;
- параметры колебаний акустической нагрузки на орган слуха в пределах от 84,2–94,0 дБА;
- класс условий труда пострадавших по шуму соответствует уровням 3.1–3.2.

Ведущей профессией по количеству выявленной НСТ является «водительская» профессия — машинист (помощник машиниста) ЖДСМ, что связано с комбинированным и сочетанным воздействием на организм работающих неблагоприятных производственных факторов, в том числе: шумы при работе ЖДСМ (15–50% рабочей смены), шум холостого

Таблица 2

Структура прочих профессиональных заболеваний работников путевого комплекса за период с 2009 по 2023 годы

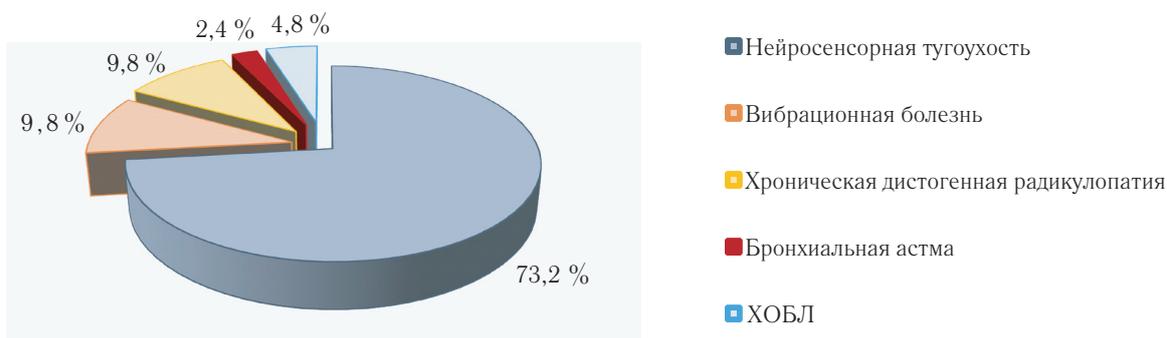
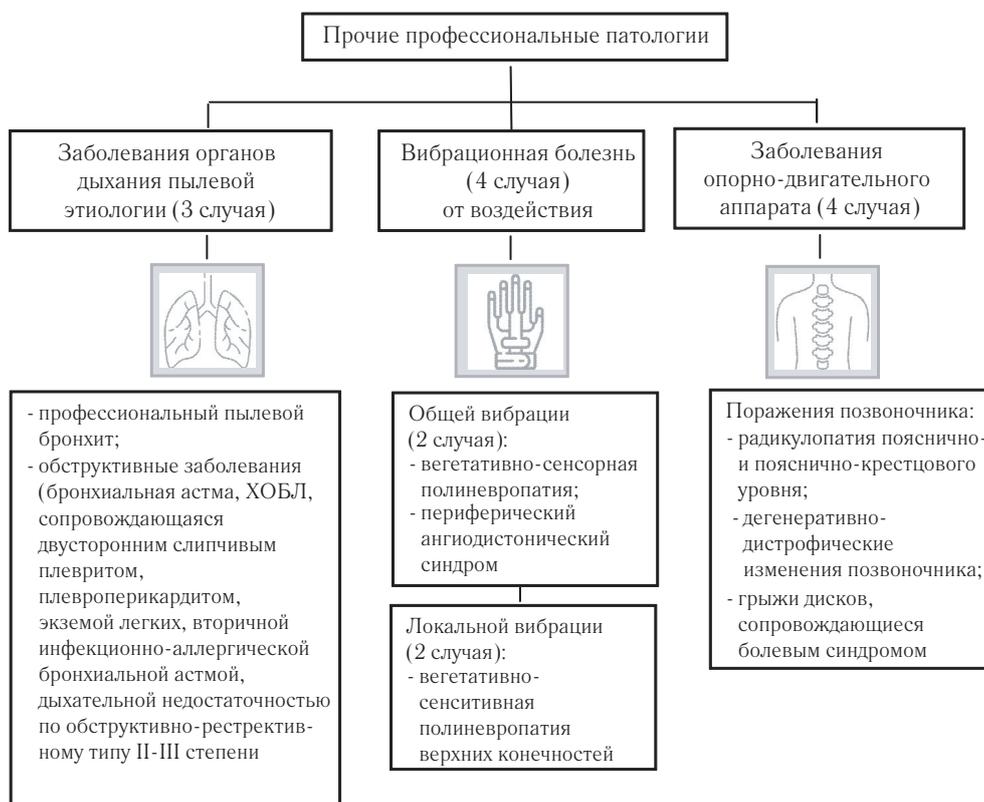


Рис. 1. Структура профессиональных заболеваний работников путевого комплекса за период с 2009 по 2023 годы

Таблица 3

**Структура впервые выявленных профессиональных заболеваний
у работников ремонтно-путевого комплекса в разрезе профессий
за период с 2009 по 2023 годы**

Профессия	Вид заболевания (количество случаев)					Всего, количество чел. (уд.вес, %)
	ХОБЛ	БА	ХДР	ВБ	НСТ	
Машинист, помощник машиниста ЖДСМ			1	1	17	19 (48,7)
Монтер пути			2		3	5 (12,8)
Машинист экскаватора	1			1		2 (5,1)
Машинист бульдозера*				1	4	4 (10,1)
Машинист автогрейдера					1	1 (2,6)
Машинист компрессорных установок	1					1 (2,6)
Тракторист					1	1 (2,6)
Слесарь по ремонту машин и механизмов					1	1 (2,6)
Составитель поездов*			1		2	2 (5,1)
Электрогазосварщик		1				1 (2,6)
Кузнец ручнойковки				1		1 (2,6)
Плотник					1	1 (2,6)
Итого, абсолютное число	2	1	4	4	30	39 (100)
Структура ПЗ, %	4,8	2,4	9,8	9,8	73,2	100

* – у работника выявлено одновременно два ПЗ.

хода ЖДСМ (10% рабочей смены), шум от сжатого воздуха, работающего тепловоза, а также от падающего щебня, который подается в путь через дозирующее устройство, шум прочего работающего оборудования, проходящих поездов, превышающий ПДУ и сопровождающийся тяжестью физических перегрузок и напряженностью трудового процесса на данном рабочем месте, неблагоприятными метеорологическими условиями (перепадами температуры и относительной влажности воздуха).

Вибрационная болезнь (ВБ) зарегистрирована в 9,8% случаев, три из которых приходится на машинистов (ЖДСМ, экскаватора, бульдозера) и один на кузнеца ручнойковки. ВБ является заболеванием, связанным с длительным воздействием производственной вибрации, в указанных случаях класс условий труда пострадавших по показателю «вибрация локальная» соответствовал уровню 3.1–3.2, фактический уровень вибрации зафиксирован в диапазоне 108–124 дБ (при ПДУ–112 дБ), также на некоторых рабочих местах

отмечалась высокая продолжительность воздействия вредного фактора – 12 часов.

Удельный вес хронической дистогенной радикулопатии (ХДР) в общей структуре профзаболеваний – 9,8%. ХДР, вызванная функциональным перенапряжением опорно-двигательного аппарата, характерна для таких профессиональных групп, как монтеры пути, составители поездов, машинисты ЖДСМ. Оценка класса условий труда по критерию тяжести трудового процесса соответствует уровню 3.1–3.2. Так, при производстве работ монтеры пути испытывают значительные нагрузки на опорно-двигательный аппарат (ОДА), нервную и сердечно-сосудистую системы. Для трудового процесса исследуемой профессиональной группы характерны следующие физические нагрузки и их параметры (табл. 4).

Периодическое нахождение в дискомфортной рабочей позе характерно также и для составителей поездов, до 87,5% рабочего времени тело работника находится в неудобном и/или фиксированном поло-

Таблица 4

Показатели тяжести трудового процесса монтеров пути

№ п/п	Условное обозначение	Показатель тяжести трудового процесса	Параметры		
			Масса	Расстояние	Количество
1		Физическая динамическая нагрузка, связанная с перемещением груза	1200 кг · м	от 1 до 5 м	—
2		Масса груза, поднимаемого и перемещаемого вручную, при условии чередования с другой работой (до 2-х раз в час)	До 35 кг	—	—
3		Подъем и перемещение (разовое) тяжести — постоянно в течение рабочей смены	10 кг	—	—
4		Суммарная масса грузов, поднимаемая с рабочей поверхности и с пола	175 кг	—	—
5		Стереотипные рабочие движения за смену при региональной нагрузке (при работе с преобладающим участием плечевого пояса и рук)	—	—	7500
6		Дискомфортная (неудобная или вынужденная) рабочая поза — до 25% времени смены, вынужденные наклоны корпуса (более 30°)	—	—	100

жении, что обусловлено высокой долей ручного физического труда: установка и снятие тормозных против-откаточных башмаков (массой до 8 кг), очистка стрелочных переводов от загрязнений, снега и льда, обслуживание стрелочных переводов (переключение, соединение/разъединение рукавов тормозной магистрали). При выполнении такого рода операций составители поездов испытывают повышенную нагрузку на ОДА.

Наименьшая доля в общей структуре ПЗ (7,2%) приходится на поражения органов дыхания, вызванные чрезмерными пылевыми нагрузками на дыхательную систему работающих и взаимодействием с аэрозолями преимущественно фиброгенного действия (АПФД). Заболевания пылевой этиологии установлены у машинистов (экскаватора, компрессорных установок) и электрогазосварщика. При производстве погрузочно-разгрузочных работ машинисты экскаваторов подвергаются длительному воздействию высоких концентраций кварцсодержащей производственной пыли, превышающих гигиенические нормативы при содержании от 10 до 70% (гранит) 17,62 мг/куб.м., что явилось причиной развития ХОБЛ.

У машиниста компрессорных установок диагностирован профессиональный пылевой бронхит, развитию заболевания способствовало длительное воздействие цементной пыли 10 мг/м³ (ПДУ — 8 мг/м³), что соответствует оценке условий труда — 3.1.

Для профессии электрогазосварщика также характерны воздействия аэрозолей фиброгенного действия (с превышением гигиенических нормативов - класс 3.1), длительные воздействия данного неблагоприятного фактора способствовало развитию бронхиальной астмы у работника.

Таким образом, проведя анализ зависимости появления признаков профессиональных заболеваний от определенной профессии можем обоснованно выделить профессиональные группы, находящиеся в зоне риска по возникновению часто регистрируемых профпатологий:

- НСТ — профессии, связанные с ремонтом железнодорожного пути и подверженные вредному воздействию шума: машинисты ЖДСМ и автотракторной техники, монтеры пути, составители поездов;
- ВБ — работники, чей функционал включает необходимость соприкосновения с вибрирующими устройствами (машинами, механизмами, инструментами),

в наибольшей степени подвержены риску возникновения ВБ: машинисты автотракторной техники и ЖДСМ, монтеры пути, кузнецы и т.д. — чаще симптомы заболевания проявляются со стороны верхних конечностей;

- ХДР — заболевание ОДА, характерно для работников тяжелого физического труда, связанного с чрезмерными нагрузками и перенапряжением функциональных систем организма, периферической нервной системы: монтеры пути, составители поездов и пр.

- ХОБЛ, БА — заболевания органов дыхания, имеющие пылевую этиологию, чаще всего возникающие и регистрируемые у работников, длительно контактирующих с АПФД, осуществляющих работы с продуктами дробления горных пород (щебеночной продукцией): монтеры пути, машинисты автотракторной техники, машин и механизмов, электрогазосварщики и т.д.

Проанализируем зависимость появления признаков ПЗ у работников ЦДРП от возраста и стажа работы по специальности (табл. 5).

По данным табл. 5, среди всех работников ремонтно-путевого комплекса, максимальному риску развития ПЗ подвержены представители возрастной группы 50–55 лет (46,1%), особенно, если стаж работы под воздействием вредных производственных факторов составляет 15–20 лет (25,6%) (рис.2).

Рассматривая возраст пострадавших на момент установления ПЗ, отметим, что по профессиям машинист (помощник машиниста) ЖДСМ и монтер пути риски возникновения профессиональной патологии появляются в достаточно раннем возрасте 30–39 лет, что обусловлено агрессивным воздействием неблагоприятных факторов производственной среды на работников (рис. 3).

Представители указанных профессий, подвержены риску возникновения ПЗ в наибольшей степени, причем по мере увеличения возраста и стажа работы в агрессивных условиях, растет и количество пострадавших (рис. 4).

Диаграмма демонстрирует, что профессиональные заболевания у машинистов (помощников машиниста) ЖДСМ и монтеров пути регистрируются уже на рубеже 10-15 лет работы под воздействием вредных производственных факторов. Также в зоне риска по ранней диагностике профпатологий находятся машинисты автотракторной техники (экскаватора и бульдозера), чей стаж работы насчитывает 10–15 лет и менее.

Заключение

Работники ремонтно-путевого комплекса реализуют функциональные обязанности во вредных условиях труда, основными санитарно-гигиениче-

скими факторами, оказывающими воздействие на здоровье персонала, являются факторы физического происхождения (шум, вибрация, аэрозоли АПФД) и трудового процесса (тяжелый физический труд, его напряженность).

В структуре ПЗ работников ремонтно-путевого комплекса первое место занимает НСТ, второе — ВБ и заболевания ОДА и ПНС, представленные такими нозологиями как радикулопатия, дегенеративно-дистрофические изменения позвоночника, третье место — заболевания пылевой этиологии, включающие бронхиальную астму и ХОБЛ.

В списке ведущих профессий, наиболее подверженных риску возникновения профессиональных заболеваний, находятся машинист (помощник машиниста) ЖДСМ, монтер пути, машинисты автотракторной техники — бульдозера и экскаватора, составители поездов, остальные профессии представлены единичными случаями.

Анализ зависимости появления признаков профессиональных заболеваний у работников путевого комплекса от возраста и стажа работы по специальности показал, что максимальному риску развития ПЗ подвержены представители возрастной группы 50–55 лет, особенно, если работники относятся к категории высокостажированных в данной профессии, т.е. непрерывность контакта с вредными производственными факторами находится в диапазоне 15–20 и более лет.

Самыми «молодыми» профессиями в части установления ПЗ являются машинист (помощник машиниста) ЖДСМ и монтер пути, возраст пострадавших находится в интервале 30–39 лет. Уже на рубеже 10–15 лет непрерывной работы в путевом комплексе представители данных профессий подвергаются риску возникновения и развития профессионально обусловленных патологий, ведущими из которых являются заболевания нервной системы и органов чувств (НСТ), опорно-двигательного аппарата (ХДР), поражения периферических нервов (ВБ).

В качестве первоочередных мер, направленных на профилактику возникновения и развития ПЗ среди работников ремонтно-путевого комплекса, рекомендуются периодические медицинские осмотры для диагностики и мониторинга первых признаков профпатологий на ранних стадиях. Своевременное восстановительное и реабилитационное лечение позволит сохранять профессионально важные функции у работников на протяжении длительного времени.

Немаловажным является повышение заинтересованности и мотивации работающих путевого комплекса в самостоятельном и своевременном обра-

Таблица 5

Анализ случаев профессиональных заболеваний работников ремонтно-путевого комплекса по признакам «возраст» и «стаж работы», абс.ч/%

По возрасту, лет						По стажу работы по профессии, лет						
Всего по ЦДРП												
30–39	40–49	50–55	56–59	≥60	Всего	до 10	10–15	15–20	20–25	25–30	≥30	Всего
2	5	18	7	7	39	3	5	10	8	6	7	39
5,1	12,8	46,1	18,0	18,0	100,0	7,7	12,8	25,6	20,5	15,4	18,0	100,0
Машинист (помощник машиниста) ЖДСМ												
1	1	9	4	4	19	–	1	5	5	3	5	19
5,3	5,3	47,4	21,0	21,0	100,0	–	5,3	26,3	26,3	15,8	26,3	100,0
Монтер пути												
1	1	2	1	–	5	–	3	1	–	1	–	5
20,0	20,0	40,0	20,0	–	100,0	–	60,0	20,0	–	20,0	–	100,0
Машинист бульдозера												
–	1	2	–	1	4	2	1	–	1	–	–	4
–	25,0	50,0	–	25,0	100,0	50,0	25,0	–	25,0	–	–	100,0
Машинист экскаватора												
–	–	–	2	–	2	–	1	–	–	1	–	2
–	–	–	100,0	–	100,0	–	50,0	–	–	50,0	–	100,0
Составитель поездов												
–	1	–	–	1	2	–	–	1	1	–	–	2
–	50,0	–	–	50,0	100,0	–	–	50,0	50,0	–	–	100,0

шении в лечебно-профилактическое учреждение за медицинской помощью.

В целях снижения ПЗ заболеваемости рекомендованы также мероприятия, направленные на нивелирование влияния вредных производственных факторов:

грамотная организация труда, рациональные режимы труда и отдыха, защита временем, соблюдение графика работы, механизация труда, организационно-технические мероприятия, направленные на оптимизацию тяжести и напряженности работ и др. 

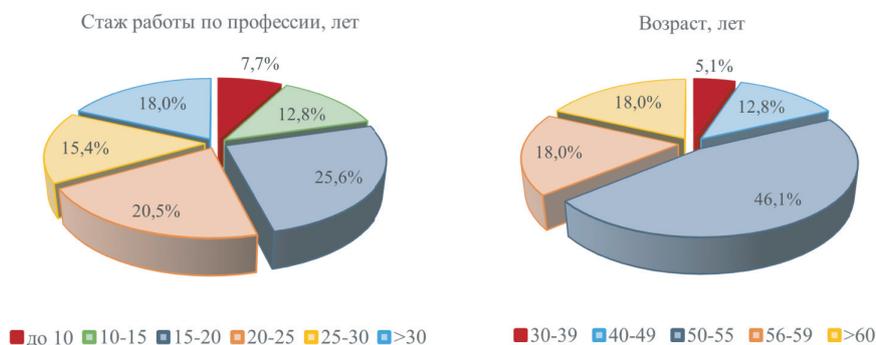


Рис. 2. Возрастно-стажевая характеристика распределения случаев профессиональных заболеваний работников ЦДРП

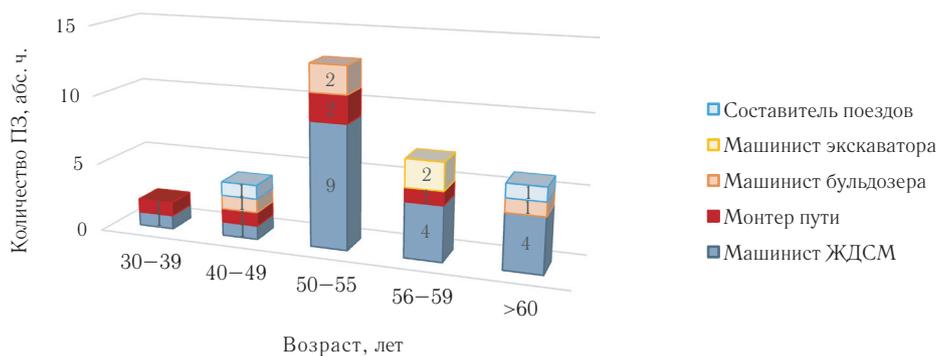


Рис. 3. Распределение количества профессиональных заболеваний по признакам «возраст» и «профессия» за период с 2009 по 2023 годы

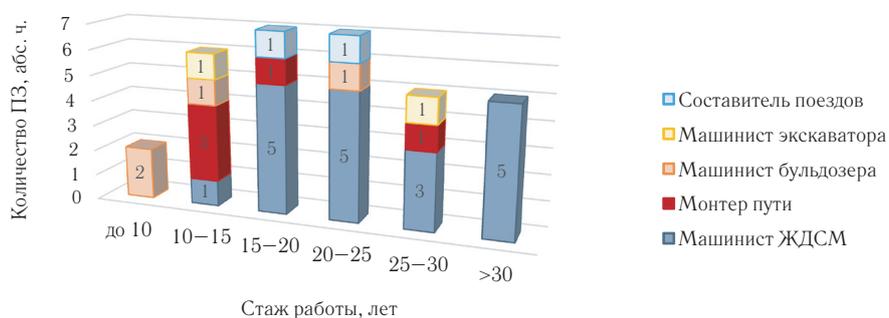


Рис. 4. Распределение количества профессиональных заболеваний в зависимости от стажа работы железнодорожников различных профессий за период с 2009 по 2023 годы

Литература

1. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия на железнодорожном транспорте в 2023 году. Государственный доклад. - URL: https://www.rosпотребнадзор.ru/documents/details.php?ELEMENT_ID=27779&ysclid=m3zja8пабе76141029. - С. 50-54 (дата обращения: 27.11.2024). - Текст : электронный.
2. Справка о случаях профессиональных заболеваний, установленных у работников структурных подразделений Центральной дирекции по ремонту пути (ЦДРП) – филиала ОАО «РЖД» за период с 01.01.2009 по 31.12.2023 (по состоянию на 31.12.2023 г.). - Текст : непосредственный.
3. Молочная, Е. В. Профессиональная заболеваемость работников Дальневосточной железной дороги / Е. В. Молочная, В. А. Гулимова, В. А. Сусидко. - Текст : непосредственный // Дальневосточный медицинский журнал. - 2011. - № 4. - С. 100-103. - EDN: ONZZIJ.
4. Молочная, Е. В. Структура профессиональных заболеваний на Дальневосточной железной дороге / Е. В. Молочная, В. А. Гулимова. - Текст : непосредственный // Дальневосточный медицинский журнал. - 2015. - № 4. - С. 84-87. - EDN: VBKWCD.
5. Заболевания кожи и подкожной клетчатки у работников железнодорожного транспорта: гигиенические аспекты / О. А. Карпова, С. Н. Филимонов, В. Б. Колядо [и др.]. - Текст : непосредственный // Медицина труда и промышленная экология. - 2020. - Т. 60, № 6. - С. 387-391. - DOI 10.31089/1026-9428-2020-60-6-387-391. - EDN: GFNVBA.
6. Овечкина, Ж. В. Результаты аттестации рабочих мест по условиям труда монтеров пути / Ж. В. Овечкина. - Текст : непосредственный // Медицина труда и промышленная экология. - 2006. - № 1. - С. 41-43. - EDN: KFAQMV.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА НА ВОЗНИКНОВЕНИЕ НЕСЧАСТНЫХ СЛУЧАЕВ В ОАО «РЖД»



А.И. Лисицын



В.С. Косякин

Представленные в статье подходы изучения влияния человеческого фактора на возникновение несчастных случаев на производстве в ОАО «РЖД» позволяют определить: причастность персонала, участвующего в трудовом процессе, их нарушения, группы опасных действий и причины их возникновения. Анализ позволяет сформировать план действий по работе с персоналом и повышению их культуры безопасности труда.

Ключевые слова: несчастный случай, человеческий фактор, причастные к возникновению несчастного случая, группы опасных действий

EDN: FXXFGW

Сохранение жизни и здоровья работников — ключевая задача железнодорожной отрасли. Внедрение системы управления охраной труда в ОАО «РЖД» позволило существенно сократить производственный травматизм. С 2003 года общий уровень травматизма уменьшился в 10,2 раза (на 90,2%), а уровень смертельного травматизма — в 9,8 раз (на 90%).

В ОАО «РЖД» уровень травматизма ниже средних показателей по России: общего — в 5,8 раза, смертельного — в 2,4 раза.

Разработка, внедрение и использование технических средств безопасности на протяжении многих лет являются основными профилактическими

мероприятиями, при этом в двух из трех инцидентов главной причиной оказывается не оборудование или техника, а действия самого персонала, нарушающего технологический процесс, не соблюдающего соответствующие правила и требования безопасности и не использующие необходимые средства защиты. В связи с этим, из-за неправильных действий персонала, проблема влияния человеческого фактора на возникновение случаев травмирования работников остается актуальной.

Опасность ситуации определяется тем, как работник к ней относится, что зависит от ее определенной значимости для него, уровня его подготовки, квалификации и соответствующего опыта, а также социаль-

Лисицын Андрей Иванович, кандидат технических наук, начальник Департамента экологии и техносферной безопасности ОАО «РЖД». Область научных интересов: техносферная безопасность, экологическая безопасность, безопасность граждан на объектах инфраструктуры ОАО «РЖД», внедрение аспектов устойчивого развития в деятельности ОАО «РЖД», развитие культуры безопасности. Автор 11 научных работ. Имеет три патента на изобретения.

Косякин Виталий Сергеевич, кандидат технических наук, начальник технического отдела Департамента экологии и техносферной безопасности ОАО «РЖД». Область научных интересов: риск-менеджмент, методы оценок рисков, система управления рисками, основы человеческого фактора, изучение влияния индивидуального риска на поведение работающих, изучение индивидуально-психологических характеристик работников. Автор 15 научных работ.

Савельева Валентина Васильевна, заместитель начальника отдела охраны труда и непромышленного травматизма Департамента экологии и техносферной безопасности ОАО «РЖД». Область научных интересов: оценка влияния человеческого фактора, расследование и профилактика производственного травматизма, организация контрольно-проверочных мероприятий, в том числе аудитов по охране труда. Автор пяти научных работ.

ной значимости ситуации, измеряемой общественной оценкой ее опасности.

Понимание доли негативного влияния действий самого работника, который причастен к произошедшему несчастному случаю на производстве, в общей оценке ответственности всех вовлеченных работников, помогает выявить основные причины опасных действий работников и разработать меры по их предотвращению.

Принимая во внимание специфику работы подразделений ОАО «РЖД», широкий спектр влияния рисков на производственную безопасность, основываясь на ключевых нормативных требованиях, определяющих специфику особенностей расследования несчастных случаев, с 2017 года в компании проводится мониторинг влияния человеческого фактора на производственный травматизм.

Анализ и оценка человеческого фактора проводится согласно «Методике оценки влияния человеческого фактора на возникновение случая травмы на производстве и определения доли ответственности причастных работников к этому событию» (далее — Методика). С использованием матриц из Методики оценивается ответственность причастных работников, учитывая количество работников, причины их опасных действий, балльную оценку нарушений требований охраны труда и уровень доли ответственности каждого.

Анализ 60 производственных травм в 2023 году, виновниками которых были работники ОАО «РЖД», показал, что основными причинами установлены: нарушение утвержденных технологических процессов, требований правил по охране труда, должностных обязанностей, трудовой и производственной дисциплины, недостаточный контроль за соблюдением норм и правил охраны труда; недостатки в организации и проведении обучения, инструктажей, стажировок и технической учебы, производство работ без использования средств индивидуальной защиты. Нарушения

допустили сами пострадавшие в 33% случаев, другие исполнители работ в 19%, руководители среднего звена в 18%, непосредственные руководители в 16%, и руководители инженерно-технического состава в 14% случаев.

Распределение вовлеченности сотрудников в возникновение травм на рабочем месте по группам причин опасной деятельности было следующим:

- в группу «А. Не умеет» попадают 12% всех установленных причин. В эту группу входят опасные действия, такие как недостаток у работника профессиональных знаний и навыков, методов и приемов безопасности труда, а также неспособность к обучению и запоминанию (рис. 1);

- в группу «Б. Не хочет» входит 71% всех установленных причин.

К непосредственным причинам опасных действий в этой группе относятся: недисциплинированность, безответственность, недобросовестность, склонность к риску и пассивное отношение к вопросам безопасности (рис. 2);

- в группу «В. Не может» входит 7% всех установленных причин. К причинам опасных действий в этой группе относятся рассеянность, слабое оперативное мышление, эмоциональная неустойчивость, а также временные или хронические проблемы со здоровьем работников (рис. 3);

- в группу «Г. Не обеспечен» входит 10% всех установленных причин. Причинами опасных действий в этой группе являются: недостаток времени, отсутствие информации о ситуации на рабочем месте, нехватка необходимой документации и отсутствие средств индивидуальной и коллективной защиты (рис. 4).

Изучение причин опасных действий показывает, что большинство сотрудников ОАО «РЖД», которые причастны к возникновению травм на рабочем месте, в основном обладают необходимыми навыками, умениями и обеспечены необходимым оборудованием, но некоторые из них не желают выполнять свои обязан-

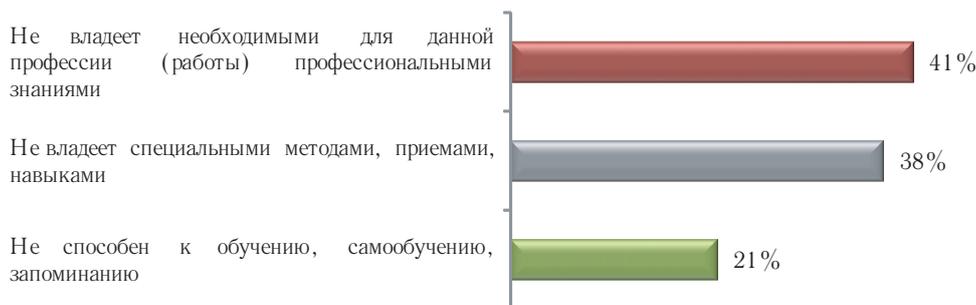


Рис. 1. Распределение группы опасных действий «А. Не умеет» по непосредственным причинам опасных действий причастных работников к возникновению травм

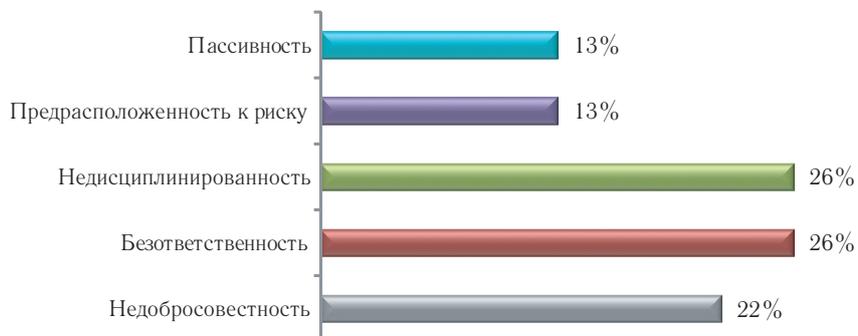


Рис. 2. Распределение группы «Б. Не хочет» по непосредственным причинам опасных действий причастных работников к возникновению травм

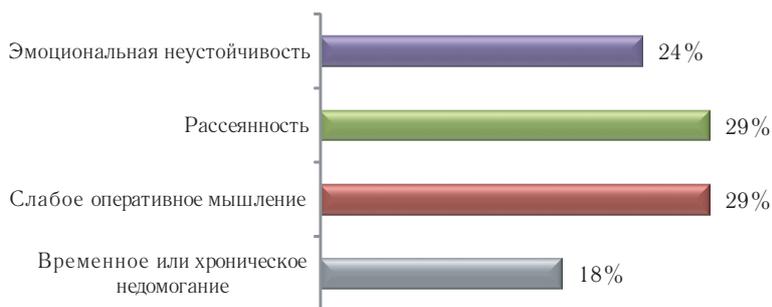


Рис. 3. Распределение группы опасных действий «В. Не может» по непосредственным причинам опасных действий причастных работников к возникновению травм

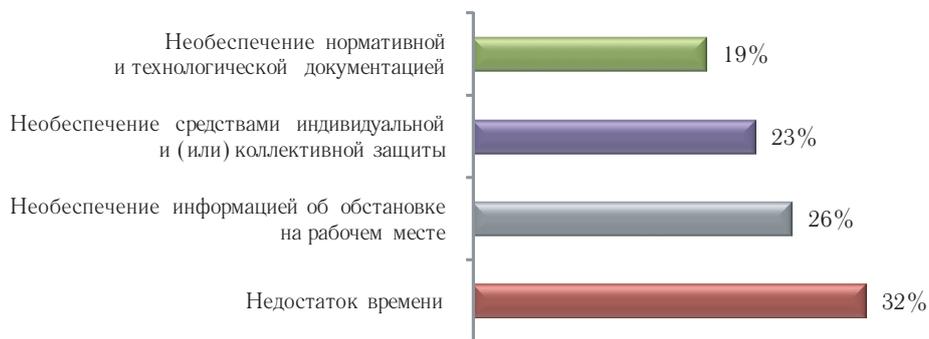


Рис. 4. Распределение группы опасных действий «Г. Не обеспечен» по непосредственным причинам опасных действий причастных работников к возникновению травм

ности и следовать требованиям по безопасности производственных процессов. Главными причинами этого являются несоблюдение дисциплины, недобросовестность и склонность к риску у работников.

Методика ОАО «РЖД» позволяет более подробно изучить составляющие каждой категории причин опасных действий сотрудников, связанных с возникновением травм.

Детальный анализ группы опасных действий «Б. Не хочет» позволил установить, что именно сами пострадавшие и другие исполнители работ составляют наибольшее число от общего числа нарушителей в данной группе.

Подробное исследование группы опасных действий «Б. Не хочет» показало, что большинство нарушителей в этой группе — это сами пострадавшие и другие исполнители работ.

Заключение

Изучение влияния человеческого фактора на производственные травмы показывает, что для успешного обеспечения безопасности труда необходимо активно работать над улучшением дисциплины труда в коллективах, контроля со стороны руководителей,

которые непосредственно влияют на организацию безопасного труда сотрудников и несут ответственность за их жизнь и здоровье.

Если нарушены правила, установленные документами, особенно если это приводит к вреду для жизни и здоровья человека, то могут быть применены различные виды наказаний, включая уголовную ответственность. Поэтому важно, чтобы каждый работник понимал опасности производственной деятельности и был настроен на соблюдение требований безопасности, во избежание несчастных случаев.

В ОАО «РЖД» оценка влияния человеческого фактора основана на подходе, который учитывает процессы и системы управления безопасностью на железнодорожных объектах. Этот подход позволяет оценить структурные и содержательные характеристики человеческого фактора в обеспечении безопасности производственных процессов, разработать план мероприятий по обеспечению безопасности труда и охране здоровья работников, уменьшить причины опасных действий, развить культуру безопасности труда и социальную ответственность, а также защитить трудовые права и социальные гарантии работников в области охраны труда. 

Литература

1. Косякин, В. С. Выявление и оценка влияния человеческого фактора в кумулятивной модели возникновения несчастного случая на предприятиях железнодорожного транспорта / В. С. Косякин, З. П. Ощепков, А. М. Завьялов. - Текст : непосредственный // Наука и техника транспорта. - 2019. - № 4. - С. 94-103.
2. Kosyakin, Vitalii. Development of Methodology Assessing Occupational Risks of Employees of Carriage Facility Production Areas / Vitalii Kosyakin1, Vladimir Aksenov2, and Anton Zavyalov1 // Proceedings of the XIII International Scientific Conference on Architecture and Construction 2020 Commemorating the 90th anniversary of Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering. - 2020. - С. 260-270.
3. Коваленко, Г. В. Человеческий фактор, его влияние на этапах подготовки и эксплуатации транспортных систем / Г. В. Коваленко, Ю. З. Захарьянц. - Текст : непосредственный // Актуальные проблемы транспорта России. - 1999. - Вып. 1. - С. 75-78.
4. Горбунов, А. А. Человеческий ресурс - главный фактор в конкурентной борьбе на транспортном рынке / А. А. Горбунов. - Текст : непосредственный // Проблемы корпоративного управления на железнодорожном транспорте / МГУПС. - Москва, 2004. - С. II-29-30.
5. Анисимова, К. А. Понятие человеческого фактора как комплекса причин и условий аварий, катастроф и несчастных случаев на транспорте / К. А. Анисимова, О. Н. Рыбников. - Текст : непосредственный // Неделя науки-2007: Наука МИИТа - транспорту / Моск. гос. ун-т путей сообщ. (МИИТ). - Москва, 2007. - Ч. 1. - С. III-53-54.
6. Финагин, В. Г. Система оценки человеческого фактора как средство повышения безопасности на транспорте / В. Г. Финагин. - Текст : непосредственный // Trans-Mech-Art-Chem / Моск. гос. ун-т путей сообщ. (МИИТ). - Москва, 2008. - С. 232-234.
7. Сафонова, И. А. Человеческий фактор в безопасности на железной дороге / И. А. Сафонова. - Текст : непосредственный // Неделя науки-2011. Наука МИИТа - транспорту / Моск. гос. ун-т путей сообщ. (МИИТ). - Москва, 2011. - Ч. 2. - С. 5-26.

8. Аксенов, В. А. Модель оценки влияния человека на функционирование человеко-машинных систем / В. А. Аксенов, А. М. Завьялов. - Текст : непосредственный // Известия Транссиба. - 2014. - № 1. - С. 116-119.
9. Завьялов, А. М. Применение методологии когнитивного моделирования для оценки и анализа влияния человеческого фактора на безопасность движения поездов и безопасность производственных процессов на транспорте / А. М. Завьялов. - Текст : непосредственный // Наука и техника транспорта. - 2014. - №3. - С. 80- 84.
10. Барина, Г. В. Человеческий фактор на железнодорожном транспорте: проблемы безопасности / Г. В. Барина, Л. А. Асташкина. - Текст : непосредственный // Наука и техника транспорта. - 2017. - №1. - С. 84-87.

УПРАВЛЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТЬЮ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПЕРЕЕЗДАХ НА ОСНОВЕ ПРОГНОЗНЫХ МОДЕЛЕЙ

Статья посвящена разработке математической модели, позволяющей получать прогнозные показатели безопасности движения при одноуровневом пересечении железнодорожных путей автомобильной дорогой для дальнейшего построения приоритетного ряда железнодорожных переездов с точки зрения потребности усовершенствования или их дополнительного оборудования.



Е.А. Сеславина



А.И. Сеславин

Ключевые слова: безопасность движения, железнодорожные переезды, математическое моделирование, прогнозная модель

EDN: MSDGQI

Проблема травматизма, гибели людей, пере-
рывов в движении поездов, а также значи-
тельный ущерб, причиняемый как владельцам
транспортных средств, так и компании — владельцу
инфраструктуры железнодорожного транспорта, всегда
была и остается крайне важной для всех участников
и организаторов движения. Для обеспечения требу-
емого уровня безопасности и надежности на желез-
нодорожных переездах необходимо осуществлять ряд
технических, технологических и административных
мероприятий. При этом финансовые ресурсы компа-
нии-владельца инфраструктуры железнодорожного
транспорта ограничены. Поэтому требуется ранжи-
ровать такие мероприятия с учетом их эффективно-

сти. Одной из основных причин травматизма и гибели
людей, связанной с железнодорожным транспортом,
являются дорожно-транспортные происшествия (ДТП)
на железнодорожных переездах [1–5]. В этих рабо-
тах рассмотрены организационные меры для всех
участников движения и технические мероприятия,
направленные на повышение безопасности пересе-
чений автомобильных и железных дорог. Опираясь на
двадцатилетний период наблюдений и до настоящего
времени, можно сделать вывод о том, что в подавляю-
щем большинстве случаев виновниками ДТП на пере-
ездах являются водители автотранспортных средств.
Несмотря на это, для транспортной компании такие
случаи носят отрицательный характер, связанный не

Сеславина Елена Александровна, кандидат экономических наук, доцент кафедры «Информационные системы цифровой экономики» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: математическое моделирование экономических процессов на транспорте, безопасность движения на железнодорожном транспорте. Автор 86 научных работ, в том числе четырех монографий и пяти учебников.

Сеславин Андрей Игоревич, старший преподаватель кафедры «Управление и защита информации» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: теория автоматического управления, безопасность движения на железнодорожном транспорте. Автор 86 научных работ, в том числе трех монографий и шести учебников.

Евдокимова Екатерина Наумовна, кандидат экономических наук, доцент кафедры «Экономика, финансы и управление на транспорте» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: экономика железнодорожного транспорта, управление затратами, инвестиционный менеджмент, безопасность движения на железнодорожном транспорте. Автор 46 научных работ, в том числе двух монографий и восьми учебников.

только с материальным ущербом объектам инфраструктуры (повреждение пути, средств автоматики и телемеханики, энергоснабжения и т.д.), подвижному составу, но и с ущербом имиджу железнодорожного перевозчика [6]. Также, при рассмотрении проектов по строительству высокоскоростных железных дорог, невозможность обеспечения отсутствия пересечения новой магистрали на одном уровне с автодорогами становится одной из причин отсрочек или даже отказа от реализации таких проектов. Информация о состоянии безопасности движения на железных дорогах мира, отражаемая в ежегодных материалах одной из старейших международных организаций, которая объединяет более 200 национальных железнодорожных компаний, для повсеместного развития железнодорожного транспорта – Международного союза железных дорог – позволяет оценить уровень безопасности перевозок железнодорожным транспортом в нашей стране по всем факторам (число серьезных случаев - крушений, аварий, сходов подвижного состава, столкновений поездов, относительные показатели к поездо-километровой работе) выше среднего. Единственным негативным показателем является количество ДТП на переездах и последствия от них, особенно в части травматизма и гибели людей [7].

Для разработки эффективных мероприятий, направленных на снижение рисков и повышение безопасности движения на железнодорожном транспорте, важно понимать причины формирования описанной выше ситуации. Поскольку железнодорожный переезд является местом пересечения железнодорожных путей автомобильной дорогой, рассмотрим статистику нарушений безопасности по каждому из них. Статистические данные о ДТП на инфраструктуре автомобильных дорог Российской Федерации за период с 2017 по 2023 гг. (табл.1) [8], свидетельствуют о постоянном снижении их количества. За последние четыре года статистика таких происшествий, приведенная в табл. 2, показывает устойчивую негативную тенденцию, особенно тревожит то, что при снижении числа ДТП в 2023 году, отмечен рост

числа погибших, максимальный за рассматриваемый период [8;9]. Данные табл. 2 о последствиях ДТП на железнодорожных переездах за четыре года не указывают на устойчивый тренд. Ущерб от таких нарушений безопасности движения ежегодно составляет значительные суммы. Тенденция снижения отмечается и при рассмотрении статистики крушений, аварий, сходов подвижного состава в поездной работе на железнодорожной инфраструктуре. Это, конечно, свидетельствует о результатах системного проведения работы, направленной на предотвращение нарушений безопасности движения всеми причастными структурами на обоих видах транспорта.

Однако, с точки зрения управления рисками, ключевыми являются результаты сопоставления данных о ДТП на инфраструктуре автомобильных дорог с числом ежегодных крушений, аварий, сходов, столкновений подвижного состава в поездной работе на железнодорожном транспорте, а именно более чем 100-кратное превышение числа ДТП на автомобильных дорогах. Таким образом, можно сделать важный вывод: именно места пересечения железнодорожных магистралей, характеризующихся в целом даже низким уровнем риска нарушения безопасности перевозки, с автомобильной дорогой – местом высокого риска, оказываются крайне опасными для всех участников движения и требуют повышенного внимания со стороны железнодорожников.

В целях сокращения числа ДТП на переездах и тяжести моральных и материальных последствий от них компания-владелец инфраструктуры и ГИБДД проводят активную работу по предупреждению столкновения железнодорожного подвижного состава с автотранспортными средствами. При этом следует отметить активные просветительские, административные и информационные мероприятия, проводимые государственными органами; технические и технологические – со стороны железнодорожников, обеспечивающих одноуровневое расположение железнодорожных путей и автомобильной дороги различным оборудованием: автоматическими шлаг-

Таблица 1

**Данные о ДТП на автомобильных дорогах Российской Федерации
за период 2017–2023 гг.**

Данные о ДТП	Годы						
	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Количество ДТП	169432	168099	164358	145073	133331	126705	121332
Количество погибших людей	19088	18214	16981	16152	14874	14172	13438
Количество раненых людей	215374	214853	210877	183040	167856	159635	152783

Таблица 2

Последствия ДТП на железнодорожных переездах за период с 2020 по 2023 гг.

Месяц	2020			2021			2022			2023		
	ДТП	Гибель	Ранено									
Январь	13	4	14	14	4	14	12	4	13	14	13	13
Февраль	22	4	26	19	6	19	10	3	10	8	3	9
Март	18	8	20	20	5	25	10	1	10	9	4	13
Апрель	15	1	20	13	5	14	13	8	17	13	3	11
Май	17	5	12	16	3	20	12	5	18	10	4	12
Июнь	13	4	13	18	11	18	17	5	25	6	1	10
Июль	24	6	25	17	6	20	14	5	16	22	10	20
Август	14	2	21	16	9	19	22	3	29	16	5	21
Сентябрь	20	1	26	12	4	11	10	4	14	19	8	17
Октябрь	16	2	22	15	4	20	15	5	41	16	7	12
Ноябрь	18	8	20	10	2	10	13	3	17	10	8	13
Декабрь	21	3	26	13	5	38	15	6	15	22	9	29
РФ всего	211	48	245	183	64	228	163	52	225	165	75	180

Составлено авторами по материалам <http://stat.gibdd.ru/>.

баумами, сигнальными светофорами, звуковым предупреждением о приближающемся поезде, устройствами ограждения переезда (УЗП) и современным комплексным оборудованием [10]. Требования по оснащению переездов регламентированы Приказом Министерства транспорта РФ «Об утверждении условий эксплуатации железнодорожных переездов» и зависят от категории переезда [11]. Следует отметить, что на переездах первой категории (при максимальной интенсивности железнодорожного и автомобильного движения) с дежурным работником, оборудованными шлагбаумами, заградительными устройствами, ежегодно отмечаются случаи столкновения локомотивов с автотранспортом. Следовательно, одних технических средств оказывается недостаточно. Наибольшая доля случаев ДТП приходится на переезды 3 и 4 категорий – неохораниваемые, расположенные в малонаселенной местности с низкой интенсивностью железнодорожного и автомобильного движения [12].

Разработка математической модели вероятности возникновения ДТП на переезде

Для того, чтобы обоснованно проводить оснащение таких переездов соответствующим оборудованием, необходимо разработать модель, описывающую возможность возникновения ДТП на железнодорожном переезде. При формировании модели требуется информация, отражающая технические характеристики, оснащение и интенсивность железнодорожного и автомобильного движения по переезду [13]. Перечень требуемых показателей приведен в табл. 3. Дополнительно при расчете возможности возникновения ДТП необходимо учитывать фактор

сезонности (в разрезе месяцев рассматриваемого года).

Практически вся требуемая информация по каждому железнодорожному переезду (количество железнодорожных путей, оснащенность оборудованием, интенсивность движения и др.) содержится в «Карточке на железнодорожный переезд», которая хранится в электронном и бумажном виде и актуализируется не реже 1 раза в год.

Перейдем к разработке модели прогнозирования возможности ДТП на железнодорожном переезде, учитывая требования ГОСТ 32965-2014 [14]. Такая ситуация возникает только при одновременном нахождении на переезде железнодорожного подвижного состава и автотранспортного средства при неправильных действиях водителя автомашины и/или машиниста. Этот факт используется при разработке математической модели. Вероятность такого сложного события зависит, прежде всего, от вероятности пребывания на переезде и железнодорожного подвижного состава и автотранспортного средства [15]. Распределение вероятностей соответствует равномерным законам. Для некоторого выбранного переезда указанная вероятность равна произведению вероятностей, отражающих движение по автомобильной дороге и железнодорожным путям. Причем эти события в вероятностном смысле независимы. Поэтому имеет место формула

$$p = \frac{t_{ат}}{\tau} \cdot \frac{t_{п}}{T}, \tag{1}$$

где p – вероятность возникновения ДТП на железнодорожном переезде;

$t_{ат}$ – время проследования переезда автотранспортным средством;

Таблица 3

Перечень показателей для формирования модели прогнозирования возможности возникновения ДТП на железнодорожном переезде

№ п/п	Наименование показателя	Условные обозначения	Единица измерения
1	Ширина переезда	L	км
2	Количество пар пересекаемых железнодорожных путей	k	ед.
3	Средняя скорость движения автотранспорта	$V_{ат}$	км/ч
4	Интенсивность движения автотранспорта	$N_{ат}$	ед./сутки
5	Длина переезда	D	км
6	Средняя скорость движения поезда	$V_{п}$	км/ч
7	Средняя интенсивность движения поездов	$N_{пп}$	пар поездов/сутки

$$t_{\text{ат}} = \frac{L \cdot q}{1000 \cdot v_{\text{ат}}}, \quad (2)$$

где L — ширина переезда, м;

$v_{\text{ат}}$ — средняя скорость движения автотранспорта на переезде, км/ч;

q — количество железнодорожных путей, пересекаемых автотранспортом (≥ 1);

$t_{\text{п}}$ — время проследования переезда железнодорожным подвижным составом:

$$t_{\text{п}} = \frac{D}{1000 \cdot v_{\text{п}}}, \quad (3)$$

где D — длина переезда, м;

$v_{\text{п}}$ — средняя скорость движения поезда на переезде, км/ч;

τ — временной интервал между движением автотранспорта на переезде, ч:

$$\tau = \frac{24}{N_{\text{ат}} \cdot k_{\text{ас}}}, \quad (4)$$

где $N_{\text{ат}}$ — средняя интенсивность движения автотранспорта на переезде, ед./сут;

$k_{\text{ас}}$ — коэффициент, учитывающий сезонное увеличение интенсивности движения автотранспорта (≥ 1);

T — временной интервал между движением железнодорожного подвижного состава на переезде, ч:

$$T = \frac{24}{N_{\text{пн}} \cdot 2 \cdot s_{\text{нс}}}, \quad (5)$$

где $N_{\text{пн}}$ — средняя интенсивность движения железнодорожного подвижного состава на переезде, поездов/сут;

$s_{\text{нс}}$ — коэффициент, учитывающий сезонное увеличение интенсивности движения железнодорожного подвижного состава (≥ 1).

Для проведения расчетов вероятности возникновения ДТП на переезде при учете человеческого фактора поведения водителей автомобилей следует ввести понятие коэффициента невнимательности (неосторожности) — k . Этот коэффициент равен отношению числа водителей, нарушающих правила пересечения переезда, к общему их числу, что определяется из статистических данных по прошедшим годам и позволяет добиваться точности математической модели. Тогда формула (1) примет следующий вид:

$$p = \frac{t_{\text{ат}}}{\tau} \cdot \frac{t_{\text{п}}}{T} \cdot k, \quad (6)$$

где $k < 1$.

При нахождении этого коэффициента следует учитывать обстоятельства, влияющие на поведение водителя.

Условия применимости математической модели

Модель может быть применима в тех случаях, когда автотранспортные средства приближаются к железнодорожному переезду в колонне. Если же они движутся поодиночке и их движение не наблюдается следующим за ними водителем, то в формуле модели (6) следует считать $k=1$, потому что взаимное влияние водителей отсутствует.

При нахождении автомобиля в потоке водитель движется за впереди идущим автомобилем и, в случае торможения последнего, он также тормозит, что снижает опасность возникновения ДТП. Заметим, что при высокой интенсивности автомобильного движения и снижении скорости головного автотранспортного средства на подъезде к пересечению железнодорожных путей, возникает очередь, поведение водителей в которой можно считать коллективным.

Представим расчет условия, когда движение в потоке отсутствует. Для этого обозначим расстояние по автомобильной дороге от указателя наличия железнодорожного переезда до самого переезда S .

Рассмотрим следующую задачу: при каких условиях коллективное поведение водителей отсутствует, то есть на дистанции S от переезда находится не более одного автомобиля, считая, что водитель производит торможение с постоянным отрицательным ускорением [16]. Если число автомобилей на этой дистанции больше одного, то коэффициент k оказывается меньшим единицы. Для того, чтобы различать две ситуации, следует провести расчет. По законам равнозамедленного движения с ускорением a имеет место следующая формула:

$$V(t) = V_0 - at,$$

где $V(t)$ — скорость движения автомобиля перед переездом,

V_0 — скорость движения автомобиля по дороге.

Из последней формулы получим:

$$a = \frac{V_0 - v_{\text{ат}}}{t_0},$$

где t_0 — время торможения автомобиля перед переездом.

По формуле перемещения автотранспортного средства при равнозамедленном движении найдем:

$$\begin{aligned} S &= V_0 t_0 - \frac{at_0^2}{2} = V_0 t_0 - \frac{(V_0 - v_{\text{ат}})t_0^2}{2} \\ &= \frac{2V_0 t_0 - V_0 t_0 + v_{\text{ат}} t_0}{2} = \frac{(V_0 + v_{\text{ат}})t_0}{2}. \end{aligned}$$

Отсюда получим формулу для расчета времени торможения:

$$t_0 = \frac{2S}{V_0 + v_{ат}}. \quad (7)$$

Условие непадания второго автомобиля на интервал S имеет следующий вид:

$$\frac{d}{V_0} > t_0 = \frac{2S}{V_0 + v_{ат}},$$

где d – интервал между автомобилями в потоке на переезде, тогда

$$d > \frac{2SV_0}{V_0 + v_{ат}}. \quad (8)$$

Расчет параметра d проводится по формуле:

$$d = \tau V_0.$$

Рассмотрим задачу, когда на интервале S скапливается очередь ровно из $m > 1$ автомобилей.

$$\begin{cases} \frac{md}{V_0} > t_0 \\ \frac{(m-1)d}{V_0} < t_0. \end{cases}$$

Отсюда получим:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{t_0 V_0}{d} < m < 1 + \frac{t_0 V_0}{d} \\ m = \left[\frac{t_0 V_0}{d} \right] = \left[\frac{V_0 2S}{d(V_0 + v_{ат})} \right], \end{array} \right. \quad (9)$$

где квадратные скобки формулы (9) обозначают целую часть числа.

Формула (9) представляет собой условие отсутствия движения автотранспорта в колонне. Поэтому при нарушении условия (9) следует использовать в

формуле (6) для расчета вероятности возникновения ДТП на переезде найденный коэффициент k .

Поэтому коэффициент k формулы (6) рассчитывается следующим образом:

$$k = \frac{z}{m}, \quad (10)$$

где z уже не зависит от влияния человеческого фактора, но различен для разных категорий переездов. Этот параметр теперь можно находить для каждой категории переездов, усредняя годовые статистические данные о числе ДТП.

В модели не учтено влияние поведения машиниста, которое не является коллективным и характеризуется постоянной вероятностью, не зависящей от категории переезда.

Применение полученной модели

Для апробации модели был проведен расчет параметра z по данным предыдущих лет статистики железных дорог Российской Федерации, результаты которого представлены в табл. 4.

По приведенным в табл. 4 данным можно прогнозировать вероятность возникновения ДТП для каждой категории железнодорожных переездов в следующем году с помощью формулы (6).

Выводы

Математическая модель показывает, что при $k=1$, т.е. при одиночном движении автотранспорта, что характерно для переездов третьей и четвертой категорий с низкой интенсивностью движения, вероятность ДТП возрастает.

Исходя из результатов прогнозирования, появляется возможность проводить ранжирование железно-

Таблица 4

Результаты расчета параметра z

Интенсивность движения пар поездов, в сутки	Интенсивность движения автомобилей, в сутки				
	До 200 включительно	От 201 до 1000	От 1001 до 3000	От 3001 до 7000	Более 7000
До 16 включительно, а также по всем станционным и подъездным путям	0,021335584	0,005333896	0,00106678	0,00070511	0,0002839
17–100	0,004063921	0,00101598	0,00033577	0,00010817	1,046E-05
101–200	0,001137898	0,000470076	7,5717E-05	5,8594E-06	2,93E-06
Более 200	0,001410228	0,000283938	5,6788E-05	4,3945E-06	2,197E-06

Источник: составлено авторами

дорожных переездов с целью принятия рационального решения по их техническому оснащению, что является важным элементом управления безопасностью перевозок [17]. Обеспечение безопасности на переездах первой категории не требует дополнительного оснащения, кроме тех случаев, когда возникают новые переезды. Для части переездов, относящихся ко второй категории, следует рассматривать вопрос о дополнительном оснащении, в случаях большого числа пар поездов в сутки.

Можно сделать вывод о том, что для переездов третьей и четвертой категорий целесообразно рассматривать вопрос об установке оборудования, снижающего аварийность. Число переездов, для которых предусматриваются такие мероприятия, должно определяться общим объемом ограниченного финансирования. 

Литература

1. Жаворонков, В. А. Особенности дорожно-транспортных происшествий, совершаемых на железнодорожных переездах и меры по их предупреждению / В. А. Жаворонков. - Текст : непосредственный // Транспортное право и безопасность. - 2020. - № 1 (33). - С. 87-97.
2. Пути повышения транспортной безопасности / А. Избаирова, Ж. Альтаева, М. Нуржаубаев, Д. Элиакбаркызы. - Текст : непосредственный // Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева. - 2023. - № 2 (125). - С. 60-70.
3. Лебедева, Н. С. Обеспечение безопасности на железнодорожных переездах / Н. С. Лебедева, С. П. Епифанова, А. С. Петрова. - Текст : непосредственный // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. - 2020. - Т. 1. - С. 138-143.
4. Годяев, А. И. Методологические основы и принципы построения систем поддержки принятия решений в задачах обеспечения безопасности управления движением на железнодорожном транспорте : специальность : 05.22.08 « Управление процессами перевозок » : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Годяев Александр Иванович. - Москва, 2006. - 436 с. : ил. + Прил. (318 с. : ил.). - Текст : непосредственный.
5. Куртиков, Р. М. Комплекс эффективных решений по совершенствованию пересечений автомобильных и железных дорог / Р. М. Куртиков. - Текст : непосредственный // Современное состояние, проблемы и перспективы развития отраслевой науки : материалы VIII Всероссийской конференции с международным участием, Москва, 23-24 ноября 2023 года. - Москва : Издательско-торговая корпорация «Дашков и К», 2023. - С. 101-107.
6. Пономарев, В. М. Комплексная безопасность на железнодорожном транспорте и метрополитене. В двух частях. Часть 2. Безопасность движения и безопасность в чрезвычайных ситуациях: монография / В. М. Пономарев, В. И. Жуков, В. Г. Стручалин. - Москва : ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2015. - 494 с. - 978-5-89035-823-3 978-5-89035-825-7. - Текст : электронный // УМЦ ЖДТ : электронная библиотека. - URL: <https://umczt.ru/books/1197/225967/> (дата обращения: 16.12.2024). - Режим доступа: по подписке.
7. Международный союз железных дорог. - URL: <https://uic.org/> (дата обращения: 15.04.2024).
8. ГИБДД РФ. - URL: <http://stat.gibdd.ru/> (дата обращения: 02.04.2024).
9. Кошкин, А.Ю. Переездам - комплексные меры обеспечения безопасности / А. Ю. Кошкин, А. А. Иваненко. - Текст : непосредственный // Железнодорожный транспорт. - 2015. - № 6. - С. 4-8.
10. Розенберг, Е. Н. Многоуровневая система управления и обеспечения безопасности движения поездов : специальность 05.13.06 «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами» ; специальность 05.22.08 «Управление процессами перевозок» : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Розенберг Ефим Наумович. - Москва, 2004. - 317 с. : ил. - Текст : непосредственный.
11. Об утверждении условий эксплуатации железнодорожных переездов Приказ Минтранса Российской Федерации от 05.10.2022 г. № 402. - URL: <https://base.garant.ru/406279331/> (дата обращения: 03.04.2024). - Текст : непосредственный.
12. Невежин, В. С. Система контроля технического состояния железнодорожных переездов / В. С. Невежин, И. А. Кутень. - Текст : непосредственный // Фундаментальные и прикладные вопросы транспорта. - 2020. - № 1. - С. 21-26.

13. Власов, А. А. Теория транспортных потоков / А. А. Власов ; М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное гос. бюджетное образовательное учреждение высшего проф. образования «Пензенский гос. ун-т архитектуры и стр-ва» (ПГУАС). - Пенза : Изд-во ПГУАС, 2014. - 123 с. - Текст : непосредственный

14. ГОСТ 32965-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Методы учета интенсивности движения транспортного потока = Automobile roads of the general use. Traffic flow intensity accounting methods : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 31 августа 2016 г. № 997-ст.: введен впервые : дата введения 2016-09-08 / Разработан Республиканским унитарным предприятием «Белорусский дорожный инженерно-технический центр» (РУП «Белдорцентр»), Межгосударственным техническим комитетом по стандартизации МТК 418 «Дорожное хозяйство». - URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200132267?ysclid=m4s4d9fbnf12302904>. - Режим доступа : Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. - Текст : электронный.

15. Евдокимова, Е. Н. Формирование перечня показателей для анализа риска возникновения нарушений безопасности движения на железнодорожном транспорте, в том числе ДТП на железнодорожных переездах / Е. Н. Евдокимова, Е. А. Сеславина. - Текст : непосредственный // Корпоративное управление экономической и финансовой деятельностью на железнодорожном транспорте : сборник трудов по результатам IV международной научно-практической конференции, Москва, 11 января - 31 марта 2020 года. - Вып. 18. - Москва : Российский университет транспорта, 2020. - С. 128-134.

16. Savitha B.G., Murthy R. Satya, Jagadeesh H.S., Sathish H.S., Sundararajan T. Study on Geometric Factors Influencing Saturation Flow Rate at Signalized Intersections under Heterogeneous Traffic Conditions. Journal of Transportation Technologies. - Vol. 7. - №. 1. - January 2017. SCIRP <https://www.scirp.org> > journal.

17. Евдокимова, Е. Н. Разработка рекомендаций поддержки принятия решений при формировании инвестиционного проекта «Повышение безопасности движения» на железнодорожном транспорте / Е. Н. Евдокимова, А. И. Сеславин, Е. А. Сеславина. - Текст : непосредственный // Экономика, предпринимательство и право. - 2020. - Т. 10, № 3. - С. 791-804.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ФОРМИРОВАНИЮ КУЛЬТУРЫ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА У ПРОВОДНИКОВ ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ

В статье рассмотрена корреляционная зависимость уровня производственного травматизма и текучести кадров на примере проводников пассажирских вагонов, проведен мониторинг состояния производственного травматизма, анализ уровня текучести кадров и вовлеченности персонала.



Л.Н. Кошель

Ключевые слова: производственный травматизм, проводник пассажирского вагона, текучесть персонала, оценка вовлеченности, условия труда

EDN: FCKOKD

Сбережение численности трудоспособного населения и развитие кадрового потенциала является одной из приоритетных задач обеспечения безопасности государства и гарантией его развития.

В рамках государственной программы Российской Федерации «Содействие занятости населения», утвержденной Постановлением Правительства Российской Федерации от 15 апреля 2014 г. №298 (в редакции постановления от 22 сентября 2023 г. №1556) [1], определена необходимость создания условий для формирования культуры безопасного труда и повышения эффективности мер, направленных на сохранение жизни и здоровья работников в процессе трудовой деятельности.

С учетом вышеизложенного проведено исследование корреляционной зависимости уровня производственного травматизма и текучести кадров на примере проводников пассажирских вагонов.

В целях формирования условий труда, позволяющих сохранить трудоспособность проводников пасса-

жирских вагонов, ежегодного осуществляется мониторинг состояния производственного травматизма [4]. Анализируя сводные данные мониторинга с 2010 по 2023 годы отмечен нестабильный уровень травматизма с динамикой роста количества пострадавших в последние годы (рис. 1). Всего за 13 лет травмировано 297 работников.

В рамках проводимого анализа состояния производственного травматизма применен коэффициент частоты травмирования проводников пассажирских вагонов. Этот показатель характеризует динамику явления и выражается количеством несчастных случаев на производстве в определенный период с привязкой к одной тысяче человек.

Формула для расчета:

$$k_{\text{ч}} = K \cdot 1000 / C_{\text{к}},$$

где $k_{\text{ч}}$ — коэффициент частоты;

K — количество несчастных случаев в рассматриваемом периоде;

Кошель Лилиана Николаевна, главный специалист отдела охраны труда проекта акционерного общества «Федеральная пассажирская компания» (АО «ФПК»). Область научных интересов: железнодорожная гигиена, охрана труда, промышленная гигиена и санитария, железнодорожный транспорт. Автор восьми научных работ.

C_k — среднесписочное количество сотрудников в рассматриваемом периоде.

Исходя из расчета, средний показатель коэффициента частоты несчастных случаев среди проводников пассажирских вагонов за период с 2010 по 2023 годы составляет 0,68.

Необходимо отметить, что на протяжении последних трех лет коэффициент частоты травматизма ежегодно превышал уровень среднего показателя коэффициента.

Причины роста уровня травматизма среди проводников пассажирских вагонов, начиная с 2021 года, объясняются в том числе воздействием внешних факторов и сопоставимы с причинами превышения значений показателей производственного травматизма в целом по стране в части последствий мероприятий вследствие распространения новой коронавирусной инфекции (COVID-19). Также высокий уровень травматизма связан с увеличенным спросом на пассажирские железнодорожные перевозки в дальнем сообщении в связи с вводимыми в последние годы ограничениями для выезда граждан нашей страны за границу и со значительным ростом внутреннего туризма в России.

Одновременно с анализом уровня производственного травматизма среди проводников пассажирских вагонов в рамках проведения социально-психологического исследования проведен анализ текучести кадров среди рассматриваемой категории работников, а также причин увольнения персонала [5].

Проблема высокого уровня текучести проводников пассажирских вагонов препятствует формированию квалифицированного коллектива, что влечет за собой снижение производственных показателей, эффективности и качества работы, трудовой дисциплины и, как следствие, неизбежно ведет к росту технологических

нарушений и случаев травмирования работников в процессе трудовой деятельности.

Согласно статистическим данным в период с 2017 по 2022 годы средний уровень текучести проводников пассажирских вагонов составил 15,6%, что соответствует естественному уровню текучести персонала для производственных предприятий, который находится в диапазоне 10–15%.

Однако в 2022 году отмечен значительный рост уровня текучести проводников пассажирских вагонов относительно его среднего значения при снижении среднесписочной численности работников, который составил 20,7% (рис. 2).

Значительная доля уволившихся работников (49%) — это молодежь в возрасте до 35 лет. При этом достаточно высокий уровень текучести персонала в течение первого года работы — 30% (рис. 3).

Стоит отметить, что портрет увольняющегося проводника пассажирского вагона соответствует портрету работника, который входит в одну из основных групп риска, наиболее часто подверженных травмам. Так, согласно статистическим данным в период с 2010 по 2023 годы около 20% проводников, получивших травмы — это лица в возрасте до 30 лет со стажем работы до 1 года.

Данные факты свидетельствуют, что значительное количество травм происходит с работниками, неадаптированными к производственному процессу, не овладевшими трудовыми навыками и необходимыми профессиональными компетенциями.

В целях комплексного исследования уровня развития кадрового потенциала компании проведена оценка вовлеченности проводников пассажирских вагонов, которая непосредственно влияет на такой показатель, как текучесть кадров [6]. В опросе приняли участие 5,3 тыс. проводников пассажирских

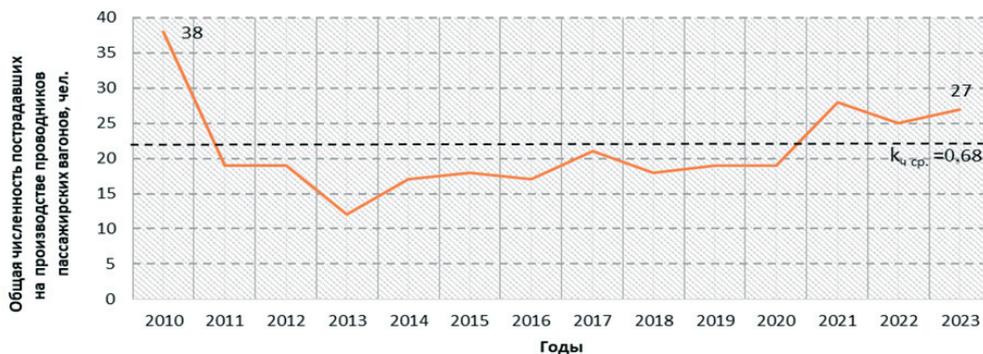


Рис. 1. Динамика производственного травматизма среди проводников пассажирских вагонов хозяйства пассажирских перевозок в дальнем сообщении

вагонов, что составляет 15,5% от всего штата данной категории работников.

Опрос проводился по основным 13 факторам трудовой жизни, таким как: информированность, непосредственный руководитель, соблюдение этических норм, санитарно-бытовые условия, руководство, баланс между работой и личной жизнью, признание и вознаграждение, условия труда, социальные льготы и гарантии, внутренние коммуникации, работа аутсорсинга, обучение и развитие, карьерные возможности.

При оценке фактора «условия труда» проводниками рассматривались и анализировались следующие составляющие показатели: положительные изменения в части развития функционала программного обеспечения, удовлетворение от выполнения ежедневных рабочих обязанностей, удовлетворение от результатов работы, интенсивность труда (количество выходных дней в месяц, за исключением массовых перевозок), соблюдение графика работы.

Несмотря на то, что в целом данный фактор трудовой жизни находится в зоне нейтральных значений

(53%), однако 2 составляющих показателя находятся в зоне неудовлетворенности: «интенсивность труда» – 44% и «соблюдение графика работы» – 41% (рис. 4).

Как следствие, несоблюдение междусменного отдыха, непредоставление отпуска или вызов из отпуска, подтверждают наличие предпосылок у работников к переутомлению, высокому уровню стресса, ухудшению работы мозга и памяти, хронической усталости и, как следствие, профессиональному выгоранию проводников пассажирских вагонов, что напрямую влияет на безопасность труда и уровень производственного травматизма.

Стоит отметить, что анализ опроса и анкет уволившихся проводников пассажирских вагонов показал, что одной из основных причин увольнения является неудовлетворенность условиями труда (702 чел. или 33%).

При оценке фактора «санитарно-бытовые условия» рассматривалась удовлетворенность состоянием и оснащением: туалетных комнат, камер хранения (для личных вещей), гладильных комнат, комнат приема

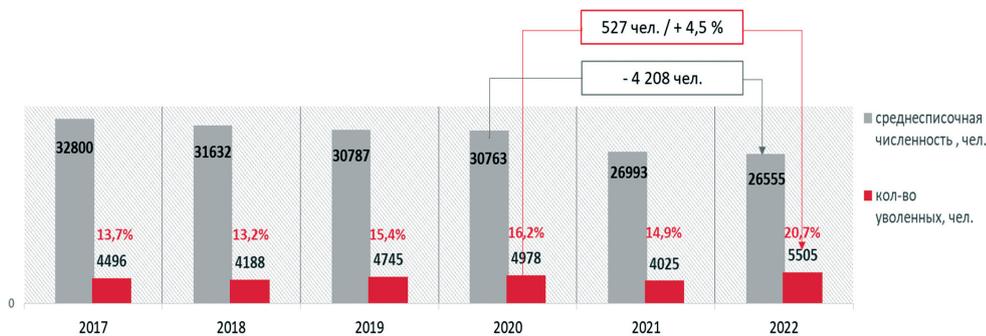


Рис. 2. Уровень текучести проводников пассажирских вагонов

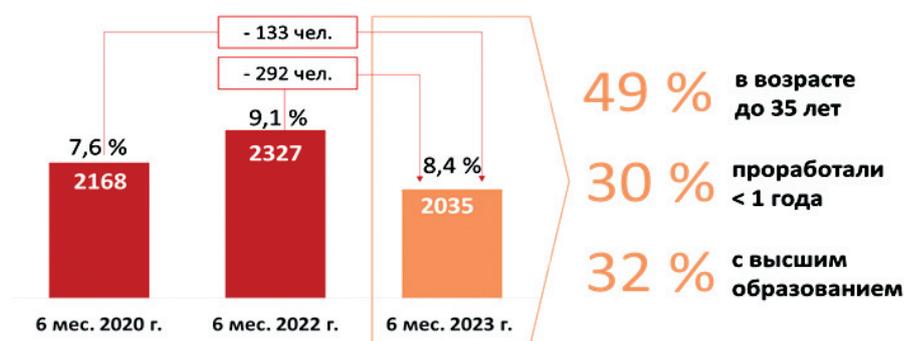


Рис. 3. Портрет увольняющегося проводника пассажирского вагона

пищи, душевых комнат, служебных помещений вагона (купе для отдыха, служебное купе).

Данный фактор в целом также расположен в зоне нейтральных значений (62%), однако показатель «оснащение служебных помещений вагонов (купе для отдыха, служебное купе)» находится в секторе неудовлетворенности с показателем, равным 45% (рис. 5), что в очередной раз подтверждает пренебрежение отдыхом персонала.

Проанализировав основные причины неудовлетворенности персонала в части условий труда, приходится делать неутешительные выводы, что ради достижения таких целей, как «клиентоориентированный подход», «качество сервиса», «удовлетворенность пассажиров», обесценивается такой важный компонент продуктивности и эффективности работы, а также качественной жизни персонала, как отдых.

Качественный отдых влияет на концентрацию внимания работника, на эффективность восприятия окружающей действительности, быстроту реакции, точность, координацию, темп, что особенно важно в рамках трудовой деятельности проводников пассажирских вагонов, работа которых связана с повышенной опасностью.

Стоит отметить, что согласно статистическим данным Роструда [2], а также хозяйства пассажирских перевозок в дальнем сообщении, значительное влияние на уровень производственного травматизма имеет человеческий фактор.

Термин «человеческий фактор» впервые упомянул английский экономист Бенджамин Сибом в 1921 году. В конце 50-х годов в Европе и в СССР термин приравнили к понятию эргономики, которая была призвана определить место человека в некой системе, обеспе-

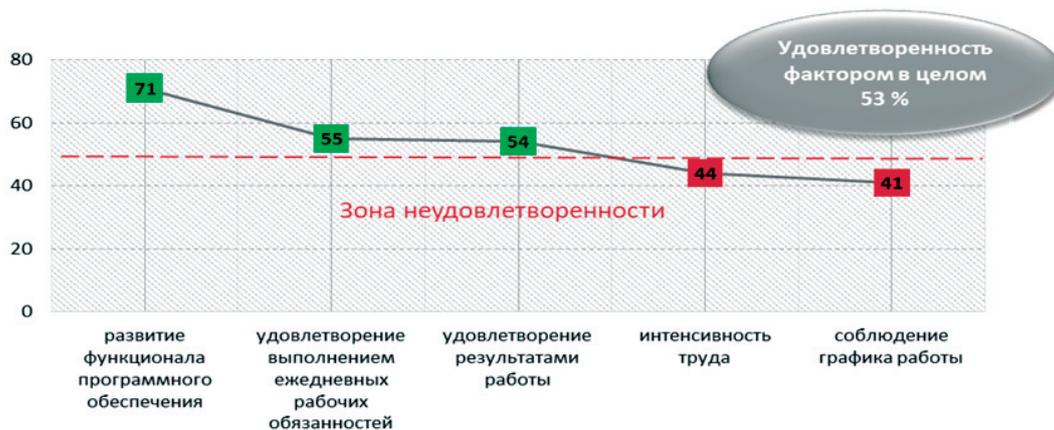


Рис. 4. Составляющие показатели фактора «условия труда»

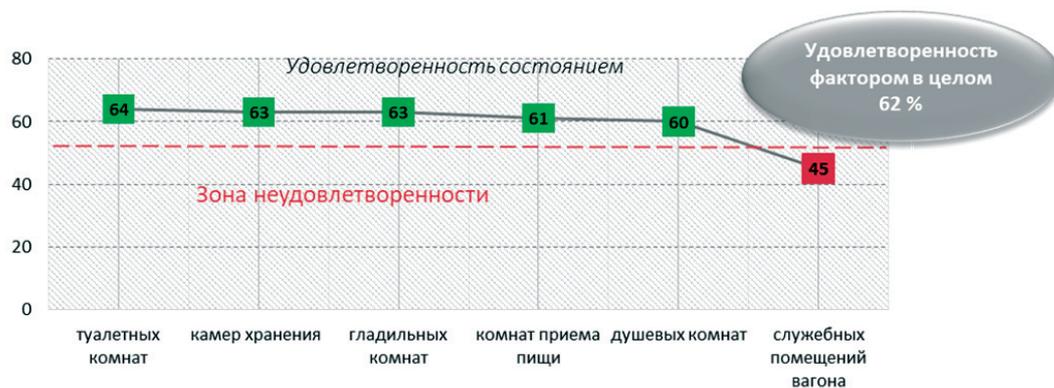


Рис. 5. Составляющие показатели фактора «санитарно-бытовые условия»

чить его комфортное пребывание в ней, с помощью чего улучшить качество работы и повысить эффективность. Постепенно понятие человеческого фактора стало ассоциироваться с ошибочностью принятых человеком решений, которые проявляются в его действиях и поступках [3].

Одной из причин принятия человеком ошибочных решений является нарушение его физического или эмоционального состояния, к которому и ведет пренебрежение отдыхом. В свою очередь, неверные и несвоевременные действия создают опасную ситуацию, которая и приводят к риску возникновения несчастных случаев. Как следствие, подтверждается прямая взаимосвязь между высоким уровнем производственного травматизма среди проводников пассажирских вагонов и низким качеством отдыха работников, о чем свидетельствует уровень неудовлетворенности персонала в части интенсивности труда, соблюдения графика работы, а также оснащения служебных помещений вагонов (купе для отдыха, служебного купе).

Одновременно с этим отсутствие полноценного отдыха влияет на уровень стресса в организме, высокое значение которого впоследствии ведет к выгоранию и эмоциональному истощению человека, что непосредственно влияет на такой показатель, как текучесть персонала.

Повышение мотивации к труду должно выстраиваться при непосредственном соблюдении баланса труда и отдыха.

В целях формирования культуры безопасного труда требуется гармоничное распределение приоритетов между ключевыми жизненными компонентами — работа и отдых, которое позволит достичь эффективности труда проводников пассажирских вагонов, повысит уровень удовлетворенности персонала в части условий труда и организации рабочего процесса в Компании в сочетании с безусловным соблюдением требований безопасности при выполнении всех трудовых функций. 

Литература

1. Постановление Правительства Российской Федерации от 15 апреля 2014 г. № 298 (в редакции Постановления от 22 сентября 2023 г. № 1556). - URL: <https://docs.cntd.ru/document/499091781?ysclid=m4sg4ta0i9910072232> (дата обращения: 17.12.2024). - Режим доступа : Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. - Текст : электронный.
2. Отчет о деятельности Федеральной службы по труду и занятости 2023. - URL: https://rostrud.gov.ru/upload/iblock/c0a/otchet-rostrud-2023_web.pdf (дата обращения: 17.12.2024). - Текст : электронный.
3. Человеческий фактор : в 6 т. / под ред. Г. Салвенди ; перевод с английского ; под общ. ред. [и с предисл.] В. П. Зинченко, В. М. Мунипова. - Москва : Мир, 1991. - Текст : непосредственный.
4. Статистические данные о состоянии производственного травматизма и охраны труда в АО «ФПК». - Москва, 2024. - Текст : непосредственный.
5. Справочно-аналитический материал по текучести проводников пассажирских вагонов. - Москва, 2022. - Текст : непосредственный.
6. Результаты единого опроса вовлеченности проводников пассажирских вагонов. - Москва, 2022. - Текст : непосредственный.

Уважаемые авторы!

Редакция журнала «Наука и техника транспорта» просит представлять оригиналы статей, оформленные в соответствии с нижеперечисленными требованиями:

1. Рекомендуемый объем: 5–10 стр.
2. Материалы направляют по электронной почте, набранные в текстовых редакторах MS Word для Windows.
3. Файл — в формате DOC, DOCX или RTF.
4. Формат страницы — А4 (210x297 мм), при этом левое, верхнее и нижнее поля должны быть не менее 20 мм, а правое поле — не менее 10 мм, ориентация страниц книжная.
5. Шрифт Times New Roman (Суг), размер шрифта 14 pt, межстрочный интервал — полуторный, выравнивание текста по ширине, автоматический перенос, для разметки документа рекомендуется использовать стили текста (назначить нужные стили можно выбрав меню **Формат** → **Стиль...**). В тексте не должно быть двойных пробелов и двойных абзацев (пустых строк). Все необходимое форматирование (например, расстояние между разделами) можно задавать с помощью тех же стилей, просто установив для стиля заголовка отступы (отбивки) перед и после абзаца.
6. Латинские буквы и простые однострочные формулы вида $A_r = B^2 + CD^2$ набирают прямо в строке MS Word; для вставки одиночных специальных символов, таких как \leq , \geq , \pm , ∞ , \cup , \cap , \rightarrow и другие, а также греческих букв используется команда меню **Вставка** → **Символ...** (используемый шрифт Symbol). Многострочные сложные формулы, формулы с дробями, корнями, матрицы, векторы, системы уравнений и прочие помещают в документ как объект Microsoft Equation или Math Type 5 (**Вставка** → **Объект...**). Не допускается делить одну формулу на несколько объектов или часть формулы набирать в строке, а часть ее помещать как объект.
7. Любые таблицы набирают непосредственно в MS Word (команда меню **Таблица** → **Добавить** → **Таблица...**), либо в тексте дают заголовок таблицы, а таблицу — отдельным файлом MS Excel. Не допускается набор таблиц в тексте с разделением пробелами или табуляцией и сеткой сделанной инструментами рисования, а также помещение в документ Word'a таблиц Excel.
8. Изображения принимаются в форматах:
 - для фото *.tif (без сжатия или LZW) или *.jpg (с максимальным качеством), в разрешении 300 dpi при печатном размере;
 - для рисунков, схем, графиков *.tif, *.jpg, *.bmp, *.gif, *.eps, MS Visio, Corel Draw, Adobe Illustrator (все надписи должны быть переведены в кривые).Каждое изображение должно быть представлено отдельным файлом. Если нет возможности качественно отрисовать или отсканировать имеющееся изображение, просьба предоставить оригинал (можно от руки).
9. Допускается включение в текст диаграмм, схем и графиков, в том числе выполненных средствами MS Word, при этом рисунок должен быть помещен в текст как объект.
10. К тексту статьи отдельным файлом прилагают аннотацию (4–7 строк), ключевые слова (5–8 слов) на русском и английском языках и указывают шифр научной специальности.
11. Авторский коллектив должен состоять не более чем из 4-х человек.
12. Необходимо представить следующую информацию об авторах:
 - фамилия, имя, отчество;
 - ученая степень, звание;
 - почетные звания, участие в академиях, сведения о наградах;
 - место работы (почтовый индекс, адрес, номера контактных телефонов);
 - должность;
 - область научных интересов (направление исследований);
 - общее количество научных работ;
 - количество монографий;
 - количество учебников, учебных пособий;
 - количество патентов.
13. В отдельном файле в цифровом виде следует приложить качественные цветные фотографии первых двух авторов размером не менее 400x600 пикселей (см. требования к предоставляемым фото) или, при отсутствии цифровых, фотоснимки на глянцевои бумаге.
14. После рецензирования и проверки рукописи в системе «Антиплагиат» автору(ам) предоставляется Лицензионный договор (в 2-х экз.) с целью его подписания.
15. Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

Уважаемые читатели!

Редакция с благодарностью примет предложения по повышению эффективности работы журнала и по улучшению его дизайна.