

НАУКА И ТЕХНИКА ТРАНСПОРТА



ISSN 2074-1932



Транспорт

Моделирование транспортных процессов

Безопасность деятельности человека

2024 3

Научно-технический журнал

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

- 2.3.1. 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
Тел.: 8 (495) 649-19-00 ext: 385. Fax: 8 (499) 151-18-37

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

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

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

Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ).

Редакция не несет ответственности за представленные материалы. Мнение редакции может не совпадать с мнением автора. Рукописи рецензируются и не возвращаются. Используются фотоматериалы из открытых источников. Обложка: фото Московской детской железной дороги (автор Д.Н. Тихонычев).

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

Подписано в печать 27.09.2024.

Усл. печ. л. 13,5
Формат 60×90¹/₈.

Тираж 60 экз.
Тип. зак. 17

© 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

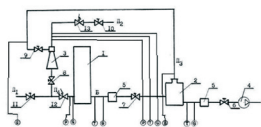
В.А. Кочнев

Редакторы

Д.Н. Тихонычев, В.К. Тихонычева

3' 2024

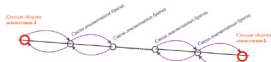
Транспорт



**Е.Н. Пирогов, Е.В. Драбкина, Н.В. Коваленко,
Е.А. Улюкина**

Струйные тепловые насосы в энергосберегающих технологиях

8



**А.А. Никонюк, А.А. Шатохин, Г.М. Биленко,
Н.С. Филипченко**

Проблемы управления поездопотоками
с использованием технологии «Виртуальная сцепка»

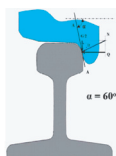
14



Л.А. Илларионова, А.А. Локтев, Д.А. Локтев

Способы защиты от шумового воздействия
на железнодорожном и трамвайном транспорте

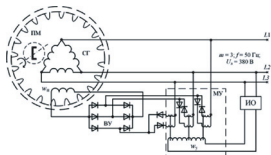
18



П.С. Сиделев, Е.Ю. Минаков

Теоретические аспекты построения переводных,
замыкающих и контрольных устройств стрелочных
переводов с непрерывной поверхностью катания
для организации движения поездов до 400 км/ч

23



Р.А. Раенко, Т.А. Рудницкая, С.Л. Рудницкий

Математическая модель системы регулирования
напряжения синхронного генератора с постоянными
магнитами

30



О.И. Веревкина, В.Э. Иванов

Факторный анализ рисков безопасности движения
поездов в хозяйстве автоматики и телемехники

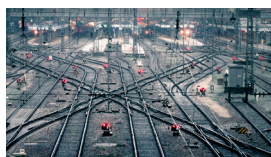
36



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

Безотказность тяговых электродвигателей электровозов
переменного тока Восточного полигона с параллельной
и непараллельной вентиляцией

43



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

Метод анализа систем с квазипериодическими
параметрами

50

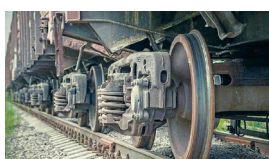


Е.С. Максимова, П. Низигийимана

Повышение эффективности перевозки грузов по транспортным коридорам Восточной Африки

52

Моделирование транспортных процессов



Е.П. Корольков, А.И. Бондаренко, Н.А. Корниенко, Л.В. Колокольчикова

Необходимое и достаточное условия качения задней колесной пары в радиальной установке и без скольжения ее колес в кривых участках пути

59



Л.А. Баранов, Е.П. Балакина, Ч. Юнцян, А.С. Анохин, И.А. Жеребятин

Имитационное моделирование интеллектуальных экстраполяторов

62

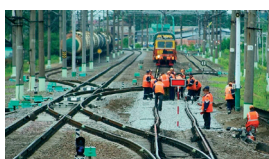


А.А. Попов

Алгоритм распределения пассажиропотоков по времени и по маршрутам общественного транспорта с учетом расписаний движения и ограничений провозной способности

68

Безопасность деятельности человека



О.С. Сачкова, Ю.В. Пименова, Л.Н. Кошель

Прогнозирование и анализ профессиональных рисков у работников путевого хозяйства, связанных с условиями труда

76



В.А. Кочнев

Обоснование использования биоразлагаемых моющих, дезинфицирующих и дезодорирующих средств в экологически чистых туалетных комплексах подвижного состава железнодорожного транспорта

83



Д.В. Климова, В.В. Самойлов

Оценка возможностей использования интернета вещей в целях обеспечения безопасности работников железнодорожного транспорта

87



Д.В. Гречушникова, Н.Н. Попова

Обеспечение санитарно-гигиенической безопасности систем водоснабжения пассажирских вагонов локомотивной тяги при использовании металлополимерных труб

96



О.С. Кузьмин, А.Н. Луценко, Е.С. Куликова

К вопросу о разработке мероприятий по снижению негативных последствий при организации перевозок нефтеналивных грузов железнодорожным транспортом

103

Transport

E.N. Pirogov, E.V. Drabkina, N.V. Kovalenko, E.A. Ulyukina Jet Heat Pumps in Energy-saving Technologies **8**

Classification and theoretical provisions of functioning of jet apparatuses are given, and also their application for utilisation of heat of cube residue of rectification columns is considered.

Key words: jet apparatuses, ejector, vapour-compression heat pump, injection coefficient

A.A. Nikonyuk, A.A. Shatokhin, G.M. Bilenko, N.S. Filipchenko Resolution of Issues of Train Flow Operation Under Virtual Coupling Technology **14**

The article considers the automation of the process of monitoring and analysing the passage of groups of freight trains in the Virtual Coupling mode with the formation of automated output forms for a three-level system of operational control and analysis of the traffic schedule, automatic determination of the reasons for disconnection of virtually twin trains and responsible divisions of JSC «Russian Railways».

Key words: virtual coupling, capacity increase, train operation, train passing organisation

L.A. Illarionova, A.A. Loktev, D.A. Loktev Methods of Protection from Noise Impact on Railway and Tram Transport **18**

The article presents the main sources and methods of protection from transport noise used in railway infrastructure. Frequently encountered solutions on the railway, such as noise shields and rail dampers, have been analysed.

Key words: railway transport, urban transport, mechanical characteristics, structural noise

P.S. Sidelev, E.Yu. Minakov Theoretical Aspects of the Construction of Transfer, Closing and Control Devices of Switching Devices with Continuous Rolling Surface to Organise Train Traffic up to 400 km/h . . . **23**

According to the strategy of Russian railway transport development, by 2030 the total length of lines with speeds over 160 km/h will be almost 11 thousand km. The organisation of train traffic up to 400 km/h requires new non-traditional technical and theoretical foundations of basic solutions in the construction, provision of comfortable and safe movement of trains by infrastructure devices.

Key words: wheel, frame rail, rolling stock, axle load, mathematical model, lateral impact force

R.A. Raenko, T.A. Rudnitskaya, S.L. Rudnitsky Mathematical Model of the Voltage Regulation System of the Synchronous Generator with Permanent Magnets **30**

The paper considers the mathematical model of the voltage regulation system (VRS) of a permanent magnet synchronous generator describing the dynamics of motion of the main elements of the VRS when using the principle of sub-magnetisation of the generator stator backrest. The principal and structural schemes of the VRS are presented, the transfer function of the system is obtained and the stability estimation is carried out.

Key words: permanent magnet synchronous generator, voltage regulation system, regulation object

O.I. Verevkina, V.E. Ivanov Factor Analysis of Train Traffic Safety Risks in the Automation and Telemechanics Industry **36**

The factor analysis of risks in the field of train traffic safety is understood as consideration and evaluation of the level of influence of factors on the risk of occurrence of cases of violation of train traffic safety. For the purpose of automatic formation of factor analysis of risks in the automation and telemechanics economy the EC ACSUI FA of JSC «Russian Railways» is used in the part of formation of factor analysis of risks in the field of traffic safety on the infrastructure of JSC «Russian Railways».

Key words: factor analysis, risk factor, EC ASUI FA, risk level, traffic safety violation, risk management

D.I. Bodrikov, I.A. Rybkin, A.A. Tikhonova, A.S. Kosmodamiansky, V.P. Smirnov Failure-Free Operation of Traction Electric Motors of AC Electric Locomotives of Eastern Range with Parallel and Non-Parallel Ventilation	43
--	-----------

Damages of collector traction motors of alternating current electric locomotives of the Eastern polygon of Russian Railways with different systems of ventilation are analysed. It is established that parallel ventilation of motors provides higher reliability of winding insulation and commutation than non-parallel one.

Key words: Eastern polygon of Russian Railways, electric locomotives, parallel and non-parallel ventilation, insulation, commutation

V.Yu. Gorelik, V.I. Apattsev, A.V. Smyslov Method of Analysis of Systems with Quasi-periodic Parameters	50
---	-----------

A method of analysing systems with variable parameters, which includes a wide range of control systems, is proposed. The analysis is carried out by means of the Laplasa transform, the authors propose a four-dimensional record of the functional determinant, which allows to visualise its properties.

Key words: parametric systems, Laplasa transform, infinite four-dimensional determinants

E.S. Maximova, P. Nizigiyimana Improving the Efficiency of Cargo Transport along the Transport Corridors of East Africa	52
---	-----------

The article shows the importance of building a railway line in the Republic of Burundi. The problems and advantages of each mode of transport are described. On the basis of key indicators the analysis of existing infrastructure, cargo delivery times, distances and costs of organising multimodal transport between the main ports of East Africa is carried out.

Key words: transport corridors, gauge, multimodal transport, railway infrastructure

Modelling of transport processes

E.P. Korolkov, A.I. Bondarenko, N.A. Kornienko, L.V. Kolokolchikova Necessary and Sufficient Conditions of Rolling of a Rear Wheelset in Radial Mounting and Without Sliding of its Wheels in Curves	59
---	-----------

As a result of research the necessary condition of rolling in a radial installation of a rear wheel pair of a bogie with a rigid frame is obtained. The impossibility of such rolling in all curves with radii less than 1250 m at the track arrangement according to the existing norms and taper of wheel rolling surface 1/10 is shown. The bogie movement in such curves is carried out only in chordal installation.

Key words: rolling, resistance, wheel, ridge, rail, curve, sliding, conditions, radius

L.A. Baranov, E.P. Balakina, Ch. Yuntsyan, A.S. Anokhin, I.A. Zherebyatin Simulation Modelling of Intelligent Extrapolators	62
---	-----------

Simulation models of intelligent extrapolators using Chebyshev polynomials orthogonal on the set of equidistant points are considered. The relevance of the use of intelligent extrapolators in automatic control systems and predictive diagnostics is shown. The results of simulation modelling of prediction errors and recommendations on the choice of extrapolator parameters are given.

Key words: intelligent extrapolator, prediction errors, random process, mathematical model

A.A. Popov Algorithm of Distribution of Passenger Flows on Time and on Routes of Public Transport Taking into Account Schedules of Movement and Restrictions of Carrying Capacity	68
--	-----------

The review and analysis of the existing algorithms of distribution of passenger flows on route transport networks are carried out. The algorithm of distribution of passenger flows by time and by routes of public transport with consideration of traffic schedules and restrictions of carrying capacity is developed. The algorithm is implemented and tested in a computer programme for forecasting the distribution of passenger flows in the route system of public transport.

Key words: distribution of passenger flows, dynamic macromodelling of public transport system

Safety of human activity

O.S. Sachkova, Y.V. Pimenova, L.N. Koshel

Forecasting and Analysis of Occupational Risks in Track Maintenance Workers Associated with Labour Conditions **76**

The article presents a complex approach to the assessment of occupational risk of health disorders of track maintenance workers, including the calculation of individual risk of occupational pathologies development and the forecast of occupational factors impact hazard for the health of track maintenance workers with the change of length of service and working conditions.

Key words: track maintenance workers, unfavourable production factors, occupational risk

V.A. Kochnev

Justification of the Use of Biodegradable Detergents, Disinfectants and Deodorising Agents in Ecologically Clean Toilet Complexes of Railway Rolling Stock **83**

Provision of ecological and hygienic safety of railway transport is one of the most important tasks for preservation of the environment and human health. The article considers disinfectants with washing and deodorising action – «BIODEZHHT» and «BIODEZHHT Active», the use of which will provide ecological safety at operation of ecologically clean toilet complexes.

Key words: ecologically clean toilet complexes, detergent-disinfectant and deodorising agents

D.V. Klimova, V.V. Samoilov

Assessment of the Possibilities of Using the Internet of Things in Order to Ensure the Safety of Railway Transport Workers **87**

The article evaluates the possibilities of using the Internet of Things to ensure the safety of railway transport workers. The use of the possibilities of the Internet of Things will give an additional tool for improving the safety system to the management of JSC «Russian Railways» on the basis of quantitative information about the working conditions of workers, their physical and psychological well-being.

Key words: technosphere safety, non-stationary workplace, sanitary and welfare provision, labour conditions

D.V. Grechushnikova, N.N. Popova

Provision of Sanitary and Hygienic Safety of Water Supply Systems for Locomotive Traction Passenger Cars Using Metal-polymer Pipes **96**

Physico-chemical properties and advantages of metal-polymer pressure pipes; programme and methods of research of metal-polymer pressure pipes; results of sanitary-chemical research in model conditions are presented. The results obtained in the course of researches allow to draw a conclusion about the possibility of application of the investigated pressure metal-polymer pipes in the water supply system of passenger cars of locomotive traction.

Key words: locomotive traction passenger cars, cold and hot water supply, pressure metal-polymer pipes

O.S. Kuzmin, A.N. Lutsenko, E.S. Kulikova

Towards the Development of Measures to Reduce Negative Consequences in the Organisation of Oil Cargo Transportation by Railway Transport. **103**

The organisation of oil products transportation by rail includes loading, transit and shipment stages. The realisation of each of the stages is closely connected with the probability of emergencies. The solution of the issue of minimising the harmful effects of transporting dangerous goods can be achieved by developing preventive means of eliminating emergency situations associated with the spillage of petroleum products.

Key words: oil products, railway transport, organisation of oil products transportation, emergency situation

СТРУЙНЫЕ ТЕПЛОВЫЕ НАСОСЫ В ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЯХ



Е.Н. Пирогов



Е.В. Драбкина

Приведены классификация и теоретические положения функционирования струйных аппаратов, а также рассмотрено их применение для утилизации теплоты кубового остатка ректификационных колонн.

Ключевые слова: струйные аппараты, эжектор, пароконденсационный тепловой насос, коэффициент инжекции

EDN: EJNVKJ

Основным достоинством струйных аппаратов, включая струйные тепловые насосы, является простота конструкции и, как следствие, низкая стоимость. При этом в них отсутствуют движущиеся механические части, что делает их износостойкими и надежными в работе [1]. Классификация струйных аппаратов производится в зависимости от степени расширения и степени сжатия.

В газоструйных или пароструйных компрессорах отношение давлений рабочего и инжектируемого потоков много больше критического отношения давлений и составляет значение в пределах

$$2,5 \geq \frac{p_0}{p_n} \geq 1,2.$$

Газоструйные или пароструйные эжекторы характеризуются степенью сжатия

$$\frac{p_0}{p_n} \geq 2,5.$$

Газоструйные или пароструйные инжекторы характеризуются степенью сжатия

$$\frac{p_0}{p_n} \leq 1,2.$$

Пирогов Евгений Николаевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Теплоэнергетика и водоснабжение на транспорте» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: энергосбережение, теплотехника. Автор более 130 научных работ.

Драбкина Елена Васильевна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Теплоэнергетика и водоснабжение на транспорте» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: энергосбережение, теплотехника. Автор более 65 научных работ.

Коваленко Надежда Всеволодовна, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры «Экономические теории» Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). Область научных интересов: экономические проблемы развития, экономическая политика, экономический рост, инновационное развитие экономики, государственное регулирование экономики. Автор более 50 научных работ.

Улюкина Елена Анатольевна, доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение и технологии машиностроения» Российского государственного аграрного университета - МСХА имени К.А. Тимирязева (РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева). Область научных интересов: полимерные материалы, фильтрующие перегородки, топлива и смазочные материалы, процессы очистки нефтепродуктов. Автор более 140 научных работ.

Сложность задач, решаемых с помощью струйных аппаратов, характеризуется таким параметром как коэффициент инжекции u . Эта характеристика показывает степень вовлечения в теплоснабжение вторичных тепловых ресурсов, а именно паров вскипания G_n , которые при смешении с острым паром G_p образуют теплоноситель с теплофизическими свойствами, необходимыми для использования в ректификационных колоннах. Количество паров вскипания соответствуют степени разрежения в аппарате-испарителе.

$$u = \frac{G_n}{G_p} \quad (1)$$

Физическая модель рабочего процесса эжектора описана в работах [3–5].

Процессы, протекающие в аппаратах струйной техники, описываются следующими законами [1]:

- закон сохранения энергии

$$i_p + u \cdot i_n = (1 + u) \cdot i_c \quad (2)$$

где i_p, i_n, i_c – энтальпия, соответственно, рабочего, инжектируемого потока до аппарата и смешанного потока

после него, кДж/кг; $u = \frac{G_n}{G_p}$ – коэффициент инжекции,

т.е. отношение массового расхода инжектируемого потока к массовому потоку рабочего потока;

- закон сохранения массы

$$G_c = G_p + G_n \quad (3)$$

где G_p, G_n, G_c – массовые расходы рабочего, инжектируемого и смешанного потоков, кг/с;

- закон сохранения импульсов

$$G_p \cdot \omega_{p1} + G_n \cdot \omega_{n1} - (G_p + G_n \cdot \omega_3 = p_3 \cdot f_3 + \int p \cdot df_1 f_3 - (p_{p1} \cdot f_{p1} + p_{n1} \cdot f_{n1}), \quad (4)$$

где $\omega_{p1}, \omega_{n1}, \omega_3$ – скорости рабочего и инжектируемого потоков во входном сечении камеры смешения и смешанного потока в выходном сечении этой камеры, м/с; p_{p1}, p_{n1}, p_3 – статические давления рабочего и инжектируемого потоков во входном сечении камеры смешения и смешанного потока в выходном сечении этой камеры, Н/м²; f_{p1}, f_{n1}, f_3 – площади сечений рабочего и инжектируемого потоков во входном сечении камеры смешения и смешанного потока в выходном

сечении этой камеры, м²; $\int p \cdot df$ – интеграл импульса

сил на боковую поверхность камеры смешения.

На эффективность работы струйного аппарата влияют не только конструктивные размеры его узлов

(сопловой части, камеры смешения и диффузора), но и взаимное расположение их в изделии в целом.

Термокомпрессионные установки (струйные тепловые насосы) для утилизации теплоты жидкостных технологических потоков предназначены для снижения расхода тепловой энергии в виде пара. Наиболее эффективно эта задача решается в технологическом теплоснабжении и применительно к теплоэнергетическим производствам. В пищевом, химическом и биотехнологическом производствах этому критерию отвечают ректификационные колонны. Утилизация и вовлечение низкопотенциальной теплоты кубовых остатков ректификационных колонн является перспективным направлением в энергосбережении, так как результат достигается путем незначительных материальных затрат.

Рассмотренная термокомпрессионная установка для утилизации теплоты кубовых остатков является по сути тепловым насосом струйного типа и позволяет реализовать процесс ректификации целевого продукта при меньшем расходе острого пара за счет охлаждения кубового остатка и последующего сжатия образовавшихся паров вскипания до предусмотренных технологическим регламентом параметров.

Схема включения струйного теплового насоса в ректификационном отделении представлена на рис. 1.

Основными элементами схемы являются паровой эжектор 3, испаритель кубового остатка 2, в качестве которого используется приемная емкость кубового остатка усиленной конструкции, связанной с работой ее под вакуумом, регулятор расхода 5, запорно-регулирующая арматура и контрольно-измерительные приборы.

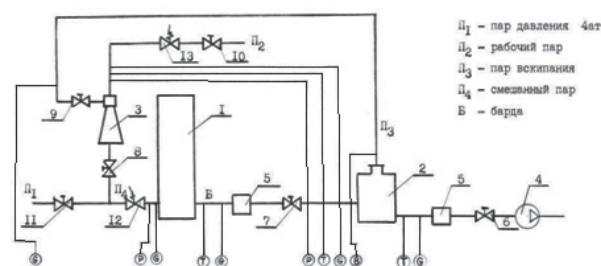


Рис. 1. Схема термокомпрессионной установки для утилизации теплоты кубового остатка:

- 1 – ректификационная колонна; 2 – испаритель;
- 3 – паровой эжектор; 4 – насос для откачки кубового остатка; 5 – регулятор расхода;
- 6, 7, 8, 9, 10, 11 – запорная арматура;
- 12, 13 – регулирующая арматура

Схема распределения тепловых потоков ректификационной колонны при использовании теплоты кубового остатка представлена на рис. 2.

Общий вид испарителя представлен на рис. 3.

Испаритель представляет собой стальную цилиндрическую конструкцию с конусным днищем. Внутри испаритель для защиты от коррозии футерован кислотостойким материалом. Испаритель рассчитывается для работы под вакуумом, объем его подбирается, исходя из производительности ректификационной колонны.

Испаритель имеет тангенциальный ввод кубового остатка, штуцер для отвода охлажденного продукта, штуцер для отвода паров вскипания, которые образуются при вакуумировании.

Определяющим элементом термокомпрессионной установки является паровой эжектор, проектирование которого определяется исходными данными для конкретной ректификационной колонны.

Термодинамический процесс образования технологического пара с параметрами, необходимыми для непосредственного применения в ректификационной колонне, изображен в $i-S$ диаграмме, представленной на рис. 4,а. Изменение давления потоков по длине парового эжектора представлено на рис. 4,б [2].

Обозначения, указанные на рис. 4,а,б характеризуют следующие параметры процесса: i_p, t_p, p_p — энтальпия, температура и давление рабочего пара паровым эжектором (точка Р); i_n, t_n, p_n — энтальпия, температура и давление рабочего паров вскипания на входе в паровой эжектор (точка Р_н); i_c, t_c, p_c

— энтальпия, температура и давление паров смешения на выходе из парового эжектора; p_p^* — давление рабочего пара в критическом сечении; p_{p1} — давление рабочего пара в сечении среза сопла.

Физическая сущность процессов, реализуемых в струйных паровых аппаратах, базируется на уравнении Бернулли и состоит в создании условий для получения технологического пара заданных параметров путем смешения острого перегретого пара, поступающего из соответствующего источника, с парами вскипания, которые образуются в аппарате, работающем при давлении ниже атмосферного. Количество паров вскипания соответствует давлению разрежения в аппарате (испарителе). Смешанный пар поступает сначала в цилиндрическую часть струйного аппарата, где происходит выравнивание скоростей потока, и далее в диффузор, угол раскрытия которого определяет давление на выходе из струйного аппарата, значение которого определяется технологическим процессом ректификации.

Работа термокомпрессионной установки для утилизации низкопотенциальной теплоты кубового остатка обеспечивает технологические параметры процесса ректификации (см. рис. 1). Перегретый кубовый остаток при температуре 103°C из ректификационной колонны 1 через регулятор давления 5 поступает в испаритель 2. В испарителе паровым эжектором 3 поддерживается давление ниже атмосферного. За счет теплоты перегрева кубового остатка относительно давления насыщения в испарителе происходит вскипание, при этом кубовый остаток охлаждается

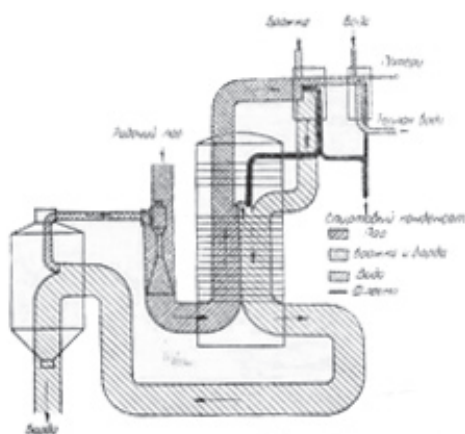


Рис. 2. Схема распределения тепловых потоков ректификационной колонны при использовании теплоты кубового остатка



Рис. 3. Испаритель: 1- штуцер для подачи кубового остатка; 2 – штуцер для отвода охлажденного кубового остатка; 3 – штуцер для отвода паров вскипания; 4 – штуцер для установки предохранительного клапана; 5 – штуцер для присоединения мановакуумметра; 6 – штуцер для установки регулятора расхода

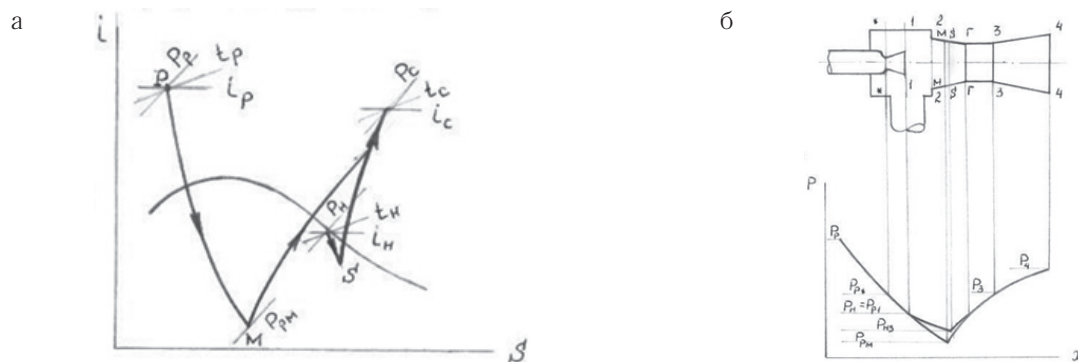


Рис. 4. Процесс в струйном аппарате (а)
и схема пароструйного эжектора и изменение давления по его длине (б)

до температуры 80–85°C. Пары вскипания засасываются по трубопроводу Π_3 в смесительную камеру парового эжектора, в рабочее сопло которого по трубопроводу Π_2 поступает перегретый пар. Смешанный пар необходимых параметров по трубопроводу Π_4 направляется в барботер для обогрева ректификационной колонны 1. Охлажденный в испарителе кубовый остаток через регулятор уровня направляется на дальнейшее использование согласно технологическому регламенту.

При проектировании термокомпрессионной установки и ее эксплуатации производится контроль следующих технологических параметров: расход кубового остатка, м³/ч, температура кубового остатка на выходе из ректификационной колонны, расход перегретого пара на входе в сопло парового эжектора, температура перегретого пара, расход смешанного пара, температура в испарителе, температура кубового остатка на выходе из испарителя.

Некоторые параметры фиксируются установленными приборами КИПиА и используются для уточнения исходных данных для расчета геометрических размеров парового эжектора.

Расход рабочего пара определяется по формуле:

$$G_p = 2,28 \cdot f_{p*} \cdot \sqrt{\frac{p_p}{v_p}}, \quad (5)$$

где f_{p*} — площадь критического сечения сопла; p_p — давление рабочего пара; v_p — удельный объем рабочего пара.

Измеренные параметры позволяют рассчитать характеристики парового эжектора, а также, используя балансовые и термодинамические соотношения, оценить термоэкономическую эффективность применения термокомпрессионной установки в целом и определить необходимые для расчета параметры технологического процесса.

В испарителе за счет создания паровым эжектором вакуума происходит вскипание паров, а, следовательно и снижение температуры кубового остатка. Эти показатели определяют тепловую нагрузку на испаритель:

$$Q_H = G_{\text{к.ост.}} \cdot C_{\text{к.ост.}} \cdot (t'_{\text{к.ост.}} - t''_{\text{к.ост.}}), \quad (6)$$

или $Q_H = G_H \cdot r$.

Количество паров вскипания в испарителе, поступающее в паровой эжектор

$$G_H = \frac{Q_H}{r} = \frac{G_{\text{к.ост.}} \cdot C_{\text{к.ост.}} \cdot (t'_{\text{к.ост.}} - t''_{\text{к.ост.}})}{r}. \quad (7)$$

Коэффициент эжекции парового эжектора:

$$U = \frac{G_H}{G_p}, \quad (8)$$

или $G_H = U G_p$.

Количество смешанного пара, поступающего в ректификационную колонну на обогрев определяется по формуле:

$$G_c = G_p + G_H = G_p + U G_p = G_p (1 + U). \quad (9)$$

Построение характеристики работы парового инжектора, а именно зависимость коэффициента инжекции, расхода и давления от параметров технологического процесса, где он применяется, позволяет установить диапазон его применимости и его поведение в нерасчетном режиме. Такие внешние параметры как противодавление, обусловленное внешними факторами, критически воздействуют на стабильность работы инжектора и всей технологии в целом.

Чем сильнее необходимо охладить кубовый остаток, тем большее количество вторичного пара образуется в испарителе и тем больше коэффициент инжекции.

Величина коэффициента инжекции определяется по формуле:

$$U = \frac{G_{\text{к.ост.}} \cdot C_{\text{к.ост.}} \cdot (t'_{\text{к.ост.}} - t''_{\text{к.ост.}})}{(i_1 - i_2) \cdot \left[G_c - \frac{G_{\text{к.ост.}} \cdot C_{\text{к.ост.}} \cdot (t'_{\text{к.ост.}} - t''_{\text{к.ост.}})}{i_1 - i_2} \right]}, \quad (10)$$

где $G_{\text{к.ост.}}$ — количество кубового остатка; $C_{\text{к.ост.}}$ — теплоемкость кубового остатка; $t'_{\text{к.ост.}}$, $t''_{\text{к.ост.}}$ — начальная и конечная температуры кубового остатка; i — энтальпия насыщенного пара при давлении в испарителе.

Расчет парового инжектора заключается в определении его поперечных сечений: $d_{\text{рк}}$, d_2 , d_3 . Размеры $d_{\text{р}}$, $d_{\text{н}}$, $d_{\text{с}}$ — это диаметры паропроводов и определяются согласно известным правилам.

Для расчета парового инжектора необходимы следующие исходные данные: расход смешанного пара, подаваемого в ректификационную колонну, параметры рабочего пара (давление, температура, энтальпия), расход и температура кубового остатка на выходе из ректификационной колонны.

Энтальпия смешанного пара определяется по формуле:

$$i_{\text{с}} = \frac{i_{\text{р}} + U i_{\text{н}}}{1 + U}. \quad (11)$$

Удельные объемы соответственно рабочего, вторичного и смешанного пара $v_{\text{р}}$, $v_{\text{н}}$, $v_{\text{с}}$ определяются по таблицам или схеме $i-S$.

Площадь критического сечения рабочего сопла рассчитывается по формуле для перегретого пара

$$F_{\text{р}} = 47 \cdot 85 G_{\text{р}} \cdot \sqrt{\frac{v_{\text{р}}}{P_{\text{р}}}}. \quad (12)$$

Диаметр критического сечения рабочего сопла

$$d_{\text{р}} = 1,13 \cdot \sqrt{F_{\text{р}}}. \quad (13)$$

Площадь выходного сечения рабочего сопла рассчитывается по формуле для перегретого пара

$$F_2 = \frac{0,0226 \cdot F_{\text{р}}}{\left(\frac{p_{\text{н}}}{p_{\text{р}}}\right)^{0,77} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{p_{\text{н}}}{p_{\text{р}}}\right)^{0,23}}}. \quad (14)$$

Диаметр выходного сечения рабочего сопла рассчитывается по формуле:

$$d_2 = 1,13 \cdot \sqrt{F_2}. \quad (15)$$

Длина расширяющейся части сопла определяется углом конусности, который принимается равным 8° .

Сечение цилиндрической камеры смешения F_3 наряду с критическим сечением рабочего сопла

$F_{\text{р}}$ является основной величиной, определяющей коэффициент инжекции и КПД парового инжектора.

Коэффициент инжекции зависит от отношения $\frac{F_3}{F_{\text{р}}}$.

При его уменьшении падает U , но растет отношение

давлений $\frac{p_{\text{с}}}{p_{\text{н}}}$ и, наоборот, с увеличением $\frac{F_3}{F_{\text{р}}}$ увеличивается U и снижается степень сжатия.

Отношения сечений $\frac{F_3}{F_{\text{р}}}$ и $\frac{F_2}{F_{\text{р}}}$ являются геометрическими параметрами подобия пароинжекторных установок.

Пароинжекторные установки, имеющие различные геометрические размеры, но одинаковые соотношения сечений, имеют одинаковые характеристики.

Диаметр цилиндрической камеры смешения определяется по формуле:

$$d_3 = 115,2 \cdot \sqrt{G_{\text{с}} \cdot v_{\text{н}}} \cdot \sqrt[4]{\frac{\eta + U}{\eta \cdot i_0}}. \quad (16)$$

Длина камеры смешения принимается в зависимости от величины коэффициента инжекции $L_{\text{к}} = (6-10)d_2$.

Длина диффузора определяется, исходя из угла раствора его $8-10^\circ$ по формуле:

$$L_{\text{д}} = (6-7)(d_{\text{с}} - d_3). \quad (17)$$

Важное значение для работы парового инжектора имеет правильная установка рабочего сопла относительно камеры смешения, как в части совпадения осей, так и в выборе расстояния его от камеры смешения.

Выбор этого расстояния определяется из условия, что свободная струя, выходящая из рабочего сопла при заданном коэффициенте инжекции, точно вписывается во входное сечение камеры смешения. При выборе этого расстояния учитывается величина коэффициента инжекции. Необходимо определить два размера:

• длину свободной струи:

$$\text{при } U < 0,5 \quad S = (\sqrt{0,083 + 0,76 \cdot U} - 0,29) \cdot \frac{d_2}{2a}, \quad (18)$$

$$\text{при } U > 0,5 \quad S = \frac{0,37 + U}{4,4 \cdot a} \cdot d_2,$$

где $a = (0,07 \div 0,09)$ — опытная константа. При $< 0,2$ принимается нижний предел.

• диаметр свободной струи d_5 на расстоянии S :

$$\text{при } U < 0,5 \quad d_5 = 3,4 \cdot d_2 \cdot \sqrt{0,083 + 0,76U}, \quad (19)$$

$$\text{при } U > 0,5 \quad d_5 = 1,55 d_2 (1 + U).$$

Если диаметр камеры смешения $d_3 > d_5$, то расстояние L_s принимается равным S , причем более близкая установка сопла не снижает эффективности аппарата.

При $d_3 < d_5$ расстояние $L_s = S + L^1$, где L^1 — длина входного участка камеры смешения, на котором диаметр меняется от значения d_5 до значения d_3 .

Рассматриваемая конструкция парового инжектора приведена на рис. 5.

Приведенный пример практического использования струйного теплового насоса (термокомпрессора) для решения задачи энергосбережения применительно к ректификационному разделению сред показал высокую эффективность, которая достигается за счет вовлечения в технологический процесс паров вторичного вскипания. Смешивание потоков острого пара и пара вторичного вскипания позволяет получить рабочий пар заданных параметров, необходимых для реализации процесса ректификации.

При этом исключаются выбросы пара в атмосферу за счет создания закрытой пароконденсатной системы.

Кроме того, образование паров вторичного вскипания приводит к охлаждению кубового остатка и, следовательно, снижает затраты на его охлаждение в процессе дальнейшей его переработки.

Заключение

В статье рассмотрена актуальность применения струйных аппаратов для решения задач энергосбережения. Представлены основные теоретические положения функционирования струйных аппаратов. Приведена классификация струйных аппаратов по различным критериям. Обозначены основные области применения струйных аппаратов. Приведен пример эффективного использования струйного теплового насоса в технологическом процессе ректификации. 

Литература

1. Соколов, Е. Я. Струйные аппараты / Е. Я. Соколов, Н. М. Зингер. - 3-е изд., перераб. - Москва : Энергоатомиздат, 1989. - 351 с. - Текст : непосредственный.
2. РД 34.30.302-87. Методические указания по наладке и эксплуатации пароструйных эжекторов конденсационных установок турбин ТЭС и АС. - ВТИ им. Ф. Э. Дзержинского, 1990. - Текст : непосредственный.
3. Кузнецов, В. И. Физико-математическая модель рабочего процесса струйного эжектора / В. И. Кузнецов, В. В. Макаров, А. Ю. Шандер. - Текст: непосредственный // Омский научный вестник. Серия Авиационно-ракетное и энергетическое машиностроение. - 2021. - Т. 5, № 3. - С. 75-82.
4. Краснов, Н. Ф. Аэродинамика отрывных течений : учебное пособие для вузов / Н. Ф. Краснов, В. Н. Кошевой, В. Т. Калугин ; под ред. Н. Ф. Краснова. — Москва : Высшая школа, 1988. - 352 с. - Текст : непосредственный.
5. Сазонов, Ю. А. Расчет и конструирование струйных аппаратов : учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности «Машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов», бакалавров и магистров, обучающихся по направлению 15.04.02 «Технологические машины и оборудование». - Москва: РГУ нефти и газа имени И. М. Губкина, 2016. - 64 с. - Текст : непосредственный.

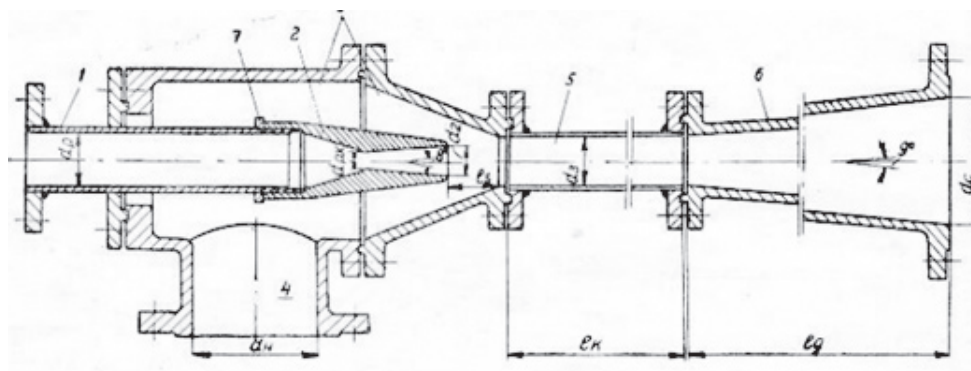
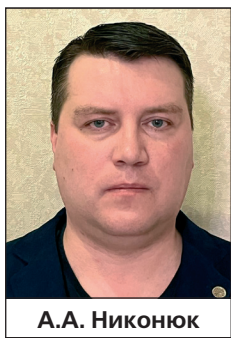


Рис. 5. Пароструйный инжектор системы ВТИ: 1- патрубок рабочего пара; 2 – рабочее сопло; 3 – приемная камера; 4 – штуцер для паров вскипания; 5 – камера смешения; 6 – диффузор; 7 – вспомогательное устройство

ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОЕЗДОПОТОКАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ «ВИРТУАЛЬНАЯ СЦЕПКА»



А.А. Никонюк



А.А. Шатохин

В статье рассмотрена автоматизация процесса контроля и анализа пропуска пакетов грузовых поездов в режиме «Виртуальная сцепка» с формированием автоматизированных выходных форм для трехуровневой системы оперативного контроля и анализа графика движения, автоматического определения причин разъединения виртуально сдвоенных поездов и ответственных подразделений ОАО «РЖД».

Ключевые слова: «Виртуальная сцепка», повышение пропускной способности, поездная работа, организация пропуска поездов

EDN: EXICCQ

В условиях дефицита пропускной способности железнодорожных направлений технология, направленная на сокращение межпоездных интервалов на перегонах, уменьшение станционных интервалов попутного отправления и попутного прибытия с использованием инновационных средств интервального регулирования движения поездов — одно из перспективных и относительно недорогих направлений повышения пропускной способности участков. Данная технология позволяет решить проблему возрастающего объема перевозок без затрат на модернизацию устройств железнодорожной автоматики и телемеха-

ники (ЖАТ) и строительства дополнительных главных путей [1].

За счет модернизации бортовых технических средств безопасности, автоведения и связи удалось создать универсальную технологию, позволяющую максимально сблизить поезда по интервалу, что делает возможным высвободить дополнительные нитки графика для назначения дополнительных поездов и тем самым повысить пропускную способность железнодорожной линии.

В настоящее время проведены опытные поездки и подтверждена возможность реализации автоматиче-

Никонюк Андрей Александрович, начальник центра исследований и подготовки комплексных научных проектов АО «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте» (АО «НИИАС»). Область научных интересов: организация движения поездов в условиях проведения ремонтно-путевой компании, интервальное регулирование движением поездов, организация движения поездов по технологии «Виртуальная сцепка», вопросы перспективного увеличения пропускной способности железнодорожных участков, управление перевозочным процессом. Автор одной научной работы.

Шатохин Андрей Андреевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Управление транспортными процессами» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: логистика, управление перевозочным процессом железнодорожного транспорта. Автор 55 научных работ.

Биленко Геннадий Михайлович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Управление транспортными процессами» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: вопросы выбора способов усиления пропускной способности железнодорожных станций и участков, совершенствования технологии работы железнодорожных станций. Автор 56 научных работ.

Филиппченко Никита Сергеевич, аспирант Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана (МГТУ им. Н.Э. Баумана). Область научных интересов: автоматическое управление локомотивами. Автор одной научной работы.

ского соединения поездов в пакет на перегоне с применением устройств КЛР.1 «контроллер логики радиоканальный» (позволяет распределять временные слоты для организации сети передачи данных между несколькими объектами) и отечественных радиомодемов передачи данных «М-Link». Подтверждена возможность взаимодействия между локомотивами при движении трех и более поездов.

Также подтверждена возможность движения поездов в режиме «АВТОВЕДЕНИЕ» при следовании по неправильному пути.

Процесс организации пропуска поездов в режиме «Виртуальная сцепка» (ВСЦ) технологически состоит из трех основных этапов (рис. 1):

1. Определение станции формирования пакета поездов для пропуска в режиме «Виртуальная сцепка».

2. Организация пропуска сформированного пакета поездов в режиме «Виртуальная сцепка» по запланированному маршруту следования, в том числе:

- организация пропуска по перегонам;
- стоянки на промежуточных станциях;
- стоянки на технических станциях.

3. Место расформирования пакета или отдельных поездов в пакете поездов в режиме «Виртуальная сцепка».

На этапе формирования пакета поездов для пропуска в режиме «Виртуальная сцепка» необходимо не только своевременно подобрать и отправить грузовые поезда в нужной последовательности, но и обеспечить наличие необходимого количества локомотивов, оборудованных исправной системой ИСАВП-РТ-М, модемами «М-Link».

В процессе пропуска пакета поездов в режиме «Виртуальная сцепка» необходимо обеспечить его целостность при пропуске по перегонам, стоянках на промежуточных станциях и станциях смены локомотивных бригад (рис. 2). При этом «гибкость» данной технологии позволяет поезвному диспетчеру варьировать количество поездов, очередность поездов в пакете в зависимости от эксплуатационной обстановки.

Очевидно, что организация пропуска грузовых поездов в режиме «Виртуальная сцепка» усложняет процесс управления поездопотоками и повышает его интенсивность, что неизбежно будет приводить к дополнительным технологическим нарушениям в эксплуатационной работе [2].

Проведен анализ зависимости доли грузовых поездов, пропущенных по технологии «Виртуальная сцепка» и технологических нарушений, приходящихся на один поезд за 2023 год. Трендовые линии

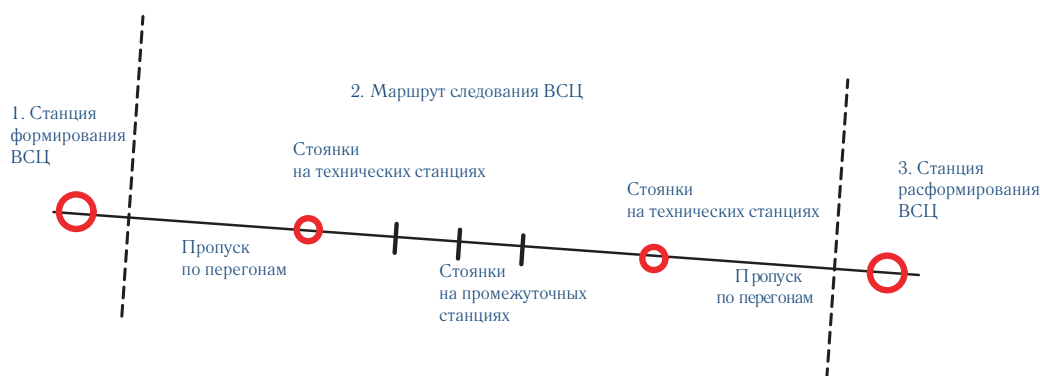


Рис. 1. Этапы организации пропуска поездов в режиме «Виртуальная сцепка»

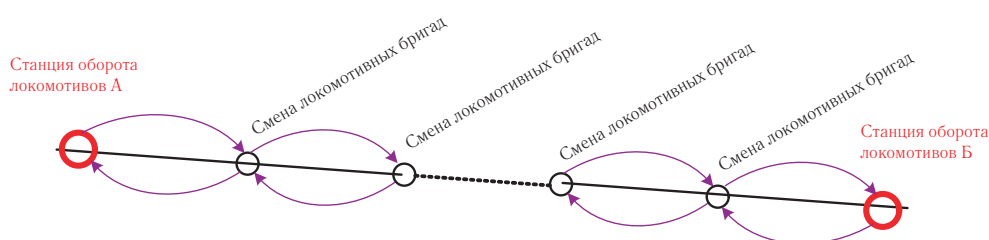


Рис. 2. Схема пропуска пакета поездов в режиме «Виртуальная сцепка» между станциями оборота локомотивов

показывают, что на большинстве дорог использование «Виртуальной сцепки» приводит к увеличению удельного количества технологических нарушений (рис. 3), что говорит об усложнении управляемости процесса организации движения поездов при увеличении интенсивности использования технологии «Виртуальная сцепка» [3].

По результатам анализа можно сделать вывод о необходимости повышения качества управления пропуском поездов в условиях интенсивного использования «Виртуальной сцепки», так как увеличение технологических нарушений будет снижать эффективность используемой технологии.

Важнейшими составляющими процесса управления пропуском поездов в режиме «Виртуальная сцепка» являются контроль и анализ.

В настоящее время существующие выходные формы статистической отчетности о грузовых поездах, следующих на инфраструктуре ОАО «РЖД» по технологии «Виртуальная сцепка», не обеспечивают контроль и анализ для всех необходимых этапов (см. рис. 1). Также отсутствует автоматизация процесса выявления причин внепланового прекращения движения поездов по технологии интервального регулирования «Виртуальная сцепка» с определением причин и ответственных служб, что снижает эффективность управления в целом.

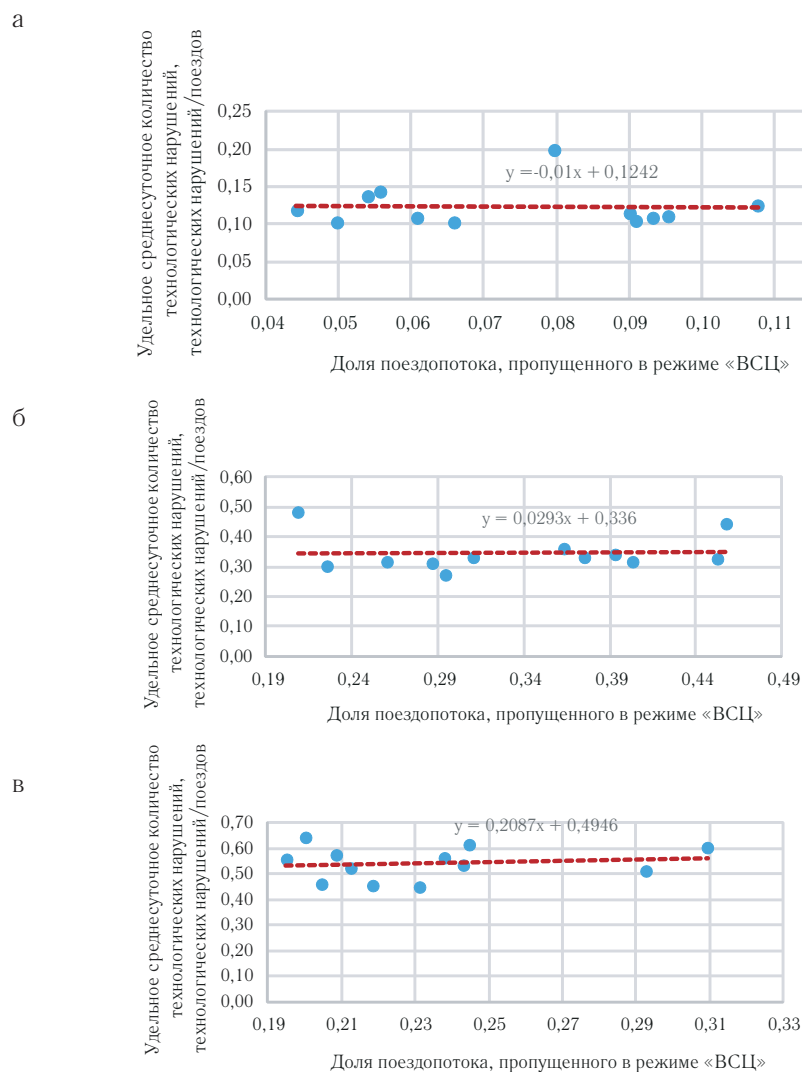


Рис. 3. Корреляция удельного количества технологических нарушений и доли поездопотока, пропущенного в режиме автоведения по технологии «Виртуальная сцепка»: а – Восточно-Сибирская железная дорога; б – Забайкальская железная дорога; в – Дальневосточная железная дорога

Для повышения результативности управления процессом пропуска поездов с использованием технологии «Виртуальная сцепка» АО «НИИАС» в 2023 году при взаимодействии с причастными железнодорожными департаментами (ЦТех, ЦЖД, ЦД, ЦТ) разработал методические указания по формированию автоматизированных выходных форм для трехуровневой системы оперативного контроля и анализа движения грузовых поездов в режиме «Виртуальная сцепка» на Восточном полигоне. В документе описывается не только порядок расчета показателей и формирования выходных форм для всех уровней управления перевозочным процессом, но и алгоритм выявления фактов внепланового отключения режима «Виртуальная сцепка» с автоматическим определением причин и ответственных служб, в том числе:

- увеличение межпоездного интервала;
- нарушение технологии пропуска;
- приказ (регулировка) ДНЦ;
- неисправность/отказ локомотива;
- неисправность/отказ инфраструктуры;
- неисправность/отказ ИСАВП-РТ-М;
- ограничение скорости на перегоне;
- разрыв связи;
- прочие.

Для реализации алгоритма необходимо использование исходных данных из различных систем, включая Единую модель данных перевозочного процесса (ЕМД ПП), систему взаимодействия с локомотивом посредством систем цифровой радиосвязи (СВЛ ТР), комплексную автоматизированную систему учета, расследования и анализа случаев технологических нарушений (КАСАТ) и комплексную автоматизированную систему учета, контроля устранения отказов технических средств и анализа их надежности (КАСАНТ).

Для дальнейшего повышения эффективности использования технологии «Виртуальная сцепка» необходима автоматизация процесса планирования, которая позволит повысить прозрачность и качество формируемых текущих планов поездной работы, а также предоставит возможность автоматически оценивать их выполнение. 

Литература

1. Снижение дефицита пропускных способностей железнодорожных направлений за счёт внедрения интервального регулирования движения поездов / П. В. Куренков, И. А. Солоп, Е. А. Чеботарева, Е. А. Герасимова, Н. В. Курганова .- Текст : непосредственный // Мир транспорта. - 2022. - Т. 20, №5 (102). - С. 46 - 53.
2. Сравнительная оценка параметров движения поездов для различных вариантов виртуальной сцепки / Е. Н. Розенберг, А. В. Озеров, В. И. Кузнецов, С. С. Тихонов .- Текст : непосредственный // Мир транспорта. - 2023. - Т.21., № 4 (107). - С. 30 - 39.
3. «Виртуальная сцепка» на Восточном полигоне: достигнутые эффекты и направления развития / А. И. Долгий, А. Г. Сахаров, М. А. Дежков, С. А. Макиевский, М. А. Чернин . - Текст : непосредственный // Транспорт Российской Федерации. - 2023. № 5 - 6 (108 - 109). - С. 15 - 19.

СПОСОБЫ ЗАЩИТЫ ОТ ШУМОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ И ТРАМВАЙНОМ ТРАНСПОРТЕ



Л.А. Илларионова



А.А. Локтев

В статье представлены основные источники и способы защиты от транспортного шума, используемые в железнодорожной инфраструктуре. Были проанализированы часто встречающиеся решения на железной дороге, такие как шумозащитные экраны и рельсовые демпферы.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, городской транспорт, механические характеристики, структурный шум

EDN: JPYTQY

В настоящее время мы практически перегружены звуками. В данном исследовании уделяется большое внимание шумовому воздействию, которое является серьезной проблемой для окружающей среды и влияет на здоровье людей.

Причинами шумового загрязнения в городе является транспортный шум, в частности шум от железнодорожного и городского рельсового транспорта. Такой шум может иметь различные источники, например автомобили, поезда и самолеты.

Шумовое воздействие принято классифицировать в зависимости от их источника (промышленный шум, транспортный шум, городской шум, домашний

или рабочий шум). Наибольший вклад в общий уровень шумового загрязнения вносит транспортный шум [1].

Для борьбы с шумом требуется применение различных методов и подходов, включая звукопоглощающие материалы, зонирование и градостроительные меры. Эффективное управление шумом может привести к улучшению качества жизни людей и снижению риска возникновения проблем со здоровьем.

Данный научно-исследовательский материал представляет собой подробный анализ типов шумового воздействия и методов, которые могут быть использованы для его предотвращения и снижения. Это

Илларионова Лилия Алексеевна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Здания и сооружения на транспорте» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: проектирование объектов транспортной инфраструктуры. Автор 30 научных работ.

Локтев Алексей Алексеевич, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой «Транспортное строительство» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: механика деформированного тела, моделирование объектов транспортной инфраструктуры, железнодорожный путь, реконструкция объектов исторического и архитектурного наследия. Автор 192 научных работ, в том числе трех монографий.

Локтев Даниил Алексеевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Транспортное строительство» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)), профессор кафедры «Информационные системы и телекоммуникации» Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана (Национальный исследовательский университет). Область научных интересов: механика деформируемого твердого тела, математическое моделирование, обработка изображений, интеллектуальные системы мониторинга, диагностики и измерений. Автор 162 научных работ, в том числе трех монографий и шести учебных пособий.

позволяет лучше понять проблему шумового загрязнения и разработать эффективные стратегии для борьбы с ним.

Что касается рельсового транспорта, то следует понимать, что его причины различны. Их можно разделить на: шум качения являющейся наиболее распространенным видом шумового воздействия. Он оказывает наибольшее влияние на общий уровень шума рельсов. Несмотря на небольшую площадь контакта колеса с рельсом (не более 1,5, см. [2]), этот шум является основной причиной железнодорожного шума. Шум качения в основном зависит от гофрировки рельса (неравномерности) внутри и также расположения дефектов на поверхности катания [2].

В скоростных поездах, основным источником шума является аэродинамический шум, который возникает вследствие аэродинамического сопротивления при передвижении поезда со скоростью выше 160–250 км/ч. Этот вид шума отличается от других видов железнодорожного шума тем, что он не связан с вибрациями твердых тел, а с движением элементов воздуха. Аэродинамическое сопротивление наиболее существенно зависит от скорости движения поезда, а также от основных физических факторов, таких как форма и высота вагонов. Однако, помимо аэродинамического шума, также существует традиционный шум, связанный с работой электрического двигателя или двигателя внутреннего сгорания [5].

Шум в традиционном представлении появляется из-за взаимодействия движущихся с различными скоростями элементов транспортного средства, а также шум вызывает изменения свойств в рабочей среды, например, температура, давление, объем и т.д.

Переход от шума тяги к шуму качения и от шума качения к аэродинамическому шуму в зависимости от скорости поезда показан на рис. 1.

В любом случае подавление шума связано с изменением энергии в единицу времени и наиболее явно проявляется в динамических процессах, например при разгоне, торможении изменении траектории и т.д. Например, участок со стрелочным переводом или кривая малого радиуса всегда вызывает больше шума, чем прямой участок пути [6].

Способы защиты от шумового загрязнения на железной дороге

В настоящее время, в связи с повышением осведомленности людей о вредном воздействии шума на здоровье, появляется все больше решений, снижающих уровень шума. Как эффективность, так и способ их применения различны и дают разные эффекты.

Одним из первых способов борьбы с шумом является модернизация подвижного состава. Он может

уменьшить шум до 8 дБ. Этого можно достичь в основном за счет замены стальных тормозных колодок композитными и установки колесных рессор или шумозащитных экранов тяговых устройств.

Вторая группа решений по шумоподавлению непосредственно связана с железнодорожным путем. В первую очередь — это поддержание железнодорожной инфраструктуры в хорошем состоянии, чего может быть обеспечено в основном за счет шлифования поверхности катания рельсов и применения рельсовых амортизаторных систем (для обеспечения лучшей упругости). Также важно заменить старые железнодорожные переезды на новые и отказаться от классического пути в пользу бесстыкового рельса [7]. Как модернизация, так и реконструкция имеют заметный эффект с точки зрения поглощения и подавления акустических помех, что также положительно сказывается на снижении уровня шума [8–10]. Простое шлифование рельсов способно снижать шум на 3 дБ.

Лubrикация соприкасающихся поверхностей наиболее часто используется на подъемах железнодорожного пути, в кривых малого радиуса, на участках переменной жесткости на искусственных сооружениях т.е. в местах изменения геометрических и механических свойств.

Что касается виброакустических изоляторов, то нужно знать, что существует широкий выбор различной продукции. Все они связаны одним принципом — подавляют вибрации. Выбор типа виброакустического изолятора зависит от используемого покрытия железной дороги и типа вибрации.

Рельсовые демпферы представляют собой элементы, входящие в состав поверхности железной

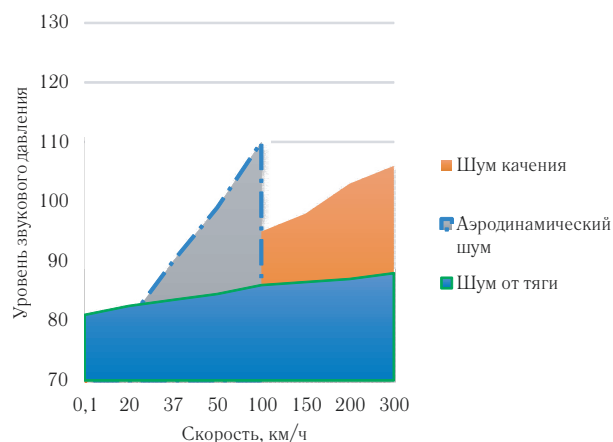


Рис. 1. Зависимость уровня звукового давления в различных диапазонах скоростей для подвижного состава

дороги. Их устанавливают на верхний слой шпал или на бетонные плиты. Сборка этих элементов происходит между рядами рельса, а также сбоку от направляющих рельса. Работа этих устройств основана на двух механизмах: поглощении и рассеянии звуковых волн.

Еще одним способом на пути распространения шума могут служить защитные экраны (рис. 2). Шумозащитные барьеры, являются также эффективным способом снижения уровня шума. Применяются монолитные и сборные конструкции, имеющие различные характеристики. Наиболее распространенные сборные конструктивные решения, в виде сочетания ряда горизонтальных панелей и вертикальных стоек [10;11].

Самым большим преимуществом такого метода является низкая занимаемая площадь. Этот метод позволяет уменьшить шум до 8–15 дБ (зависит от многих факторов, таких как: высота барьера, рельеф местности и т.д.). Эффективность во многом зависит от правильного проектирования и реализации.

К одному из защитных экранов можно отнести метод основанный на посадке растительности. Это, безусловно, самый визуально привлекательный метод, но его эффективность не очень высока. Данное решение способно уменьшить акустические помехи всего на 0,01–0,5 дБ в зависимости от типа используемой растительности (применимо к зеленой полосе шириной 1 м). Наиболее эффектны живые изгороди из хвойных.

Городской рельсовый транспорт также требует снижения шума, и как в первом случае, возможно использование шумозащитных экранов или рельсовые демпферов.

В трамвайной инфраструктуре чаще используются.

1. Трибологические смазки для колесных пар.

2. Лубрикация оголовков рельсов и колесных гребней.

3. Конструкция трамвайного пути построена по безбалластной схеме с использованием демпфирующих прокладок (рис. 3).

Для моделирования картины распространения акустических волн необходимо определить параметры источников шума и характеристик среды распространения звука как геометрическими, так и механическими факторами [11].

Концептуально приложение динамической нагрузки от подвижной нагрузки прикладывается в одной точке контакта колеса и рельса. Её можно представить в виде следующих графических зависимостей, которые содержат информацию о затухании деформирования с течением времени от областей нагружения и разгрузки, о первом и последующих нагружениях конструктивного основания и т.д. (рис.4).

В качестве источника шума чаще всего выступают подвижные элементы транспортного средства; механические параметры среды влияют на распространения волн через ее скорость с геометрическими параметрами; влияют на отражение, преломление, пропускание фронта волны и в целом позволяют прогнозировать области усиления и ослабления шума в той или иной точке вблизи магистрали.

В этом моделировании интенсивность источника звука и его распространение разделяются для анализа с использованием метода конечных элементов (МКЭ) [12]:



Рис. 2. Шумозащитные экраны



Рис. 3. Вариант безбалластной конструкции для трамвайного пути с использованием демпфируемых прокладок между железобетонными сегментами, рельсовыми плетями и подрельсовым основанием



Рис. 4. Примерная зависимость изменения силы воздействия на путь от времени

$$\frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} - \nabla^2 p = 0, \quad (1)$$

где c — скорость фронта упругой волны в среде; p — интенсивность шума. Если предположить, что закон изменения интенсивности шума имеет гармонический характер, то справедливо следующее соотношение:

$$p = \bar{p} e^{j\omega t}, \quad (2)$$

где $\bar{p}$ — обозначает интенсивность шума и обозначает угловую частоту. Уравнение можно представить относительно частоты гармонического закона

$$\frac{\omega^2}{c^2} \bar{p} + \nabla^2 \bar{p} = 0. \quad (3)$$

Зная скорость вибрации конструкции, можно получить интенсивность шума с помощью математического преобразования. Для цилиндрических акустических

волн удельное затухание шумового импульса зависит от среды, от свойств линейной вязкости интенсивности шума

$$p = Zu = p_{cu}. \quad (4)$$

Представленный подход для решения задач описания структурного акустического и вибрационного шума позволяет понять не только природу поведения шумовых воздействий с момента появления, но и учитывать их влияние на сооружения, окружающую среду и человека. В рамках реализации данной модели можно задавать начальные условия при проектировании объектов транспортной инфраструктуры, учитывать влияние геометрических и механических характеристик, инженерных решений как на фоновый шум, так и на отдельные импульсные воздействия, формирующих экстремальные величины негативного влияния. 

Литература

1. Haladin I., Lakusic S., Bogut M. Analysis of tram traffic vibrations in respect to tram track structure and exploitation period // Proceedings of the 20th International Congress on Sound and Vibration (ICSV '13). - International Institute of Acoustics and Vibration, Bangkok, Thailand, 2013. - P. 3242-3249.
2. Локтев, А. А. Моделирование воздействия городского рельсового транспорта на окружающую застройку / А. А. Локтев, Д. А. Локтев, Л. А. Илларионова. - Текст : непосредственный // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. - 2023. - № 1. - С. 52 - 60. DOI:10.15593/24111678/2023.01.07.
3. Тимошенко, С. П. Прочность и колебания элементов конструкций : избранные работы / С. П. Тимошенко ; под ред. Э. И. Григолюка. - Москва : Наука, 1975. - 704 с. - Текст : непосредственный.

4. ВСН 211 - 91. Ведомственные строительные нормы. Прогнозирование уровней вибраций грунта от движения метропоездов и расчет виброзащитных строительных устройств : внесены Всесоюзным научно-исследовательским институтом транспортного строительства (ЦНИИС) : согласованы Госстроем СССР 31 октября 1991 г. № АЧ-786-8 : утверждены Главным научно-техническим управлением Министерства транспортного строительства СССР от 13 ноября 1991 г. № МО-189 : введены в действие 1 января 1992 г. - 38 с. - Текст : непосредственный.
5. Степанов, К. Д. Моделирование вибрационного воздействия от поездов метрополитена на проектируемое здание и подбор параметров системы виброакустической защиты / К. Д. Степанов, А. А. Локтев, В. А. Ермоленко. - Текст : непосредственный // Внедрение современных конструкций и передовых технологий в путевое хозяйство. - 2018. - Т. 12. - № 12(12). - С. 19-25. - EDN: UUCOMQ.
6. Loktev A. A. [et al.]. Modeling the dynamic behavior of the upper structure of the railway track // Procedia Engineering. - 2017. - Т. 189. - pp. 133-137.
7. Особенности динамического поведения пролетного строения низководных мостов / А. А. Локтев, Д. А. Локтев, Л. А. Илларионова, А. Баракат. - Текст : непосредственный // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. - 2022. - № 2. - С. 72 - 81. - DOI: 10.15593/24111678/2022.02.09. - EDN: NVKWFS.
8. Kou J. W., DeWolf J. T. Vibrational behavior of continuous span highway bridge - Influencing variables // Journal of Structural Engineering- ASCE. - 1997. - Vol. 123(3). - pp. 333-344. - DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9445(1997)123:3(333).
9. Илларионова, Л. А. Возможности учета техносферных воздействий вблизи транспортных магистралей / Л. А. Илларионова, А. А. Локтев. - Текст : непосредственный // Внедрение современных конструкций и передовых технологий в путевое хозяйство. - 2023. - Т. 19. - С. 17-24. - EDN: KCXUCT.
10. Шубин, И. Л. Интеграция шумозащитных барьеров в окружающую среду / И. Л. Шубин, Н. Е. Щурова. - Текст : непосредственный // Вестник МГСУ. - 2010. - № 1. - С. 255-261. - EDN: MUXPSB.
11. Кукуджанов, В. Н. Распространение волн в упруговязкопластических материалах с диаграммой общего вида. / В. Н. Кукуджанов // Известия Российской академии наук. Механика твердого тела. - 2001. - №5. - С. 96-111.
12. S.-Y. Hsia, S.-M. Chiu, and J.-W. Cheng, «Sound field analysis and simulation for fluid machines» Advances in Engineering Software.-2009 .- Vol. 40, №1.- pp. 15 - 22. View at: Publisher Site. Google Scholar. Zentralblatt MATH.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОСТРОЕНИЯ ПЕРЕВОДНЫХ, ЗАМЫКАЮЩИХ И КОНТРОЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ СТРЕЛОЧНЫХ ПЕРЕВОДОВ С НЕПРЕРЫВНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ КАТАНИЯ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ ДО 400 КМ/Ч

Согласно стратегии развития железнодорожного транспорта России, к 2030 г. общая протяженность линий со скоростями более 160 км/ч, составит почти 11 тыс. км. Организация движения поездов до 400 км/ч требует новые нетрадиционные технические и теоретические основы базовых решений при построении, обеспечении комфортного и безопасного движения поездов устройствами инфраструктуры.

Ключевые слова: колесо, рамный рельс, подвижной состав, нагрузка на ось, математическая модель, сила бокового воздействия

EDN: KAFNSX



П.С. Сиделев



Е.Ю. Минаков

Реализация проектов скоростей движения подвижного состава на железнодорожных линиях 400 км/ч исключает применение стандартных, используемых ранее типовых решений при проектировании устройств и механизмов, задействованных в обеспечении безопасного прохода подвижного состава по стрелке. Поэтому необходимо применение абсолютно новых подходов при проектировании, производстве и эксплуатации переводных, замыкающих механизмов и контрольных устройств для таких стрелочных переводов.

Актуальность реализации заявленных требований объясняется следующим ситуационным моментом — при высоких скоростях движения поездов по ответвленному пути стрелочного перевода, экипажи подвижного состава проходят всю длину пути стрелочного

перевода в течение нескольких секунд. В результате, возникающие инерционные силы от движения экипажей подвижного состава оказывают значительные воздействия на сам путь, элементы стрелочного перевода, гарнитуру и комплекс механизмов и устройств, задействованных в обеспечении безопасного функционирования стрелки, включая все режимы ее работы. Как следствие, действие инерционных сил вызывает ответную реакцию со стороны как самого стрелочного перевода, так и его устройств и механизмов, задействованных в его работе. Силы реакции в значительной степени определяются скоростью и периодичностью изменения инерционных сил от движущегося подвижного состава, которые с математической точки зрения можно охарактеризовать величинами производных более высокого порядка чем второй, так как

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

Минаков Евгений Юрьевич, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник кафедры «Системы управления транспортной инфраструктуры» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: исследования структуры и архитектуры построения конструктивных решений и систем управления и контроля устройства железнодорожной автоматики и телемеханики, а также процесс их совершенствования с учетом современных функциональных требований и условий эксплуатации в рамках эксплуатации на Российских железных дорогах, включая организацию скоростного и высокоскоростного движения поездов. Автор 48 научных работ.

они оцениваются величинами, характеризующими воздействие скорости, ускорения и даже учитывают скоростью изменения ускорений, со стороны колесных пар экипажей подвижного состава.

По результатам ранее проведенных исследований [1–3], можно утверждать, что при движении колесной пары тележки подвижного состава с профилем, выполненным в соответствии с ГОСТ 9036 по поверхности катания рельса Р65, изготовленного в соответствии с ГОСТ Р 51685, в виду конструктивных особенностей их рабочих поверхностей, непрерывный контакт колеса с головкой рельса обеспечивается в зоне, соответствующей практически всей поверхности головки рамного рельса, захватывая переход на 2/3 от высоты боковой поверхности головки рельса с внутренней стороны колеи, а у колеса — практически от начала фаски его конусной части до 1/4 от вершины гребня.

На рис. 1 приведена математическая модель движения железнодорожного экипажа, представленного в виде точки m , по кривой стрелочного перевода, что соответствует модели движения подвижного состава по стрелке на боковое отклонение [4].

Анализируя динамику движения экипажа m , приведенную на рис. 1 нужно отметить, что изменение воздействия усилий характеризуется тремя векторами:

- $\vec{\tau}$ — вектор приложения усилий вдоль оси пути, направленный на изменение скорости движения экипажа подвижного состава;

- $\vec{b}$ — вектор приложения усилий подвижного состава на путь, направленный на вертикальное воздействие точечного экипажа m ;

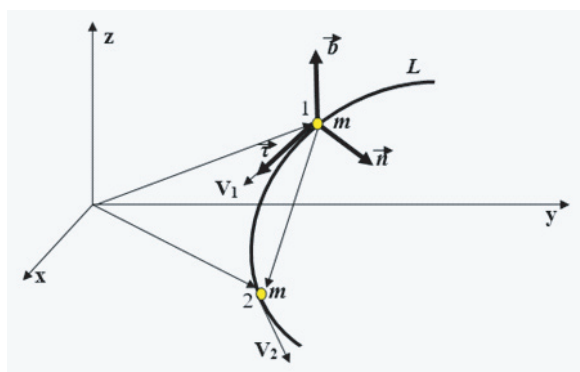


Рис. 1. Математическая модель движения экипажа m в кривой: X, Y, Z — система координат; $\vec{n}$ — главная нормаль; $\vec{b}$ — биномаль; $\vec{\tau}$ — касательная к кривой L ; V_1 и V_2 — векторы скорости перемещения точечного экипажа из точки 1 в точку 2

- $\vec{n}$ — вектор приложения усилий, направленный в сторону поперечного воздействия оси пути.

Именно воздействие силового фактора в направлении главной нормали $\vec{n}$, соответствует боковой силе и представляет особый интерес, так как именно эта сила приводит к изменению условий перекатывания колеса по рамному рельсу стрелочного перевода.

Мгновенное воздействие колеса на рамный рельс при движении поезда по стрелочному переводу в произвольной точке с некоторой периодичностью, целесообразно рассматривать как некую физическую колебательную систему «колесо-рельс» (рис. 2).

Нормальный наклон боковой грани рельса к наклонной поверхности гребня колеса соответствует линии $A-A$ и составляет угол $\alpha=60^\circ$ [7]. Воздействие сил при наличии вертикальной нагрузки на рельс от колеса происходит перпендикулярно поверхности контакта (нормаль N) и ее действие можно условно разложить на вертикальную $G/2$ и горизонтальную (боковую) Q составляющие. Действие последней проецируется на наклон рамного рельса, что на практике (в эксплуатации) способствует «распираанию» железнодорожной колеи. В числовом выражении получается, что при нагрузке со стороны оси колесной пары пассажирского вагона равной $G=180$ кН, величина бокового усилия со стороны гребня колеса на головку рельса в статике составляет $Q \approx 160$ кН.

Также нужно учитывать тот факт, что воздействие колеса на рельс носит волновой характер. Это объясняется линейным перемещением каждого колеса, каждой колесной пары, каждого экипажа в составе поезда движущегося по стрелке и определяется как

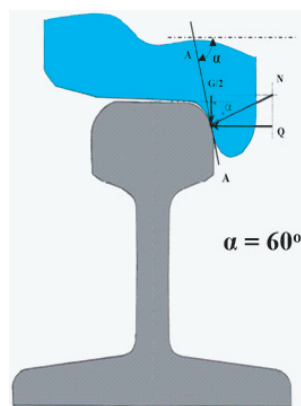


Рис. 2. Модель распределения сил в зоне контакта поверхности катания колеса с головкой рамного рельса

некая суммарная величина, формируемая усилиями от воздействия различных видов колебаний Q_i , происходящих в данный момент времени в рассматриваемой кинематической колебательной системе «колесо-рельс», которую можно представить следующим выражением:

$$Q_j = Q_0 \mp \int_{t=1}^6 \cos(\omega_i) \cdot t + C, \quad (1)$$

где Q_0 — боковое усилие со стороны колеса подвижного состава на рельс в статическом режиме;

Q_i — амплитудное значение бокового усилия со стороны колеса подвижного состава на рельс, как составляющая колебательного процесса движения экипажа подвижного состава по стрелочному переводу;

i — значение усилия дополнительного воздействия, характеризующегося одним из шести основных видов колебательных процессов, происходящих с колесной парой при движении экипажа по рельсам, а именно «подпрыгивание», «галомирование», «виляние», «покачивание», «занос», «подергивание»;

C — значение дополнительных усилий, учитывающих воздействие ветра, величину наклона пути в плане и т.п. на подвижной состав.

Анализ механизма контакта колеса с рельсом с энергетической точки зрения показывает, что в момент, когда составляющая колебательного процесса $\cos(\omega t) \cdot t$ приближается к значению равному 1, то величина бокового воздействия усилия на рамный рельс со стороны гребня колеса соответствует случаю максимального установившегося его значения.

Необходимо также учитывать, что при достижении максимального значения бокового усилия (давления со стороны колеса), должно гарантированно обеспечиваться устойчивое положение самой колесной пары подвижного состава в железнодорожной колее, включая движение экипажей подвижного состава по стрелочному переводу с максимально допустимой нагрузкой на ось 180 кН и учитывая влияние дополнительных воздействий от колебательных процессов самого подвижного состава. В результате воздействие суммарного амплитудного значения бокового усилия возрастает и может достигать значения $\Sigma Q_j = Q_{j\max} \approx 300$ кН. Кинетическая энергия движущегося колеса при этом переходит в потенциальную энергию рельса, что приводит к его упругой деформации, характеризующейся его смещением на некоторую величину « y » (рис. 3).

Теперь рассмотрим стрелочный перевод как рельсовую колею (нить) с позиции ее представления в виде упругой динамической системы «колесо-рельс» [5], в которой рамный рельс (его сечение) представляет собой упругую балку с защемленным концом, коим

является подошва рельса. Соответственно, балка обладает определенной степенью жесткости. Тогда, кинетическая энергия, «передаваемая» движущимся подвижным составом стрелочному переводу (рельсу), на физическом уровне преобразуется в удар со стороны колеса в рельс, что автоматически инициирует последующий процесс колебания рельса, который затухает по прошествии некоторого времени.

На рис. 3 рассмотрена модель поведения рельса при воздействии на него бокового давления со стороны колеса при движении подвижного состава по стрелке [8].

Первая часть (см. рис. 3) соответствует первоначальному положению рельса — когда на рамном рельсе отсутствует колесная пара подвижного состава.

Вторая часть (см. рис. 3), рассматривает процесс смещения рельса, когда на него осуществляется боковое воздействие со стороны колеса, в результате

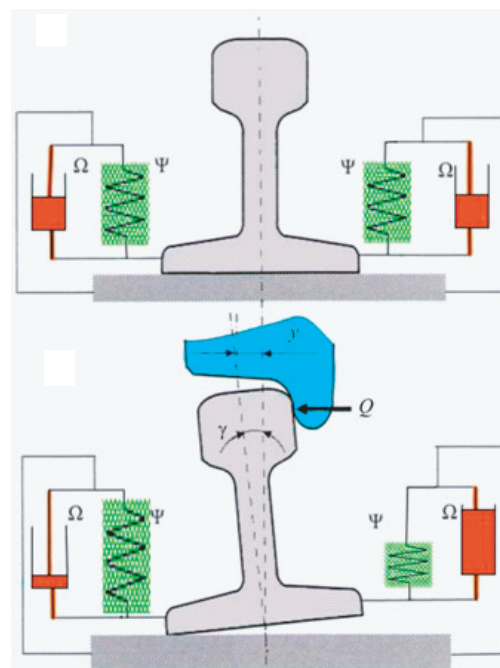


Рис. 3. Модель поведения рамного рельса при воздействии на него бокового давления со стороны колеса при движении поезда: Q — сила бокового воздействия колеса на рельс; Ω — эквивалентный возвратный демпфер, характеризующий колебательный процесс; Ψ — эквивалентная пружина, характеризующая колебательный процесс; γ — угол отклонения рельса от первоначального положения; y — горизонтальное смещение (отклонение) рельса от своего первоначального положения при боковом давлении колеса подвижного состава

которого и происходит его смещение относительно вертикальной оси, после чего он возвращается в исходное положение. Другими словами, отклонение рельса от своего первоначального положения представляет собой колебательный процесс, который повторяется с периодичностью, соответствующей проходу каждого колеса, каждой колесной пары экипажа поезда, в каждой произвольно выбранной точке стрелочного перевода.

Рассматривая процесс колебаний в системе «колесо-рельс» необходимо учитывать следующие два уточнения:

- 1-е — балка (рельс в поперечном сечении) имеет плоскость симметрии;
- 2-е — вынужденные колебания балки (рельса) происходят в этой плоскости.

Тогда, с учетом вышеизложенных замечаний, дифференциальное уравнение кривой изгиба можно представить в виде следующего уравнения:

$$EJ_{pp} \cdot \frac{d^2 y}{dx^2} = -M, \quad (2)$$

где EJ_{pp} — боковая жесткость рельсовой колеи (нити), является величиной постоянной;

M — изгибающий момент, определяемый в произвольном поперечном сечении рамного рельса.

Учитывая тот факт, что в нашем случае рамный рельс рассматривается как балка с защемленным концом, определим силу инерции колеблющейся балки исходя из принципа Д'Аламбера, с учетом интенсивности колебаний:

$$q_{in} = -\frac{m_0}{l_{pp}} \cdot \frac{\partial^2 y}{\partial t^2}, \quad (3)$$

где m_0 — масса балки;

l_{pp} — длина балки, соответствующая высоте рельса.

Продифференцировав дважды уравнение (2) и с учетом выражения (3), получаем следующее соотношение:

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + a^2 \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} = 0, \quad (4)$$

где

$$a^2 = \frac{EJ_{pp} \cdot l_{pp}}{m_0}. \quad (5)$$

Обобщенное выражение для определения свободных поперечных колебаний можно получить путем математического наложения всех возможных нормальных колебаний:

$$y = \sum_{i=1}^{\infty} X_i (A_i \cos p_i t + B_i \sin p_i t), \quad (6)$$

где A_i, B_i — постоянные интегрирования;

X_i — набор нормальных функций;

p_i — собственные частоты колебаний балки.

По определению, каждая нормальная функция, не зависящая от времени, имеет вид:

$$X_i = C_{1i} \sin k_i x + C_{2i} \cos k_i x + C_{3i} \operatorname{sh} k_i x + C_{4i} \operatorname{ch} k_i x, \quad (7)$$

где $k_i = \sqrt{\frac{p_i}{a}}$ — круговая частота.

Постоянные интегрирования $C_{1i}, C_{2i}, C_{3i}, C_{4i}$ определяются из следующих краевых условий для принятой математической модели балки с защемленным концом:

- на защемленном конце балки отсутствуют прогиб и угол наклона, тогда:

$$X_i|_{x=0} = 0; \quad \left. \frac{dX_i}{dx} \right|_{x=0} = 0; \quad (8)$$

- на свободном конце балки отсутствуют изгибающий момент и поперечная сила, тогда:

$$\left. \frac{d^2 X_i}{dx^2} \right|_{x=l_{pp}} = 0; \quad \left. \frac{d^3 X_i}{dx^3} \right|_{x=l_{pp}} = 0. \quad (9)$$

После проведения математических преобразований и учитывая, что постоянная интегрирования C_{1i} равна 1, выражение (7) приобретает следующий вид:

$$\begin{aligned} X_i &= \sin k_i x - \operatorname{sh} k_i x - \frac{\sin k_i l_{pp} + \operatorname{sh} k_i l_{pp}}{\cos k_i l_{pp} + \operatorname{ch} k_i l_{pp}} \times \\ &\quad \times (\cos k_i x - \operatorname{ch} k_i x) = \\ &= \sin k_i x - \operatorname{sh} k_i x - G_i (\cos k_i x - \operatorname{ch} k_i x). \end{aligned} \quad (10)$$

Считаем, что балка изгибается лишь под действием боковой силы, которая приложена только к свободному концу балки и воздействует на нее с постоянной скоростью V . Тогда положение точек центров масс всей балки в начале процесса свободных колебаний после снятия приложенной боковой силы Q_0 можно определить следующим уравнением:

$$y_0 = \frac{Q_0 \cdot x^2}{2EJ} \left(\frac{l_{pp}}{2} - \frac{x}{3} \right). \quad (11)$$

Сила бокового воздействия Q_0 со стороны колеса подвижного состава на рельс в статическом режиме и вызывающая вертикальный прогиб балки (рельса), может быть определена исходя из известной величины смещения конца балки Δy :

$$\Delta y = \frac{Q_0 \cdot l_{pp}^2}{2EJ_{pp}} \left(\frac{l_{pp}}{2} - \frac{l_{pp}}{3} \right), \quad (12)$$

где

$$Q_0 = \frac{12EJ_{pp} \cdot \Delta y}{l_{pp}^3}. \quad (13)$$

Тогда уравнение (12) принимает следующий вид:

$$y_0 = \frac{\Delta y \cdot x^2 \cdot (3l_{pp} - 2x)}{l_{pp}^3}. \quad (14)$$

Учитывая допущение, что скорость перемещения конца балки V величина постоянная, считаем, что начальная скорость точек центров масс всей балки может быть определена аналогично выражению (14):

$$V_0 = \frac{V \cdot x^2 \cdot (3l_{pp} - 2x)}{l_{pp}^3}. \quad (15)$$

Учитывая полученные выражения и продифференцировав уравнение (6) по времени, получаем выражение скорости распространения колебаний в рассматриваемой системе «колесо-рельс»:

$$\dot{y} = \frac{dy}{dt} = \sum_{i=1}^{\infty} X_i (-A_i p_i \sin p_i t + B_i p_i \cos p_i t). \quad (16)$$

Продифференцировав по времени выражение (16) повторно, получаем уравнение, характеризующее ускорение (удар), с которым колесо подвижного состава взаимодействует с рамным рельсом при движении экипажа по стрелочному переводу:

$$\ddot{y} = \frac{d^2 y}{dt^2} = \sum_{i=1}^{\infty} X_i (-A_i p_i^2 \cos p_i t - B_i p_i^2 \sin p_i t). \quad (17)$$

Изложенная методика позволяет определить максимальную величину смещения головки рамного

рельса стрелочного перевода с непрерывной поверхностью катания, при воздействии на него бокового давления со стороны колеса при моделировании различных рабочих ситуационных схем взаимодействия элементов стрелки и подвижного состава. Так, рассматривая конкретный эксплуатационный случай, когда экипаж высокоскоростного подвижного состава движется по стрелочному переводу с непрерывной поверхностью катания в противошерстном направлении (от острья к корню острья), складывается ситуация, когда фактическое смещение рамного рельса с прижатым к нему острием для стрелочного перевода, уложенного на железобетонных брусках составляет величину достигающую максимального значения 2,5 мм, а при уложенном на железобетонных плитах — 1,6 мм. В результате возрастает вероятность возникновения нештатной ситуации на стрелочном переводе и опасности для движения колесной пары экипажа скоростного подвижного состава.

На рис. 4 приведен сравнительный анализ профилей верхнего строения пути для скоростей движения до 250 км/ч (типовой) и до 400 км/ч (новый), а на рис. 5 — расчетные математические модели динамической системы верхнего строения пути для указанных скоростей движения.

Позиции и параметры, указанные на рис. 4,5:

- 1 — колесная пара подвижного состава с массой m_0 ;
- 2 — рельс колеи пути с распределенной массой m_1 ;
- 3 — шпальный брус с распределенной массой m_2 ;
- 4 — щебеночный балласт с распределенной массой m_3 ;
- 5 — песчаная подушка с распределенной массой m_4 ;
- 6 — земляное полотно с приведенной массой $m_5 = \infty$;
- 7 — специальные бетонные плиты (монтажные) с распределенной массой $m_7 \approx (15 \div 20)m_2$;
- 8 — бетонное основание с распределенной массой $m_8 \approx \infty$;

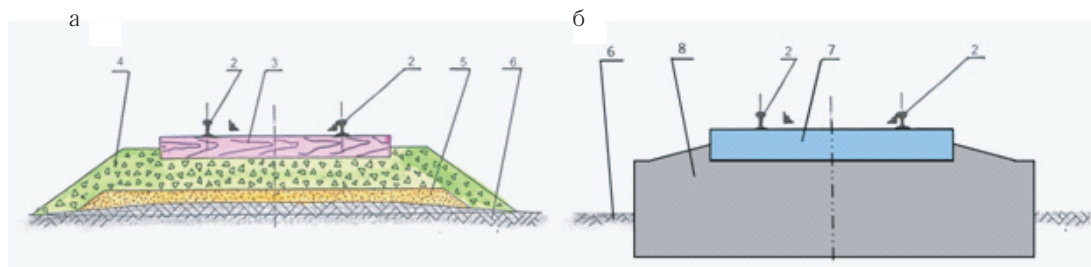


Рис. 4. Профиль верхнего строения пути: а – типовый профиль для скоростей до 250 км/ч;
б – профиль для скоростей до 400 км/ч

$c_{1...7}$ — линеаризованная контактная жесткость механической связи двух условных элементов расчетной модели;

$f_{1...7}$ — коэффициент сил трения в условных связях элементов расчетной модели.

Параметры (контактная жесткость c_0 , коэффициент трения f_0) относятся к условной связи: «колесо-рельс».

В таблице приведены исходные данные, использованные при проведении расчетов и сами результаты расчета значений смещения рамного рельса « y » при боковом воздействии (давлении) колеса на рельс и прижатый к нему остяк [6].

Как было отмечено выше, движение каждой колесной пары, каждой тележки подвижного состава по стрелочному переводу, формируют повторяющиеся колебания (отклонения) рамных рельсов относительно железобетонных брусьев (плит), за счет воздействия на них динамических сил со стороны колесных пар и специфики конструкции скрепления рамного рельса с основанием (скрепления обладают упругостью). Следует отметить, что при укладке стрелочного перевода на железобетонные плиты жесткость крепления рамных рельсов к плите обеспечивается только жесткостью конструкции самих рельсовых креплений.

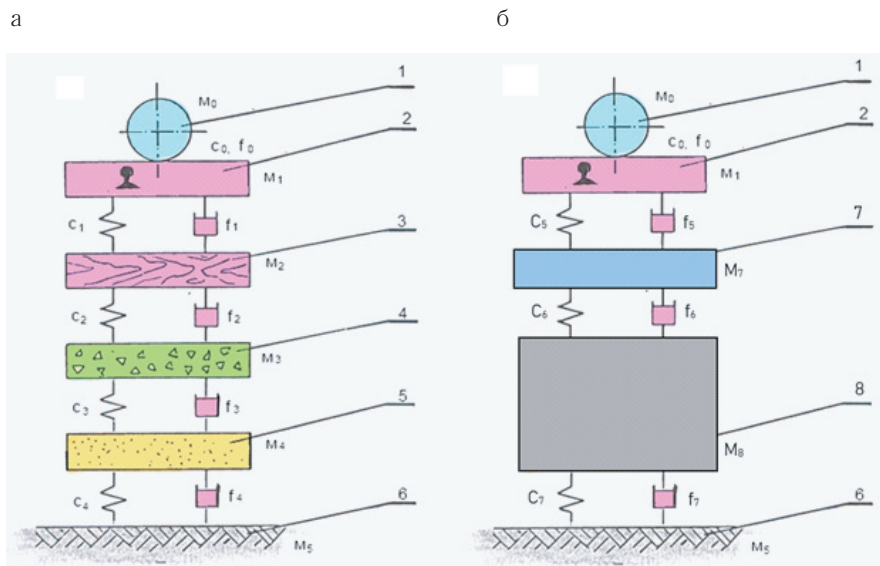


Рис. 5. Расчетная математическая модель динамической системы верхнего строения пути:
а – типовой профиль для скоростей до 250 км/ч; б – профиль для скоростей до 400 км/ч

Таблица

**Величина смещения рамного рельса от вертикальной оси
при воздействии бокового давления колеса экипажа подвижного состава**

Тип рельса	Тип основания стрелочного перевода	Эквивалентная боковая жесткость скрепления рамного рельса, δ_{pp} , кН/мм	Величина усилия бокового давления колеса, кН		Величина смещения			
			статический режим	максимальное усилие	угол отклонения рельса, рад		линейное смещение, y , мм	
					стат.	макс.	стат.	макс.
P65	ж/б. брусья	115,0	160,0	300,0	0,43	0,72	1,38	2,39
P65	ж/б. плиты	150,0	160,0	300,0	0,27	0,44	0,87	1,59

Поэтому, чтобы исключить образование зазора между острием остряка и рамным рельсом при движении колесной пары по стрелочному переводу, превышающих его нормированные значения, его (остряк) необходимо механически связать с рамным рельсом. Именно поэтому все стрелочные переводы, которые задействованы в обеспечении движения по ним поездов со скоростями более 140 км/ч, оснащаются внешними замыкателями, что обеспечивает замыкание стрелочных остряков непосредственно к рамным рельсам.

Литература

1. ГОСТ 10791 - 2011. Колеса цельнокатаные. Технические условия (с Поправкой, с Изменением № 1) : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии № 142-ст. от 23 июня 2011 г. : дата введения 1 января 2012 г. / разработан открытым акционерным обществом «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта (ОАО «ВНИИЖТ»», открытым акционерным обществом «Уральский институт металлов» (ОАО «УИМ»», открытым акционерным обществом «Научно-исследовательский институт вагоностроения», Институтом черной металлургии НАН Украины. - Москва : Стандартинформ, 2011. - 32 с. - Текст : непосредственный.
2. ГОСТ Р 51685 - 2013. Рельсы железнодорожные. Общие технические условия (с Изменением № 1) = Railway rails. General specifications : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 14 октября 2013 г. № 1155-ст. : дата введения 2014-07-01 / разработан открытым акционерным обществом «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (ОАО «ВНИИЖТ»», открытым акционерным обществом «Уральский институт металлов» (ОАО «УИМ»»), Федеральным государственным унитарным предприятием «Научно-исследовательский институт мостов и дефектоскопии Федерального агентства железнодорожного транспорта» (ФГУП «НИИ мостов и дефектоскопии»), Институтом металлургии и материаловедения имени А. А. Байкова Российской академии наук (ИМет РАН), обществом с ограниченной ответственностью «ЕвразХолдинг» (ООО «ЕвразХолдинг»), открытым акционерным обществом «ЕВРАЗ Нижнетагильский металлургический комбинат» (ОАО «ЕВРАЗ НТМК»), открытым акционерным обществом «Объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат» (ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК»). - Москва : Стандартинформ, 2014. - 101 с. - Текст : непосредственный.
3. Минаков, Е. Ю. Принципы построения современных систем перевода стрелок средствами железнодорожной автоматики / Е. Ю. Минаков, Д. Е. Минаков. - Текст : непосредственный // ВНИИАС. Ж.-д. транспорт / Сер. Сигнализация и связь. ЭИ/ЦНИИТЭИ. - 2005. - Вып. 1-2. - С. 1-39.
4. Глюзберг, Б. Э. Оптимизационный подход к проектированию элементов стрелочных переводов. - Текст : непосредственный / Б. Э. Глюзберг // Вестник ВНИИЖТ. - 1991. - № 3.
5. Сидоров, В. Н. Лекции по сопротивлению материалов и теории упругости / В. Н. Сидоров. - Кострома: ГУИПП «Кострома». - 2002. - 352 с. - Текст : непосредственный.
6. Справочник инженера-путейца. В 2 томах / под ред. В. В. Басилова и М. А. Чернышева. - Москва : Транспорт, 1972. - Т.1. - 768 с. - Текст : непосредственный.
7. Горелик, А. В. Методы обеспечения безопасности перевода, замыкания и контроля положения стрелок: монография / А. В. Горелик, Д. Е. Минаков. - Москва : РУТ (МИИТ) : РОАТ, 2021. - 142 с. - Текст : непосредственный.
8. Горелик, А. В. Исследование механизма поведения рельса в зоне контакта с колесом движущегося подвижного состава / А. В. Горелик, В. В. Шуваев, Д. Е. Минаков. - Текст : непосредственный // Наука и техника транспорта. - 2013. - №3. - С. 16-20.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ



Р.А. Раенко



Т.А. Рудницкая

В статье рассмотрена математическая модель системы регулирования напряжения (СРН) синхронного генератора с постоянными магнитами, описывающая динамику движения основных элементов СРН при использовании принципа подмагничивания спинки статора генератора. Представлены принципиальная и структурная схемы СРН, получена передаточная функция системы и проведена оценка устойчивости.

Ключевые слова: синхронный генератор с постоянными магнитами, система регулирования напряжения, объект регулирования

EDN: KXNHSL

В последние годы в различных областях техники находят применение постоянные магниты (ПМ). Это объясняется широким распространением устройств, в которых применяются ПМ, разработкой новых материалов ПМ с различными характеристиками, применением новых сталей с высокой механической прочностью. Двигатели с ПМ используются в различных приводах механизмов, робототехнике, электромобилях, насосах и компрессорах, а также в других областях, где требуются высокая скорость и точность управления. Особенностью является то, что при создании магнитного поля ПМ не требуется отдельного источника питания. Синхронные генера-

торы с ПМ (СГПМ), имеют следующие преимущества: высокую надежность возбуждения и работы, простоту конструкции, высокий КПД, улучшенные выходные характеристики, малую инерционность в переходных процессах. К недостаткам СГПМ можно отнести: отсутствие регулирования напряжения из-за невозможности изменения потока возбуждения от ПМ, характеристики магнитов со временем изменяются, относительно высокая стоимость [1].

По конструктивному исполнению ротора такие генераторы делятся [1]:

- с цилиндрическим магнитом в виде кольца, намагниченным в радиальном направлении;

Раенко Роман Александрович, кандидат технических наук, младший научный сотрудник научно-исследовательского центра ФГКВОВ ВО «Военная академия РВСН имени Петра Великого». Область научных интересов: системы автономного электроснабжения ракетных комплексов, исследования развития и совершенствования системы эксплуатации и технического обеспечения ракетных комплексов. Автор 20 научных работ. Имеет два патента на изобретения.

Рудницкая Татьяна Александровна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Системы управления транспортной инфраструктурой» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: логистика, управление перевозочным процессом железнодорожного транспорта. Автор 38 научных работ, в том числе двух учебников. Имеет один патент на изобретение.

Рудницкий Сергей Леонидович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электрификация и электроснабжение» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: электротехника, электрические машины, электрические аппараты. Автор 27 научных работ, в том числе одного учебного пособия. Имеет 10 патентов на изобретения и пять патентов на полезную модель.

- типа «звездочка» с явно выраженными полюсами без полюсных башмаков и с полюсными башмаками;
- типа «звездочка» с призматическими магнитами и полюсными башмаками;
- коллекторные с призматическими магнитами и тангенциальным намагничиванием;
- когтеобразные с цилиндрическими постоянными магнитами, намагниченными в аксиальном направлении.

Кроме конструктивного признака классификации используется признак классификации синхронных генераторов (СГ) по типу схемы регулирования напряжения:

- СГ с электромагнитным регулятором с подмагничиванием трансформатором;
- СГ с регулятором в виде импульсного полупроводникового регулятора;
- СГ с компаундируемым регулятором импульсного типа;
- СГ с регулятором, использующим спинку генератора с подмагничиванием.

Из всех перечисленных конструкций специалисты отдают предпочтение СГПМ с РКП (ротор с когтеобразными полюсами). Данная конструкция позволяет использовать ПМ с высокой удельной магнитной энергией. Намагничивание РКП производится в собранном виде. Наилучшая стабилизация поля в воздушном зазоре возможна при наличии когтеобразных полюсов. Размагничивающее действие поля осуществляется медленно, магнитная индукция в воздушном зазоре РКП выше, чем в других конструкциях. Объем магнита в роторе не зависит от частоты, числа полюсов, что позволяет уменьшить геометрию ротора.

Механическая прочность РКП выше прочности других конструкций, поэтому такие роторы могут быть применимы в скоростных СГПМ.

Синхронные генераторы как источники электроэнергии переменного тока нашли широкое распространение во многих системах гарантированного электроснабжения. В нашей стране значительный вклад в разработку таких систем внесли А.И. Бертинов, Д.И. Бут, А.И. Вольдек и Б.Н. Петухов.

Анализ работы СГПМ (ротор на ПМ) показал, что в нем затруднительно регулировать выходное напряжение. Кроме того, исследования показывают, что для уменьшения габаритов СГПМ необходимо выбирать регулятор напряжения с регулирующей спинкой статора [2].

Система регулирования напряжения для такого генератора описана ниже. Анализ научно-технической литературы показал, что наиболее целесообразной конструкцией СГПМ является конструкция генератора с регулятором напряжения, использующим принцип подмагничивания спинки статора (ППСС), принципиальная схема которого изображена на рис. 1.

Система регулирования напряжения СГПМ с помощью ППСС считается самой простейшей, однако считается, что такая СРН может применяться только в системах, где регулирование напряжения находится в диапазоне $(1-5\%)U_{ном}$.

Сущность работы, указанной СРН сводится к передвижению точки перегиба на кривой намагничивания, влево (ближе к зоне насыщения) или вправо к промежуточному участку кривой намагничивания. Поскольку ток подмагничивания возникает только при работе

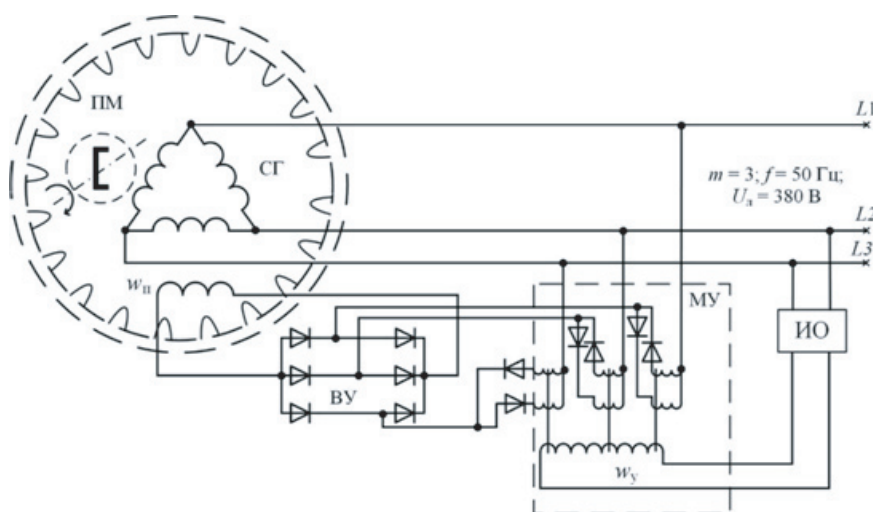


Рис. 1. Принципиальная схема регулирования напряжения СГ с подмагничиванием спинки статора

СГПМ, то и генератор часто называют самоуправляемым.

Весь регулятор содержит минимальное число элементов: ИО — измерительный орган; МУ — магнитный усилитель сигнала ИО с отрицательной и положительной обратной связями.

В выбранный СГПМ входят: ПМ ротора, статор с трехфазной обмоткой (ω_s), соединенный в треугольник, обмоткой подмагничивания (ω_n), измерительный орган ИО, промежуточный магнитный усилитель МУ с обмоткой управления ω_u , рабочими обмотками (ω_{py1} , ω_{py2} , ω_{py3}), выпрямитель ВУ, выполненный по схеме Ларионова и обмоткой постоянного тока $\omega_{пт}$.

Кроме того, в схеме МУ используются обмотки смещения ω_{c1} , ω_{c2} , ω_{c3} , выполняющие функции отрицательной обратной связи ОС, при этом цепь положительной обратной связи не показана. Измерительный орган может быть выполнен на кремниевых стабилитронах или на дросселях (линейном или нелинейном), при этом ИО представлен отдельным усилительным звеном от которого получают питание обмотки ω_u трехфазного МУ.

Среди всех возможных СРН данная система основана на рассогласовании двух напряжений: напряжения на нагрузке и напряжения эталонного источника и ее упрощенную структурную схему можно представить в виде, изображенном на рис. 2, где представлены исполнительный орган ИСО, объект регулирования ОР, измерительный орган ИО и связи между указанными элементами.

Одной из основных характеристик СРН является точность поддержания заданной величины напряжения СГПМ.

Анализ схемы показывает, что ИО содержит чувствительный элемент ЧЭ, в качестве которого может быть использован кремниевый стабилитрон, схема сравнения напряжений сети СС и эталонного источника ЭИ.

При отсутствии регулятора и включении нагрузки напряжение на нагрузке будет равно

$$U = U_{ном} - \Delta U_n = U_{ном} - (\Delta I_n R), \quad (1)$$

т.е. оно уменьшается на ΔU_n , поэтому задача регулятора заключается в возврате ΔU_n .

Работа регулятора по отклонению заключается в том, чтобы вернуть в схему напряжение, равное $\Delta U_{нр}$, т.е. если регулятор выполняет функцию ($\Delta U_n = \Delta U_{нр}$), то его можно назвать точным, однако если указанное правило не выполняется, то разность

$$\Delta U_0 = \Delta U_n - \Delta U_{нр}, \quad (2)$$

называют статической погрешностью регулятора.

Простейшие СРН имеют статическую погрешность в пределах $(3-5\%)U_{ном}$, что удовлетворяет требованиям большинства потребителей.

При построении математической модели системы регулирования напряжения примем, что нагрузкой МУ является исполнительный орган регулятора — обмотка подмагничивания ω_n , размещенная на спинке статора.

ИО должен иметь восходящую характеристику (с положительным коэффициентом усиления $k_{ио}$)

$$\Delta U_{ио} = k_{ио} \Delta U, \quad (3)$$

где ΔU — рассогласование по напряжению.

При увеличениях напряжения на зажимах СГПМ увеличивается подмагничивание МУ, вследствие чего возрастает ток подмагничивания обмотки ω_n спинки статора, при этом спинка статора насыщается, магнитная проницаемость ее уменьшается из-за чего уменьшается магнитный поток воздушного зазора и напряжение на зажимах СГПМ уменьшается, стремясь вернуться к заданной величине. Если под влиянием возмущений напряжение СГПМ уменьшится, то работа системы регулирования напряжения происходит в обратном направлении.

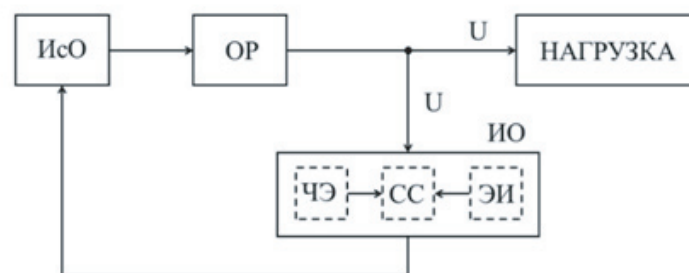


Рис. 2. Упрощенная структурная схема СРН

Уравнение СГПМ можно записать в следующем виде

$$(T_{\text{вм}} p + 1) \Delta U = -\alpha (T_{\text{гф}} + 1) \Delta I - k_{\text{ф}} \Delta I_{\text{п}}, \quad (4)$$

где α и $T_{\text{гф}}$ — расчетные параметры синхронного генератора:

$$\left. \begin{aligned} \alpha &= x_d \sin \varphi + \cos \varphi; \\ T_{\text{гф}} &= x_d T'_d \sin \varphi + \frac{r_{\text{я}} T_{\text{вм}} \cos \varphi}{x_d \sin \varphi + r_{\text{я}} \cos \varphi} \end{aligned} \right\}, \quad (5)$$

где $T_{\text{вм}}$ — электромагнитная постоянная времени генератора; $k_{\text{ф}}$ — передаточный коэффициент преобразования тока подмагничивания в магнитный поток.

$$(T_{\text{п}} p + 1) \Delta I_{\text{п}} = k_{\text{п}} \Delta U_{\text{м}}, \quad (6)$$

где $T_{\text{п}}$ — постоянная времени подмагничивания обмотки $w_{\text{п}}$; $k_{\text{п}}$ — коэффициент усиления подмагничивающей обмотки.

МУ отличается двумя обратными связями: внешней положительной жесткой обратной связью (не показана на схеме) и внутренней положительной обратной тоже жесткой связью (самоподмагничивание), поэтому уравнение МУ можно представить в следующем виде:

$$(T_{\text{му}} p + 1) \Delta U_{\text{му}} = k_{\text{му}} \Delta U_{\text{ио}} + k_{\text{ос}} \Delta I_{\text{п}}, \quad (7)$$

где $T_{\text{му}}$ — постоянная времени генератора; $k_{\text{му}}$ — коэффициент усиления МУ; $k_{\text{ос}}$ — коэффициент жесткой положительной обратной связи.

Таким образом, переходный процесс системы регулирования напряжения СГПМ с подмагничивающей спинкой статора описывается уравнениями (2), (4), (6) и (7):

$$\left. \begin{aligned} (T_{\text{вм}} p + 1) \Delta U &= -\alpha (T_{\text{гф}} + 1) \Delta I - k_{\text{ф}} \Delta I_{\text{п}}; \\ (T_{\text{п}} p + 1) \Delta I_{\text{п}} &= k_{\text{п}} \Delta U_{\text{м}}; \\ (T_{\text{му}} p + 1) \Delta U_{\text{му}} &= k_{\text{му}} \Delta U_{\text{ио}} + k_{\text{ос}} \Delta I_{\text{п}}; \\ \Delta U_{\text{ио}} &= k_{\text{ио}} \Delta U. \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Решение системы (8) относительно ΔU дает уравнение замкнутой системы регулирования напряжения

$$\begin{aligned} & \left[T_{\text{вм}} T_{\text{п}} T_{\text{му}} p^3 + (T_{\text{вм}} T_{\text{п}} + T_{\text{вм}} T_{\text{му}} + T_{\text{п}} T_{\text{му}}) p^2 + (T_{\text{вм}} + T_{\text{п}} + T_{\text{му}} - k_{\text{п}} k_{\text{ос}} T_{\text{вм}}) p + \right. \\ & \left. + (1 + k - k_{\text{п}} k_{\text{ос}}) \right] \Delta U = -\alpha (T_{\text{гф}} p + 1) \left[(T_{\text{п}} p + 1) (T_{\text{му}} p + 1) - k_{\text{п}} k_{\text{ос}} \right] \Delta I, \end{aligned} \quad (9)$$

где $k = k_{\text{ф}} k_{\text{п}} k_{\text{му}} k_{\text{ио}}$.

Структурная схема СРН СГ с подмагничиванием стенки статора представлена на рис. 3. В ней указаны все связи системы уравнений (9).

Передаточная функция замкнутой системы имеет вид:

$$W(p) = \frac{-\alpha (T_{\text{гф}} p + 1) \left[(T_{\text{п}} p + 1) (T_{\text{му}} p + 1) - k_{\text{п}} k_{\text{ос}} \right]}{a_3 p^3 + a_2 p^2 + a_1 p + a_0}, \quad (10)$$

где

$$\left. \begin{aligned} a_3 &= T_{\text{вм}} T_{\text{п}} T_{\text{му}}; & a_1 &= T_{\text{вм}} (1 - k_{\text{п}} k_{\text{ос}}) + T_{\text{п}} + T_{\text{му}}; \\ a_2 &= T_{\text{вм}} T_{\text{п}} + T_{\text{вм}} T_{\text{му}} + T_{\text{п}} T_{\text{му}}; & a_0 &= 1 + k - k_{\text{п}} k_{\text{ос}}. \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

Из уравнения (10) находим статическую погрешность СРН:

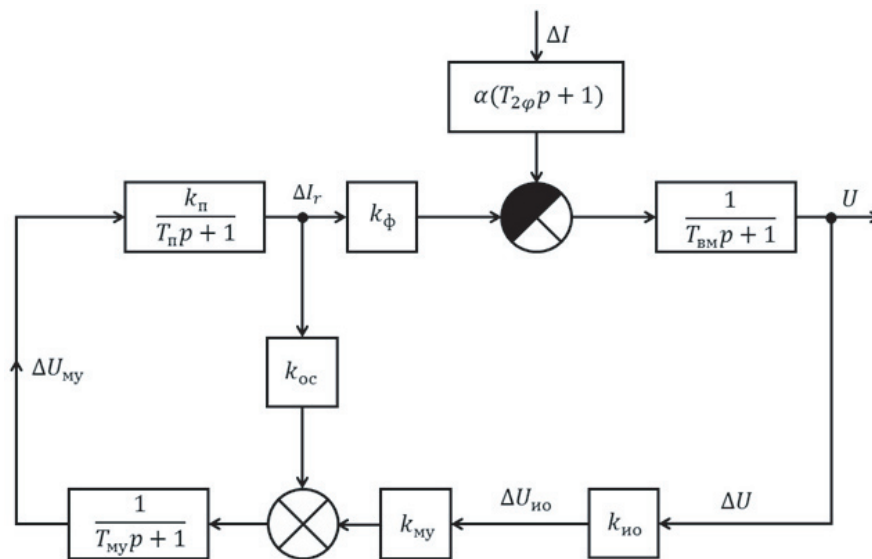


Рис. 3. Структурная схема СРН СГ с подмагничиванием спинки статора

$$|\Delta U| = \frac{a(1 - k_n k_{oc}) \Delta I}{1 + k - k_n k_{oc}}. \quad (12)$$

Уравнение (12) позволяет найти погрешность измерения напряжения, основываясь на параметрах СРН, однако полученная ошибка не сигнализирует об устойчивости системы регулирования.

Для исследования на устойчивость СРН принимается характеристическое уравнение, полученное из равенства (10) равным нулю, т.е.

$$a_0 p^3 + a_1 p^2 + a_2 p + a_3 = 0 \quad (13)$$

определитель Гурвица которого имеет вид

$$\Delta_3 \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & 0 \\ a_0 & a_2 & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 \end{vmatrix} = a_3 \Delta_2, \quad (14)$$

тогда в соответствии с критерием Гурвица для устойчивой системы должны выполняться следующие неравенства

$$\left. \begin{aligned} \Delta_3 = a_3 \Delta_2 > 0; \quad \Delta_2 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 \\ a_0 & a_2 \end{vmatrix} = a_1 a_2 - a_0 a_3 > 0; \\ \Delta_1 = a_1 > 0; \quad a_0 > 0, \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

т.е. для получения устойчивости необходимо, чтобы изменяемые параметры системы подчинялись условию [3]:

$$a_1 a_2 > a_0 a_3. \quad (16)$$

Таким образом, математическая модель СРН содержит совокупность аналитических соотношений, описывающих связи между элементами системы с оценкой погрешности работы системы и оценкой ее устойчивости. Предложенная модель может быть использована при исследовании СГПМ с улучшенными энергетическими и массогабаритными характеристиками как самого СГПМ, так и для системы бесперебойного питания различного назначения.



Литература

1. Балагуров, В. А. Электрические генераторы с постоянными магнитами / В. А. Балагуров, Ф. Ф. Галтеев. - Москва : Энергоатомиздат, 1988. - 280 с. - Текст : непосредственный .
2. Соловьев, И. И. Автоматические регуляторы синхронных генераторов / И. И. Соловьев ; под ред. Н. И. Овчаренко. - Москва : Энергоиздат, 1981. - 248 с. - Текст : непосредственный.
3. Юревич, Е. И. Теория автоматического управления : учебник для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки «Системный анализ и управление» / Е. И. Юревич. - 3 - е изд. - Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2007. - 560 с. - Текст : непосредственный.

ФАКТОРНЫЙ АНАЛИЗ РИСКОВ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ В ХОЗЯЙСТВЕ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХНИКИ



О.И. Вережкина



В.Э. Иванов

Под факторным анализом рисков в области безопасности движения поездов понимается рассмотрение и оценка уровня влияния факторов на риск возникновения случаев нарушения безопасности движения поездов. В целях автоматического формирования факторного анализа рисков по хозяйству автоматики и телемеханики применяется ЕК АСУИ ФА ОАО «РЖД» в части формирования факторного анализа рисков в области безопасности движения на инфраструктуре ОАО «РЖД».

Ключевые слова: факторный анализ, фактор риска, ЕК АСУИ ФА, уровень риска, нарушение безопасности движения, риск-менеджмент

EDN: LVFLEV

В области управления рисками [1–7] в хозяйстве автоматики и телемеханики, широкое применение получила система ЕК АСУИ ФА – Единая корпоративная автоматизированная система управления инфраструктурой ОАО «РЖД». Она применяется в том числе для формирования факторного анализа рисков в области безопасности движения на инфраструктуре ОАО «РЖД» [8]. Последовательность действий при формировании факторного анализа в системе ЕК АСУИ ФА представлена на рис. 1.

На первом этапе происходит процесс переноса из систем-источников значений 67 показателей необходимых для расчета факторов риска. Среди них 34 показателя синхронизируются автоматически из систем-источников, а оставшиеся 33 показателя вносятся в форму для ввода исходных данных вручную. Другими словами, отсутствует автоматическая передача более половины исходных данных из систем-источников.

В качестве примера в табл. 1 приведены значения 21 показателя, требуемые для расчета 11 факторов риска по процессу «Состояние обслуживаемых технических средств» согласно формулам из табл. 2.

По результатам выполненного расчета в соответствии с методикой [8], представленных в табл. 2, и загруженных в систему ЕК АСУИ ФА исходных данных по Мурманской дистанции сигнализации, централизации и блокировки было обнаружено несоответствие в расчете нескольких показателей и, как следствие, их дальнейший неправильный перевод в степень проявления некоторых факторов риска. Приведем один из примеров.

Значение показателя «Рельсовые цепи» в системе ЕК АСУИ ФА составило 0,001. Согласно методике [8] значение данного показателя определяется как отношение количества отказов по причине неисправности элементов рельсовых цепей к количеству рельсовых

Вережкина Ольга Ивановна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Управление эксплуатационной работой» Ростовского государственного университета путей сообщения (РГУПС). Область научных интересов: исследования по обеспечению безопасности движения на железнодорожном транспорте. Автор 76 научных работ.

Иванов Владимир Эдуардович, аспирант кафедры «Автоматика и телемеханика на железнодорожном транспорте» Ростовского государственного университета путей сообщения (РГУПС). Область научных интересов: автоматизация и управление технологическими процессами и производствами. Автор пяти научных работ.



Рис. 1. Алгоритм формирования факторного анализа

цепей на станции, умноженное на 100 (удельный показатель на 100 рельсовых цепей). Используя формулу (1) и подставляя исходные данные получаем:

$$f_1 = \frac{x_{10}}{x_8} \cdot 100 = \frac{1}{778} \cdot 100 \approx 0,13.$$

Полученные значения факторов риска переводятся в степень проявления согласно установленной градации перевода по пятибалльной шкале. В качестве примера значения степеней проявления 11 факторов риска по процессу «Состояние обслуживаемых технических средств» приведены в табл. 2.

На следующем этапе происходит расчет 38 уровней влияния факторов риска путем перемножения степени их проявления на долю влияния. Доля влияния факторов риска представляет собой коэффициент, устанавливаемый по окончании периода наблюдения (календарного года) экспертом для всей сети железных дорог ОАО «РЖД». Такой коэффициент будет иметь единое значение для любого структурного подразделения и для

любого периода анализа (см. табл. 3). Данная технологическая процедура описывается следующей формулой:

$$F_{a,j} = s_n \cdot d_m, \quad (1)$$

где $F_{a,j}$ — уровень влияния j -го фактора риска для случая нарушения безопасности движения a ;

s_n — степень проявления j -го фактора риска;

d_m — доля влияния j -го фактора риска.

Стоит отметить, что на текущий момент сформулированный выше подход не учитывает индивидуальные условия, в которых находится конкретная дистанция сигнализации, централизации и блокировки, а также особенности ее работы в каждом квартале. Кварталы относятся, как минимум, к разным временам года, и, следовательно, характеризуются разными факторами влияния. Например, риск роста отказов аппаратуры в сезоны гроз выше, чем в зимний период. Аналогичная ситуация возникает при оценке риска отказов рельсовых цепей при работе в зимних условиях, по сравнению с другими видами отказов.

Таблица 1

Исходные данные для факторного анализа по процессу

«Состояние обслуживаемых технических средств»

Наименование показателя	Условное обозначение	Значение за период	
		IV квартал 2021 г.	IV квартал 2022 г.
Техническая оснащенность	x_1	154,657	179,737
Количество систем централизации на станции, без учета находящихся на консервации	x_2	30,000	48,000
Количество централизованных стрелок на станциях	x_3	617,000	1 007,000
Количество централизованных стрелок на сортировочных горках	x_4	18,000	18,000
Количество поездных светофоров	x_5	545,000	1 034,000
Общая длина кабеля СЦБ	x_6	2070,557	2 177,520
Количество переездов	x_7	25,000	46,000
Количество рельсовых цепей на станции	x_8	778,000	1 219,000
Развернутая длина кодируемых рельсовых цепей	x_9	339,560	905,064
Отказы элементов рельсовых цепей	x_{10}	1,000	2,000
Отказы аппаратуры СЦБ	x_{11}	5,000	2,000
Отказы стрелочных электроприводов и гарнитур	x_{12}	2,000	3,000
Отказы кабеля СЦБ	x_{13}	0,000	1,000
Отказы светофоров, световых указателей	x_{14}	1,000	3,000
Отказы устройств электропитания	x_{15}	0,000	0,000
Отказы монтажа стативов, релейных шкафов, путевых ящиков, трансформаторных ящиков	x_{16}	5,000	5,000
Отказы автоматической переездной сигнализации, переездных устройств	x_{17}	0,000	0,000
Количество сбоев автоматической локомотивной сигнализации	x_{18}	1,000	0,000
Количество неисправных автоматических установок пожаротушений	x_{19}	0,000	0,000
Количество неисправностей систем пожарной сигнализации	x_{20}	0,000	0,000
Нарушение требований пожарной безопасности	x_{21}	0,000	2,000

Следующим этапом является расчет итоговой величины риска линейного предприятия, который определяется как усредненное значение средних арифметических значений по каждому из подпроцессов в разрезе 6 видов нарушений безопасности движения.

$$R = \frac{\sum_{i=1}^4 F_{i \max}}{4}, \quad (2)$$

где $F_{i \max}$ — максимальное значение уровней влияния факторов по процессу i ($i=1$ для процесса «Состояние обслуживаемых технических средств», $i=2$ для процес-

Таблица 2

**Формулы расчета факторов риска и их значения по процессу
«Состояние обслуживаемых технических средств»**

Наименование фактора риска	Формула расчета	Значение фактора риска за период		Перевод в степень проявления	
		IV квартал 2021 г.	IV квартал 2022 г.	IV квартал 2021 г.	IV квартал 2022 г.
Рельсовые цепи	$f_1 = \frac{x_{10}}{x_8} \cdot 100$ (1)	0,13	0,16	2,00	3,00
Аппаратура СЦБ	$f_2 = \frac{x_{11}}{x_1} \cdot 100$ (2)	3,23	1,11	5,00	3,00
Стрелочные электроприводы и гарнитуры	$f_3 = \frac{x_{12}}{x_3 + x_4} \cdot 100$ (3)	0,31	0,29	3,00	4,00
Кабельные линии	$f_4 = \frac{x_{13}}{x_6} \cdot 100$ (4)	0,00	0,05	1,00	2,00
Светофоры, световые указатели	$f_5 = \frac{x_{14}}{x_5} \cdot 100$ (5)	(0,18)	0,29	2,00	3,00
Устройства электропитания	$f_6 = x_{15}$ (6)	0,00	0,00	1,00	1,00
Монтаж стативов, релейных шкафов, путевых ящиков, трансформаторных ящиков	$f_7 = \frac{x_{16}}{x_1} \cdot 100$ (7)	3,23	2,78	5,00	4,00
Автоматическая переездная сигнализация, переездные устройства	$f_8 = \frac{x_{17}}{x_7}$ (8)	0,00	0,00	1,00	1,00
Сбои в работе автоматической локомотивной сигнализации	$f_9 = \frac{x_{18}}{x_9}$ (9)	0,003	0,00	2,00	1,00
Неисправность охранно-пожарной сигнализации, автоматических установок пожаротушения	$f_{10} = x_{19} + x_{20}$ (10)	0,00	0,00	1,00	1,00
Нарушение требований пожарной безопасности	$f_{11} = \frac{x_{21}}{x_2}$ (11)	0,00	0,04	1,00	2,00

са «Организация производственного процесса», $i=3$ для процесса «Материально-техническое обеспечение и оснащенность», $i=4$ для процесса «Персонал»).

$$F_{1 \max} = \max_{1 \leq j \leq 11} F_{a,j}. \quad (3)$$

Стоит отметить, что формула (2) свидетельствует о том, что все подпроцессы считаются одинаковыми с точки зрения анализа рисков. Такое положение требует дополнительного обоснования или исследования. Кроме того, при расчете итогового значения уровня риска не учитывается влияние каждого из факторов риска, поскольку выбирается только одно (макси-

мальное) значение уровня влияния фактора риска для каждого подпроцесса.

Итоги расчета уровней влияния факторов риска по процессу «Состояние обслуживаемых технических средств» за IV квартал 2021 и 2022 годов представлены в виде диаграммы на рис. 2.

На завершающем этапе факторного анализа по полученным результатам на основе соответствия установленному целевому диапазону на календарный год для того или иного уровня итогового риска, делаются выводы об эффективности разработанных мероприятий и принимаются управленческие решения по сни-

Таблица 3

**Значения долей влияния факторов на риски по процессу
«Состояние обслуживаемых технических средств»**

№ п/п	Виды нарушений безопасности движения	Состояние обслуживаемых технических средств											Пожарная безопасность		
		Техническое состояние средств ЖАТ											Нарушение требований пожарной безопасности	Неисправность охранно- автоматических устано- вок пожаротушения	Нарушение требований пожарной безопасности
		Рельсовые цепи	Аппаратура СЦБ	Стрелочные электроприводы и гарнитуры	Кабельные линии	Светофоры, световые указатели	Устройства электропитания	Монтаж стативов, релейных шкафов, путевых ящиков, трансформаторных ящиков	Автоматическая переезд- ная сигнализация, пере- ездные устройства	Сбоя в работе автоматической локомо- тивной сигнализации	Сбоя в работе автоматической локомо- тивной сигнализации	Сбоя в работе автоматической локомо- тивной сигнализации			
1	Столкновение подвижного состава с транспортным средством на железнодорожном переезде	2,00	2,00	0,00	3,00	2,00	3,00	2,00	4,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	Столкновения, сход на перегонах и станциях при поездной работе	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	1,00	3,00	0,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	Столкновения, сход подвижного состава при маневровой работе	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	1,00	3,00	0,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	Ложное появление разрешающего показания сигнала вместо запреща- ющего или более разрешающего	3,00	3,00	1,00	3,00	3,00	1,00	3,00	0,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	Перевод стрелки под составом	3,00	3,00	3,00	3,00	1,00	1,00	3,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	Затопление, пожар, нарушение конструкции с перерывом движения более 1 ч	2,00	2,00	1,00	3,00	2,00	3,00	1,00	0,00	1,00	2,00	2,00	2,00	3,00	3,00

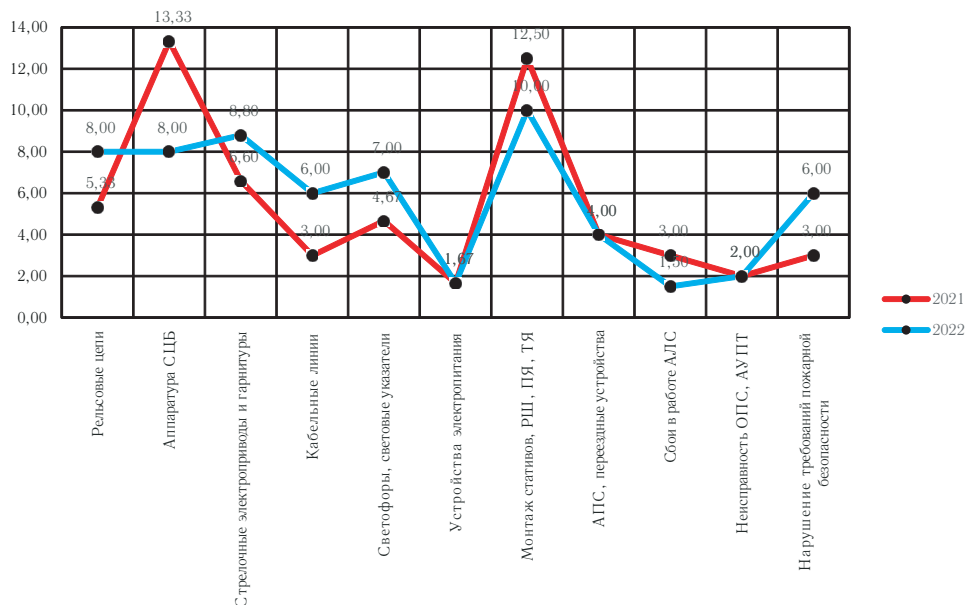


Рис. 2. Среднеарифметические уровни влияния риск-факторов в разрезе случаев нарушения безопасности движения за IV квартал 2021 и 2022 годов

жению риска возникновения случаев нарушения безопасности движения поездов или поддержанию его на достигнутом уровне.

По итогам факторного анализа за IV квартал 2022 года в Мурманской дистанции сигнализации, централизации и блокировки уровень риска составил 7,67 баллов, что соответствует уровню «допустимый». В сравнении с IV кварталом 2021 года уровень обобщенного риска уменьшен на 24,3% (составлял 10,13 баллов).

Следует отметить, что в IV квартале 2021 и 2022 годов нет ни одного из 11 факторов риска в работе Мурманской дистанции сигнализации, централизации и блокировки, который был бы отнесен по значимости воздействия к категории «очень опасно» и «крайне опасно».

Таким образом, система ЕК АСУИ ФА определяет итоговый уровень риска дистанции без учета индивидуальных особенностей расположения и работы дистанции; без учета значимости влияния каждого из 38 факторов риска. Кроме того, не вполне обоснованным является приравнивание целевого уровня риска к фактическому значению.

В целях корректного формирования факторного анализа по структурному подразделению в соответствии с утвержденной методикой [8] необходимо уделить особое внимание решению следующих проблем:

- контроля достоверности и объективности загруженных данных в ЕК АСУИ ФА;
- создания возможности синхронизации данных, передаваемых из систем-источников;
- объективного пересмотра корректности применяемых факторов риска, их расчета, установки долей влияния и перевода в степени проявления.

К сожалению, на данный момент оценка всех 38 факторов риска не отражает ни вероятность возникновения нежелательного события, ни ущерб, к которому данное событие может привести. Следовательно, называть их факторами риска не совсем корректно. Дальнейшее совершенствование системы ЕК АСУИ ФА, осуществляющей формирование факторного анализа рисков по хозяйству автоматики и телемеханики, должно быть направлено на устранение отмеченных недостатков с учетом новых возможностей, связанных с цифровой трансформацией транспортной отрасли.

Литература

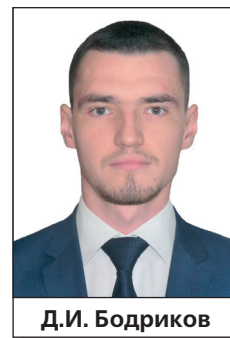
1. ГОСТ 33433-2015. Безопасность функциональная. Управление рисками на железнодорожном транспорте = Functional safety. Risk management on railway transport : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 4 декабря 2015 г. № 2108-ст. : дата введения 2016-09-01 / разработан Федеральным государственным унитарным предприятием «Всероссийский научно-исследовательский институт стандартизации и сертификации в машиностроении» (ВНИИНМАШ) и Закрытым акционерным обществом «ИБТранс» (ЗАО «ИБТранс»). - Москва : Стандартинформ, 2016. - 40 с. - Текст : непосредственный.
2. ГОСТ Р 54504—2011. Безопасность функциональная. Политика, программа обеспечения безопасности. Доказательство безопасности объектов железнодорожного транспорта = Functional safety. Policy and programme of safety provision. Safety proof of the railway objects : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 23 ноября 2011 г. № 571-ст : дата введения 2012-08-01 / разработан Закрытым акционерным обществом «ИБТранс» (ЗАО «ИБТранс»). - Москва : Стандартинформ, 2013. - 24 с. - Текст : непосредственный.
3. Методические рекомендации по управлению рисками и внутреннему контролю: утверждены распоряжением ОАО «РЖД» от 30.07.2019 г. № 1645р : [сайт]. - URL : <https://www.consultant.ru> (дата обращения: 02.07.2022). - Текст : электронный.
4. Стратегия гарантированного обеспечения безопасности движения: утверждена распоряжением ОАО «РЖД» №2855р от 08.12.2015 1645р : [сайт]. - URL : <https://www.consultant.ru> (дата обращения : 10.07.2022). - Текст : электронный.
5. Бугреев, Н. В. Оценка рисков функционирования систем автоматики и телемеханики на железнодорожном транспорте / Н. В. Бугреев, А. В. Горелик . - Текст : непосредственный // Наука и образование: проблемы, идеи, инновации. - 2018. - № 7(10). - С. 22-27.
6. Вережкина, О. И. Обзор нормативно-методологического сопровождения процессом управления безопасностью движения / О. И. Вережкина. - Текст : непосредственный // Транспорт: наука, образование, производство (Транспорт-2021) : сборник научных трудов Международной научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, 19—21 апреля 2021 года. - Ростов-на-Дону: Ростовский государственный университет путей сообщения, 2021. - С. 57-61.
7. Типовые требования по формированию факторного анализа рисков в области безопасности движения на инфраструктуре ОАО «РЖД»: утверждены распоряжением ОАО «РЖД» №1915/р от 30.08.2018 г. (в ред.25.03.2021 г.) : [сайт]. - URL : <https://www.consultant.ru> (дата обращения : 19.04.2021). - Текст : электронный.
8. Методика расчета показателей ЕК АСУИ ФА №ИСХ-543/ЦЧС от 13 ноября 2020 г. : [сайт]. - URL: <https://10.144.68.34/8835.html> (дата обращения : 02.07.2022). - Текст : электронный.
9. Иванов, В. Э. Построение архитектуры рисков в хозяйстве автоматики, телемеханики и связи / В. Э. Иванов, Н. А. Тришин. - Текст : непосредственный // Научные исследования молодых ученых. Опора России : сборник статей всероссийской научной конференции, Петрозаводск, 01 декабря 2022 года. - Санкт-Петербург: Общество с ограниченной ответственностью «Международный институт перспективных исследований имени Ломоносова», 2022. - С. 16-21. - DOI 10.58351/221201.2022.37.83.002. - EDN: PTZBZC.
10. Вережкина, О. И. Анализ методики оценки рисков функционирования железнодорожных поездов / О. И. Вережкина, Н. А. Акиншина, В. Э. Иванов, - Текст : непосредственный // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. - 2023. - № 3(64). - С. 16-32. - EDN: ZGEQKK.

БЕЗОТКАЗНОСТЬ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОВОЗОВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ВОСТОЧНОГО ПОЛИГОНА С ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ И НЕПАРАЛЛЕЛЬНОЙ ВЕНТИЛЯЦИЕЙ

Проанализированы повреждения коллекторных тяговых двигателей электровозов переменного тока Восточного полигона РЖД с разными системами вентиляции ТЭД. Установлено, что параллельная вентиляция двигателей обеспечивает более высокую безотказность изоляции обмоток и коммутации ТЭД, чем непараллельная.

Ключевые слова: Восточный полигон РЖД, электровозы, параллельная и непараллельная вентиляции ТЭД, изоляция, коммутация ТЭД

EDN: NADJPO



Д.И. Бодриков



И.А. Рыбкин

В соответствии с планами развития восточных регионов России РЖД необходимо существенно повысить в ближайшие годы объем грузопотока на Восточном полигоне. Это возможно осуществить при интенсивном использовании электровозов переменного тока Восточного полигона РЖД ВЛ80 с тяговыми электродвигателями (ТЭД) НБ-418 К6, электровозов ВЛ85, ВЛ65 с ТЭД-514, электровозов 2ЭС5К, 3ЭС5К, 4ЭС5К с двигателями НБ-514Б, НБ-514Е, НБ-514Д, аналогичными по конструкции с ТЭД НБ-514 электровоза ВЛ85.

Проведен анализ повреждений коллекторных тяговых двигателей (ТЭД) НБ-412, НБ-418К6, НБ-514, электровозов переменного тока ВЛ60, ВЛ80, ВЛ85, ВЛ65 депо Иркутск-Сортировочный Восточного полигона РЖД с разными системами вентиляции ТЭД.

Данные о повреждениях в течение одного года эксплуатации двигателей НБ-412 электровозов ВЛ60 с параллельной вентиляцией ТЭД приведены в табл. 1.

Аналогичные данные о повреждениях двигателей НБ-418К6 электровозов ВЛ80 и ТЭД НБ-514 электровозов ВЛ85 и ВЛ65 с непараллельной системой вентиляции ТЭД приведены в табл. 2 и 3.

Бодриков Денис Игоревич, ассистент кафедры «Электропоезда и локомотивы» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)), заместитель начальника по тяговому подвижному составу ПКБ ЦТ – филиала ОАО «РЖД». Область научных интересов: имитационное моделирование, оптимизация работы станции стыкования, организация системы эксплуатации и ремонта, повышение безотказности локомотивов. Автор 29 научных работ.

Рыбкин Иван Александрович, машинист эксплуатационного локомотивного депо Ожерелье-Сортировочное (ТЧЭ-33) Московской дирекции тяги, студент кафедры «Тяговый подвижной состав» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: повышение надежности локомотивов и электропоездов. Автор четырех научных работ.

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

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

Смирнов Валентин Петрович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Тяговый подвижной состав» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: повышение безотказности локомотивов. Автор 168 научных работ. Имеет три патента на изобретения.

Таблица 1

Анализ повреждений тягового двигателя НБ-412

Характер повреждений	Всего повреждений	На 1 млн км	Из них обнаружено на неплановом виде ремонта	Пробег до повреждения в тыс. километров					
				От начала эксплуатации не проходил заводской ремонт	От капитального ремонта				
					До 150	150—300	300—450	450—600	Свыше 600
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. Пробой изоляции и межвитковые замыкания якоря	1	0,3						1	
2. Пробой изоляции и межвитковые замыкания обмоток:	9	2,72					2	4	3
2.1 Главных полюсов	8	2,42	0	0	0	0	2	3	3
2.2 Добавочных полюсов	1	0,3						1	
2.3 Компенсационной обмотки	0								
3. Низкая изоляция якорных и полюсных обмоток	2	0,6				2			
4. Повреждение соединений между главными полюсами	1	0,3						1	
5. То же между компенсационными обмотками	0								
6. То же между добавочными полюсами	0								
7. Повреждение выводов главных полюсов	0								
8. То же добавочных полюсов	0								
9. Повреждение перемычек между щеткодержателями	1	0,3							1
10. Повреждение выводных кабелей	2	0,6				2			
11. Выплавление петушков	0								

Табл. 1. Окончание

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
12. Повреждение кронштейнов траверсы	0								
13. Задир коллектора	1	0,3						1	
14. Разрушение бандажа	0								
15. Повреждение якорных подшипников	4	1,21					1	1	2
16. Повреждение подшипниковых щитов	0								
17. Всего повреждений	21	6,34	0	0	0	4	3	8	6
18. Повреждения моторно-осевых подшипников	0								
19. Перебросы, оплавления, подгары	0								
20. Количество двигателей, отремонтированных в депо	14								
21. Пробег электровозов ВЛ60	3 307 098 км								

Таблица 2

Анализ повреждений тягового двигателя НБ-418

Характер повреждений	Всего повреждений	На 1 млн км	Из них обнаружено на новом виде ремонта	Пробег до повреждения в тыс. километров					
				От начала эксплуатации не проходил заводской ремонт	До 150	150—300	300—450	450—600	Свыше 600
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. Пробой изоляции и межвитковые замыкания якоря	30	1,42	12		2	10	11	6	1
2. Пробой изоляции и межвитковые замыкания обмоток:	33	1,56	7	0	0	5	13	8	7
2.1 Главных полюсов	18	0,85	2			5	5	5	3

Табл. 2. Окончание

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2.2. Добавочных полюсов	7	0,33	2				4	1	2
2.3. Компенсационной обмотки	8	0,38	3				4	2	2
3. Низкая изоляция якорных и полюсных обмоток	25	1,18	4		1	8	5	10	1
4. Повреждение соединений между главными полюсами	5	0,24	3			1	2	1	1
5. То же между компенсационными обмотками	1	0,05	1			1			
6. То же между добавочными полюсами	2	0,09					2		
7. Повреждение выводов главных полюсов	4	0,19				3	1		
8. То же добавочных полюсов	3	0,14	1		1	1		1	
9. Повреждение перемычек между щеткодержателями	6	0,28			2	3	1		
10. Повреждение выводных кабелей	7	0,33	3		1		2	3	1
11. Выплавление пегушков	7	0,33	1			6	1		
12. Повреждение кронштейнов траверсы	2	0,09						2	
13. Задир коллектора	9	0,43	2		2	1	3	2	1
14. Разрушение бандажа	8	0,38				3	3	2	
15. Повреждение якорных подшипников	41	1,94			9	12	9	4	7
16. Повреждение подшипниковых щитов	11	0,52			1	2	4	4	
17. Всего повреждений	194	9,16	34	0	19	56	57	43	19
18. Повреждения моторно-осевых подшипников	6	0,28	2		1	3	1	1	
19. Перебросы, оплавления, подгары	21	0,99	6		1	4	8	6	2
20. Количество двигателей, отремонтированных в депо	223								
21. Пробег электровозов ВЛ80	21 169 544 км								

Таблица 3

Анализ повреждений тягового двигателя НБ-514

Характер повреждений	Всего повреждений	На 1 млн км	Из них обнаружено на неплатном виде нового ремонта	Пробег до повреждения в тыс. километров					
				От начала эксплуатации не проходил заводской ремонт	От капитального ремонта				
					До 150	150—300	300—450	450—600	Свыше 600
1. Пробой изоляции и межвитковые замыкания якоря	42	1,08	12	2	5	7	11	3	14
2. Пробой изоляции и межвитковые замыкания обмоток:	114	2,93	39	10	12	15	23	21	33
2.1 Главных полюсов	69	1,77	24	6	7	11	14	12	19
2.2 Добавочных полюсов	34	0,87	13	3	5	2	7	6	11
2.3 Компенсационной обмотки	11	0,28	2	1		2	2	3	3
3. Низкая изоляция якорных и полюсных обмоток	8	0,21	2		1	3	2	1	1
4. Повреждение соединений между главными полюсами	11	0,28	8		1	2	4	4	
5. То же между компенсационными обмотками	3	0,08	1		1	2			
6. То же между добавочными полюсами.	4	0,1					2	1	1
7. Повреждение выводов главных полюсов	7	0,18	2			4	1	1	1
8. То же добавочных полюсов	2	0,05			1	1			
9. Повреждение перемычек между щеткодержателями	11	0,28	1		2	6	1	2	
10. Повреждение выводных кабелей	1	0,03	1		1				
11. Выплавление петушков	5	0,13	1		1	1	2	1	

Табл. 3. Окончание

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
12. Повреждение кронштейнов траверсы	3	0,08				3			
13. Задир коллектора	8	0,21	3			5	2	1	
14. Разрушение бандажа	5	0,13					3	1	1
15. Повреждение якорных подшипников	108	2,77	9	4	23	31	19	5	26
16. Повреждение подшипниковых щитов	38	0,98	3	1		5	11	13	8
17. Всего повреждений	370	9,5	82	17	48	85	81	54	85
18. Повреждения моторно-осевых подшипников	24	0,62	6		7	7	7	3	
19. Перебросы, оплавления, подгары	115	2,95	19	1	36	51	26		1
20. Количество двигателей, отремонтированных в депо	422								
21. Пробег электровозов ВЛ85, ВЛ65	38 938 893 км								

Установлено, что параллельная система вентиляции ТЭД НБ-412 обеспечивает более высокую безотказность как изоляции обмоток, так и коммутации ТЭД, чем непараллельная система вентиляции двигателей НБ-418К6 электровозов ВЛ80 и двигателей НБ-514 электровозов ВЛ85.

В двигателях с параллельной вентиляцией охлаждающий воздух при входе в коллекторную камеру разделяется на три потока [1].

Первый поток воздуха направляется под коллектор через вентиляционные каналы сердечника якоря и выходит в отверстия подшипникового щита.

Второй поток обдувает поверхность якоря, проходит в воздушном зазоре и выходит через отверстия в подшипниковом щите и остова.

Третий поток воздуха проходит между катушками и выходит через отверстия в остова.

В двигателе НБ-418К6 с непараллельной вентиляцией охлаждающий воздух подается в ТЭД через патрубок со стороны коллектора и выходит через патрубок, расположенный со стороны противоположной коллектору [2].

В ТЭД НБ-514 вентилирующий воздух входит в двигатель со стороны коллектора через вентиляционный люк и выходит из ТЭД со стороны, противоположной коллектору, вверх под кузов электровоза через специальный кожух [3].

В [4] показано, что при работе двух вентиляторов (источников охлаждающего воздуха) параллельно на общий приемник необходимы равные производительности источников. Из-за значительной разности производительности источников, что наблюдается при непараллельной вентиляции ТЭД НБ-418К6 и НБ-514, в верхнем источнике поток воздуха (ВПВ) проходит при меньшем аэродинамическом сопротивлении, чем поток воздуха нижнего источника (НПВ). Поэтому в ВПВ 2/3 охлаждающего воздуха выходит из двигателя, а 1/3 вентилирующего воздуха НПВ из-за воздействия более мощного ВПВ идет в обратном направлении в двигатель. Это приводит к уменьшению общего объема охлаждающего воздуха и, как следствие, к увеличению температуры обмоток якоря, главных полюсов, дополнительных полюсов и компенсационных обмоток нижней части остова [5].



Литература

1. Магистральные электровозы. Электрические машины и трансформаторное оборудование / В. И. Бочаров, П. А. Золотарев, М. А. Козорезов [и др.]. - Москва : Машиностроение, 1968. - 444 с. - Текст : непосредственный.
2. Электровоз ВЛ80Т : Руководство по эксплуатации / Под ред. Б. Р. Бондаренко. - Москва : Транспорт, 1977. - 568 с. - Текст : непосредственный.
3. Электровоз ВЛ85 : Руководство по эксплуатации / Всесоюз. н.-и., проект.-конструкт. и технол. ин-т электровозостроения, Новочерк. электровозостроит. з-д. - Москва : Транспорт, 1992. - 480 с. - Текст : непосредственный.
4. Виноградов, В. И. Вентиляторы электрических машин / В. И. Виноградов. - Ленинград : Энергоиздат: Ленингр. отд-ние, 1981. - 200 с. - Текст : непосредственный.
5. Вентиляция тяговых двигателей электровозов северного направления Восточного полигона РЖД / Д. И. Бодриков, Д. А. Акулов, И. А. Рыбкин, Р. С. Чубов, В. П. Смирнов. - Текст : непосредственный // Наука и техника транспорта. - 2023. - № 3. - С. 8-10.

МЕТОД АНАЛИЗА СИСТЕМ С КВАЗИПЕРИОДИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ



В.Ю. Горелик



В.И. Апатцев

Предлагается метод анализа систем с переменными параметрами, к которым относится широкий круг систем управления. Анализ проводится с помощью преобразования Лапласа, авторами предложена четырехмерная запись функционального определителя, которая позволяет наглядно представить его свойства.

Ключевые слова: параметрические системы, преобразование Лапласа, бесконечные четырехмерные определители

EDN: PWRXGL

В системах железнодорожной автоматики давно используется параметрический преобразователь частоты 50/25 Гц. В первом приближении этот преобразователь описывается линейным дифференциальным уравнением типа Матвея. При попадании в контур подкачки дополнительного сигнала работа прибора может быть нарушена.

В этом случае преобразователь описывается уравнением

$$\sum_{i=0}^r a_i \frac{d^i y}{dt^i} + \sum_{s=0}^l \frac{d^s}{dt^s} [f_s(t)y] = 0, \quad (1)$$

где $r-l \geq 2$, $a_r = 1$,

$$f(t) = \sum_{h=-\infty}^{\infty} \sum_{l=-\infty}^{\infty} b_{hl} e^{j(h\omega_1 + l\omega_2)}. \quad (2)$$

Здесь интерес представляет случай, когда ω_1/ω_2 является иррациональным числом, т.е. не выражается дробью с любыми целыми числами. В этом случае выражение (2) не является периодической функцией.

Пусть

$$\sum_{m=-\infty}^{\infty} |b_{hl}| = A_s < \infty. \quad (3)$$

Индекс r в (3) опущен.

Применив процедуры, рассмотренные в [1], получим после преобразования Лапласа неизвестные вида

$$Y(p + jk\omega_1 + jn\omega_2), \quad (4)$$

где k и n изменяются от $-\infty$ до $+\infty$.

Расположить неизвестные в строку невозможно, так как множество $jk\omega_1 + jn\omega_2$ является всюду плот-

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

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

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

3,-3	2,-3	1,-3	0,-3	-1,-3	-2,-3	-3,-3
3,-2	2,-2	1,-2	0,-2	-1,-2	-2,-2	-3,-2
3,-1	2,-1	1,-1	0,-1	-1,-1	-2,-1	-3,-1
3,3	2,2	1,1	0,0	-1,-1	-2,-2	-3,-3
3,1	2,1	1,1	0,1	-1,1	-2,1	-3,1
3,2	2,2	1,2	0,2	-1,2	-2,2	-3,2
3,3	2,3	1,3	0,3	-1,3	-2,3	-3,3

Рисунок

ным, поэтому разместим их на плоскости, т.е. заменим строку определителя плоскостью (рисунок), здесь в отличие от [2], плоскость распространяется во все стороны от центрального элемента 0,0.

На рисунке пара цифр соответствует переменным $Y(p+jk\omega_1+jn\omega_2)$, k =от $-\infty$ до ∞ , n = от $-\infty$ до ∞ , т.е. вместо, например, $Y(p+j2\omega_1+j3\omega_2)$ записано просто 2, 3.

Аналогично выкладкам [1], характеристическое уравнение можно получить в виде

$$\Delta(p) = \prod_{i=1}^r \prod_{n=-\infty}^{\infty} \frac{\sin\left[\frac{\pi}{j\omega_1}(p-\gamma_i+jn\omega_2)\right]}{\sin\left[\frac{\pi}{j\omega_1}(p-\beta_i+jn\omega_2)\right]} = \prod_{i=1}^r \prod_{k=-\infty}^{\infty} \frac{\sin\left[\frac{\pi}{j\omega_2}(p-\gamma_i+jk\omega_1)\right]}{\sin\left[\frac{\pi}{j\omega_2}(p-\beta_i+jk\omega_1)\right]}.$$

Здесь γ_i — корни характеристического уравнения, требующие определения; β_i — корни характеристического определителя стационарной части уравнения (1).

Так как множество $j\omega_1+jn\omega_2$ является всюду плотным, то решение последнего уравнения вряд ли возможно, хотя бесконечный определитель абсолютно сходится. 

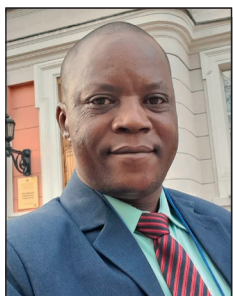
Литература

1. A method of investigating electrical systems with periodically changing Parameters / A.V. Gorelik, V.Y. Gorelik, V.I. Apattsev, A.P. Baturin, V.A. Kobzev, I.A. Zhuravlev. - Текст : непосредственный // Russian Electrical Engineering. - 2017. - Т. 88, № 12. - С. 842-844.
2. Горелик, В. Ю. Метод анализа систем с параметрами, изменяющимися по сложному закону / В. Ю. Горелик, В. И. Апатцев, А. В. Смыслов. - Текст : непосредственный // Наука и техника транспорта. - 2024. - № 2. - С. 26-27.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕВОЗКИ ГРУЗОВ ПО ТРАНСПОРТНЫМ КОРИДОРАМ ВОСТОЧНОЙ АФРИКИ



Е.С. Максимова



П. Низигийimana

В статье показана важность строительства железнодорожной линии в Республике Бурунди. Описаны проблемы и преимущества каждого вида транспорта. На основе ключевых показателей проведен анализ существующей инфраструктуры, сроков доставки грузов, расстояний и затрат на организацию мультимодальных перевозок между основными портами Восточной Африки.

Ключевые слова: транспортные коридоры, ширина колеи, мультимодальные перевозки, железнодорожная инфраструктура

EDN: RCSIHL

Для обеспечения транспортного сообщения и поддержания связей с мировыми рынками основной упор в своем развитии Республика Бурунди делает на мультимодальные перевозки с использованием автомобильного, водного и проектируемого железнодорожного транспорта. В стране также используют воздушный транспорт, который остается недостаточно развитым, поскольку в Бурунди имеется только один международный аэропорт. Республика Бурунди осуществляет перевозки своих товаров по трем транспортным коридорам — центральный, южный и северный. Транспортные потоки проследуют из портов въезда Дар-эс-Салам (Танзания), Момбаса (Кения) и Дурбан (ЮАР) до порта прибытия Бужумбуру на озере Танганьика (Бурунди). Порт Дар-эс-Салам является основным портом, через который проходит более 95% бурундийского экспорта-импорта.

В 2022 году был достигнут значительный рост объемов перевозок грузов по сравнению с 2021 годом [1], однако основные проблемы остаются нерешенными.

В настоящее время наиболее остро стоит вопрос строительства железнодорожной линии для повышения эффективности перевозки грузов по транспортным коридорам вдоль Республики Бурунди. Развитие транспортной системы поможет решить различные социально-политические и экономические проблемы, возникающие при организации транспортировки грузов по транспортным коридорам.

Данная исследовательская работа может внести значительный вклад в решение транспортных проблем, оказать содействие экономическому развитию и повышению устойчивости грузовых перевозок в Республике Бурунди и во всем регионе.

Максимова Евгения Сергеевна, кандидат технических наук, доцент, первый заместитель директора Института управления и цифровых технологий, доцент кафедры «Управление эксплуатационной работой и безопасностью на транспорте» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: повышение надежности грузовых перевозок, организация вагонопотоков, технологическое взаимодействие участников перевозочного процесса, технико-технологические параметры эксплуатации железнодорожных систем. Автор 110 научных работ, в том числе двух учебников.

Низигийimana Проспер, аспирант кафедры «Управление эксплуатационной работой и безопасностью на транспорте» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: исследование технико-технологических параметров эксплуатации железнодорожных систем. Автор двух научных работ.

Цели и задачи исследования

Целью исследования является изучение и обоснование необходимости строительства железнодорожной линии в Республике Бурунди.

Задачи исследования:

- оценить текущее состояние транспортной инфраструктуры африканского континента;
- изучить потенциальные преимущества строительства железнодорожной линии для грузовых перевозок, включая экономию затрат, снижение воздействия на окружающую среду, улучшение связей между производственными центрами, портами и рынками;
- выявить основные проблемы и ограничения, мешающие внедрению железнодорожного транспорта для повышения эффективности перевозки грузов по транспортным коридорам вдоль Республики Бурунди, включая нормативные, финансовые, институциональные и технические ограничения;
- выполнить анализ примеров успешных и неудачных внедрений железнодорожного транспорта в аналогичных условиях;
- оценить потенциальные экономические, социальные и экологические последствия строительства железнодорожной линии в Республике Бурунди.

Обзор транспортной инфраструктуры африканского континента

Рынок транспортной мобильности в глобальном масштабе сталкивается со значительными изменениями в связи с острым вниманием к проблемам экологического, цифрового и социального перехода. Развитие рыночных моделей в долгосрочной перспективе направлено на выбор более экологичных способов передвижения, адаптированных к потребностям пользователей, производителей и операторов с точки зрения экономической конкурентоспособности, территориальной сплоченности, суверенитета и устойчивости [14].

Сектор железнодорожного транспорта имеет особое стратегическое значение благодаря его экологическим и экономическим преимуществам по сравнению с воздушным и автомобильным транспортом. Рынок быстро расширяется во многих странах в соответствии с их особенностями: дальние поездки в США, короткие поездки в Японии и Европе, развитие городского транспорта в Северной Африке и т.д. [5].

Во многих африканских странах состояние существующих железных дорог, будь то инфраструктура или подвижной состав, оставляет желать лучшего. Такое положение вещей ослабило потенциал железнодорожной сети, а именно ее способность играть мощную роль в экономическом развитии транспортной отрасли. Доля рынка железнодорожного транс-

порта в большинстве стран континента составляет менее 20% от общего объема перевезенных грузов. Упомянутые две основные причины связаны с недостаточным объемом инвестиций и финансирования транспортной инфраструктуры и отсутствием вспомогательной институциональной и нормативной базы. Железнодорожный транспорт необходим для поддержания экономического развития, и, если данный вид транспорта не будет расширять свое присутствие, Африка рискует не достичь целей экономического развития, которые позволили бы ей использовать свои природные ресурсы и другие богатства [9].

Комплексный план развития железных дорог Восточной Африки предполагает модернизацию железной дороги Танзания—Замбия в части перехода на европейскую колею 1435 мм, а также строительство новой электрифицированной линии, которая свяжет Танзанию с Руандой, Угандой и будет продлена до Республики Бурунди и Демократической Республики Конго. Данный проект откроет новые возможности для освоения растущих объемов перевозок по существующим транспортным коридорам.

Согласно проводимым ранее исследованиям [3] развивающиеся страны, не имеющие выхода к морю, сталкиваются с рядом трудностей, включая ограниченные инвестиции в транспортные услуги и инфраструктуру или сложные географические условия. Несмотря на это, география оказывает важное влияние на социально-экономические показатели таких стран.

Рассмотрим вопрос более детально на примере Замбии. Чтобы свободно и эффективно доставлять товары в страну и из нее, для процветания экономики страны необходима хорошая транспортная инфраструктура. Как страна, не имеющая выхода к морю, на пересечении Восточной, Центральной и Южной Африки, Замбия зависит от транспортных маршрутов, проходящих через ее соседей, для получения доступа к водному транспорту. На текущий момент годовой объем экспорта Замбии колеблется от 7,5 до 8 млрд долларов. Общий объем экспорта в 2018 году оценивался в 9,1 млрд долларов. Значительная часть населения Замбии живет за чертой бедности. Поскольку страна не имеет выхода к морю, а ее экономика в большей степени зависит от торговли медью, необходима надежная транспортная система, чтобы связать ее экспорт с мировыми рынками и облегчить импорт товаров в страну, прежде всего таких, как топливо и оборудование.

Замбия могла бы попытаться повысить эффективность функционирования существующих автомагистралей за счет модернизации и использования железнодорожного транспорта в качестве альтернативы. Железнодорожный транспорт имеет решающее

значение для повышения мобильности как в развивающихся, так и в развитых странах. Железнодорожный транспорт обладает множеством преимуществ, в том числе низким энергопотреблением, большой грузоподъемностью, а также экологичностью. Кроме того, благодаря значительной грузоподъемности, железнодорожный транспорт может перевозить в подвижном составе другие виды транспорта, включая тракторы, топливные баки, сельскохозяйственное и горнодобывающее оборудование и другие транспортные средства [14].

Один железнодорожный состав может перевозить груз, для перемещения которого обычно требуется 280 грузовых автомобилей, поэтому модернизация и повышение пропускной способности железной дороги Танзания—Замбия снизит нагрузку на систему автомобильных перевозок. Сокращение объемов дорожного движения повысит эффективность движения товаров внутри страны и за ее пределами. Поскольку железнодорожная линия будет служить резервным способом транспортировки экспортных и импортных товаров, частота ремонта автодорог снизится. Расширение использования железнодорожной линии Танзания—Замбия позволит снизить количество дорожно-транспортных происшествий, а также повысить комфортность передвижения по существующим автомобильным дорогам частных транспортных средств и легковых автомобилей, позволяя им наслаждаться путешествием и уменьшая неудобства, вызванные большими грузовыми автомобилями [13].

Развитие транспортных коридоров

Региональное пространство является одной из движущих сил регулирования мировой экономики. В Африке существует ряд региональных организаций, способствующих сближению входящих в их состав стран, их интеграции в рамках единых экономических блоков и транспортной системы. Использование транспортных коридоров для перевозки грузов, будь то автомобильная и железнодорожная инфраструктура, портовые услуги, является важным рычагом для продвижения данных интеграционных процессов: расширяется национальная и международная дорожная сеть, развиваются услуги и модернизируется инфраструктура, что приводит к большей ритмичности на основных транспортных маршрутах, особенно тех, которые соединяют страны и внутренние территории с морскими портами. Транспортные коридоры, изначально построенные государствами и частными операторами в качестве логистических систем для обслуживания международных перевозок, постепенно становятся важными пространственными объектами,

структурирующими национальные территории и весь африканский континент [6]. Они концентрируют потоки и экономическую деятельность, все чаще занимают центральное место в проектах развития.

Железнодорожный транспорт считается более экологически чистым, чем автомобильный, из-за сокращения выбросов и потребления энергии на тысячу тонно-километров. Внедрение железнодорожного транспорта поможет смягчить воздействие на окружающую среду, связанное с грузовыми перевозками, такое как загрязнение воздуха и выбросы парниковых газов. Кроме того, железнодорожный транспорт может повысить безопасность за счет снижения количества дорожно-транспортных происшествий и заторов, тем самым способствуя улучшению здоровья и благополучия населения.

Однако существует ряд факторов, замедляющих процесс региональной интеграции. Среди часто выдвигаемых причин можно назвать отсутствие экономической взаимодополняемости между странами, небольшие размеры национальных, региональных и международных рынков, низкая покупательная способность населения, недостаток финансов, людских ресурсов и необходимой инфраструктуры, проблемы бедности и рентабельности, а также сложности, с которыми сталкиваются развивающиеся страны, национальные, региональные и международные перевозчики.

В табл. 1 представлено сравнение ключевых характеристик железнодорожного транспорта стран, расположенных вдоль транспортных коридоров Республики Бурунди [12].

В табл. 1 рассматривается железнодорожный транспорт семи стран Восточной Африки и сравниваются пять показателей, которые характеризуют его инфраструктуру в каждой стране по состоянию на 2023 год. Этими показателями являются: наличие или отсутствие железной дороги на территории страны; состояние железнодорожной инфраструктуры (хорошее, среднее, плохое); трафик и оператор (грузовой, пассажирский/однопутный или двухпутный) и, наконец, технические характеристики (электрификация и ширина колеи).

Как видно из табл. 1, в Республиках Бурунди и Руанда полностью отсутствует железнодорожная инфраструктура, страны не уделяют должного внимания инвестициям и финансированию в ее строительство и развитие. Внедрение железнодорожного транспорта вдоль транспортных коридоров поможет поддержать промышленность, стимулировать торговлю и экономический рост стран. Железнодорожный транспорт может способствовать более эффективному перемещению товаров в производственные центры,

порты и рынки и обратно и, таким образом, повышать конкурентоспособность предприятий.

В табл. 2 представлено состояние автомобильных дорог стран, расположенных вдоль транспортных коридоров Республики Бурунди.

Как видно из табл. 2 — 72,3% участков дорог Северного коридора в Бурунди находятся в хорошем состоянии, 23,7% в среднем состоянии и только 4% в плохом состоянии [10]. В Кении 76% автомобиль-

ных дорог находятся в хорошем состоянии, 19% в среднем состоянии и 5% в плохом состоянии. В Руанде 93,8% дорог Северного коридора заасфальтированы и находятся в хорошем состоянии, однако около 6,2% дорожной сети — в плохом состоянии. В Южном Судане дорожная сеть, как правило, плохая из-за ограниченных вложений в ее содержание и обслуживание инфраструктуры. Из 2076 км сети Северного коридора в Уганде 49% дорог с твердым

Таблица 1

Сравнение ключевых характеристик железнодорожного транспорта

Страна	Наличие железной дороги	Состояние железной дороги	Трафик/ количество путей	Оператор железной дороги	Технические характеристики	
					Электрификация	Ширина колеи, мм
Бурунди	нет			ARF		
Руанда	нет					
Танзания	да	хорошее	грузовой и пассажирский/однопутная	TAZARA TRC	частичная	1067 1000 1045
Замбия	да	хорошее	грузовой и пассажирский/однопутная	TAZARA	нет	1067
Уганда	да	среднее	грузовой и пассажирский/однопутная	URC	нет	1067 1000
Конго	да	плохое	грузовой и пассажирский/однопутная	SCTP	нет	1067 1000
Кения	да	хорошее	грузовой и пассажирский/однопутная	KRC	частичная	1067 1045 1000

Примечание. ARF — Фонд прикладных исследований в сфере бизнеса Республики Бурунди (планируемый), TAZARA — Железнодорожное управление Танзании и Замбии, TRC — Танзанийская железнодорожная корпорация, URC — Корпорация железных дорог Уганды, SCTP — Коммерческое общество транспорта и портов Конго, KRC — Кенийская железнодорожная корпорация.

Таблица 2

Оценка состояния автомобильных дорог, %

Страна	Хорошее	Среднее	Плохое
Бурунди	72,3	23,7	4
Руанда	93,8	0	6,2
Уганда	49	45	6
Кения	76	19	5
Южный Судан	0	5	95
Конго	48	26	26

покрытием в настоящее время находятся в хорошем состоянии, 45% в довольно хорошем состоянии и 6% в плохом состоянии [8].

В табл. 3 представлены данные об экспортно-импортных перевозках и сроках доставки грузов по транспортным коридорам вдоль Республики Бурунди в период с января по декабрь 2021 и 2022 годов [7].

Как видно из табл. 3, среднегодовой показатель количества тонн грузов, экспортируемых и импортируемых в Бурунди и Руанду (кроме Уганды) незначи-

тельны по сравнению с другими странами Восточной Африки. Это объясняет отсутствие инвестиций и финансирования со стороны национальных, региональных и международных директивных органов. Показатели среднегодовых затрат и времени задержки грузов в портах в Бурунди и Руанды практически такие же, как и в других странах, при этом расстояния перевозки непропорциональны. Эти задержки усугубляются низкой эффективностью бурундийского автомобильного транспорта, поскольку сеть автомобильных

Таблица 3

Показатели экспортно-импортных перевозок по транспортным коридорам

№ п/п	Показатель	Описание	2021	2022
1.	Общий грузооборот, (млн. тонн)	—	17.02	19.9
2.	Доля глубоководных грузов, %	—	97%	97%
3.	Доля импорта в объеме глубоководных грузов, %	—	83%	83%
4.	Импорт в страну, (тонны)	Танзания	8.453.795	9.250.561
		Бурунди	495.099	530.561
		Конго	1.672.218	2.312.864
		Руанда	1.327.863	1.464.102
		Уганда	138.203	199.108
		Другие	1.679.664	2.193.614
5.	Экспорт из страны, (тонны)	Танзания	1.562.164	1.800.271
		Конго	685.649	1.013.479
		Руанда	38.426	46.576
		Бурунди	11.919	11.920
		Уганда	602	73
		Другие	332.645	461.376
6.	Транспортные тарифы на импорт, дол. США	Кигали	2.800	3.490
		Бужумбура	3.000	3.225
		Кампала	3.300	3.500
		Букаву	4.900	5.200
		Гома	4.300	4.590
7.	Срок доставки грузов, (сут)		3.9	10.0
8.	Время оборота автотранспорта, (часы)		1.84	1.82
9.	Транзитное время до пунктов назначения, (сут)	Дар-Кигали	5.5	4.04
		Дар-Бужумбура	5.6	5.47
		Дар-Кампала	6.6	5.94
		Дар-Букаву	7.33	7.27
		Дар-Кигома	7.34	6.53

дорог незначительна и не способна выдерживать большие нагрузки от грузового транспорта, перевозящего контейнеры, что приводит к значительным заторам. Это еще раз подтверждает необходимость строительства железной дороги европейской колеи, такой как маршрут из Кампалы в Найроби.

Объем экспорта значительно уступает импорту по транспортным коридорам стран Восточной Африки. Для сокращения срока доставки грузов, повышения рентабельности грузовых железнодорожных перевозок и гармонизации торгового баланса всех стран необходимо выделить финансирование на создание двухпутной железнодорожной линии европейской колеи 1435 мм, адаптированной к условиям международных перевозок грузов. Страны, расположенные вдоль транспортных коридоров, тратят средства на импорт, которые не могут компенсировать за счет экспорта ввиду торгового дефицита. В данной ситуации национальным государственным органам и частным компаниям необходимо принимать решения с точки зрения социально-экономических последствий, направленных на сбалансирование торгового баланса. С учетом описанных проблем был разработан генеральный план развития Восточноафриканских железных дорог, предусматривающий строительство новой электрифицированной железнодорожной линии европейской колеи для замены устаревшей метровой железнодорожной системы [15].

Заключение

Выполненный анализ показал, что загрязнение окружающей среды, стоимость товаров, разрушение и перегруженность дорожной инфраструктуры в Республиках Бурунди и Руанда очень высоки. Страны остро нуждаются в строительстве железной дороги европейской колеи для улучшения социально-экономической жизни населения, поскольку существующая дорожная инфраструктура не в состоянии выдерживать нагрузку от грузовых перевозок.

Внедрение железнодорожного транспорта для повышения эффективности перевозки грузов по транспортным коридорам в дополнение к автомобильному транспорту является выгодным, поскольку тарифы и стоимость транспортных услуг, оплачиваемых владельцами, грузоотправителями перевозчику и другим поставщикам услуг на территории Республики Бурунди, значительно снижаются. Снижение стоимости обусловлено различными условиями, связанными с количеством и состоянием товаров, расстоянием, состоянием инфраструктуры, административными барьерами, затратами на электроэнергию и способами транспортировки грузов из одного пункта в другой. Таким образом, развитие систем железнодорожного транспорта европейской колеи в странах, расположенных вдоль транспортных коридоров Республики Бурунди, является необходимым условием для улучшения региональной и международной торговли. 

Литература

1. Burundi Eco;Tanzanie Port Autorité (TPA), Alfred Nijimbere, directeur des import-export au sein du groupe Musumba holding; Burundi, Bujumbura, 2023.
2. Multinational (Rwanda / Burundi) — cross border roads upgrading project, phase I : [сайт]. - URL: <https://projectsportal.afdb.org/dataportal/VProject/show/P-Z1DB0-254>. - Текст : электронный. phase II : OSBP development program - east African community : [сайт]. - URL: <http://repository.eac.int/bitstream/handle/11671/24353/OSBP%20%20Phase%20%20Develeopment%20 Program.pdf?sequence=1> (дата обращения : 07.08.2024). - Текст : электронный.
3. The East African Community one border posts act, 2016. EACIR : [сайт]. -URL: <http:// repository.eac.int/handle/11671/24096> (дата обращения : 07.08.2024). - Текст : электронный.
4. Biannual northern corridor transport observatory performance dashboard january to june, 2023: [сайт]. - URL: <https://www.industrie.cleantech.businessfrance.fr> (дата обращения : 07.08.2024). - Текст : электронный.
5. Corridors de transport en Afrique et intégration territoriale en questions, 24 octobre 2020: [сайт]. - URL: <https://www.cairn.info> (дата обращения : 07.08.2024). - Текст : электронный.
6. Biannual northern corridor transport observatory performance dashboard, January to June, Kenya-Nairobi, 2023.

7. Central corridor transport observatory; annual report of the performance of central corridor transit transport; may, 2023: [сайт]. - URL: [https:// www.centralcorridor-ttfa.org](https://www.centralcorridor-ttfa.org) (дата обращения : 07.08.2024). - Текст : электронный.
8. Les Infrastructures ferroviaires en Afrique; Directeur de département de transport BAD, Madou Oumaro, Abidjan 01, Côte d'Ivoire, 2015 :[сайт]. -URL: <https://www.agenceecofin.com> et (дата обращения : 07.08.2024). - Текст : электронный ; [сайт]. - URL: <https://www.tazarasite.com> (дата обращения : 07.08.2024). - Текст : электронный.
9. Le chemin de fer Mombasa-Nairobi mène à l'avenir du Kenya; Hu Yifeng Jeanne Akoth Ong'iyu (Kenya), 2021.
10. Le chemin de fer Tanzanie et TRC (tanzanie railway Corportion), Dar-Es Salaam, 2023.
11. Transport ferroviaire Schéma d'analyse pour améliorer la performance du rail en Afrique subsaharienne, Vasile Nicolae Olievschi, Mars, 2013.
12. International Journal of Recent Research in Thesis and Dissertation (IJRRTD) Vol. 3, Issue 2, pp: (95-109), Month: July - December 2022 : [сайт]. - URL : [https:// www.paperpublications.org](https://www.paperpublications.org) (дата обращения : 07.08.2024). - Текст : электронный.
13. Upgrade of Rail Infrastructure as a Solution to Zambia Economic Growth: A Case of Tanzania — Zambia Railway Line; Mutale Obed; Copperbelt University Directorate of Distance Education and Open Learning Master of Science in Project Management Course Code: Masters Thesis GBS800 DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.6992448> Published Date: 15-August-2022.
14. Путь к океану // Конференция организации объединенных наций по торговле и развитию. Технический доклад секретариата ЮНКТАД. Организация Объединенных Наций; Нью-Йорк и Женева, 2013 год. - Текст: непосредственный.
15. East African Railways Master Plan Study. Final Report. CPCS Transcom International Limited. Alpha and Omega Chambers, Bridgetown, Barbados, 2009.

НЕОБХОДИМОЕ И ДОСТАТОЧНОЕ УСЛОВИЯ КАЧЕНИЯ ЗАДНЕЙ КОЛЕСНОЙ ПАРЫ В РАДИАЛЬНОЙ УСТАНОВКЕ И БЕЗ СКОЛЬЖЕНИЯ ЕЕ КОЛЕС В КРИВЫХ УЧАСТКАХ ПУТИ

В результате исследования получено необходимое условие качения в радиальной установке задней колесной пары тележки с жесткой рамой. Показана невозможность такого качения во всех кривых с радиусами менее 1250 м при устройстве пути по существующим нормам и конусностью поверхности катания колес 1/10. Движение тележки в таких кривых осуществляется только в хордовой установке.

Ключевые слова: качение, сопротивление, колесо, гребень, рельс, кривая, скольжение, условия, радиус

EDN: RDPYPW



Е.П. Корольков



А.И. Бондаренко

Задача уменьшения энергозатрат на движение железнодорожного подвижного состава всегда остается актуальной для специалистов по подвижному составу и тяге поездов. Известно, что в силу набегания колес колесных пар (КП) на внешний рельс в кривых возникают дополнительные силы трения скольжения, на преодоление которых требуются дополнительные затраты энергии.

Ясно, что чем меньше элементов тележки, взаимодействуя, скользят, тем меньше сопротивление движению подвижного состава. В частности, колеса КП в тележке с жесткой рамой, катаясь по рельсам, постоянно подкальзывают, не имея возможности удовлетворять условиям качения без скольжения, особенно двигаясь в кривых участках пути.

В настоящей работе исследуются необходимые и достаточные условия качения колес в радиальной установке и без проскальзывания задней КП тележки с жесткой рамой. Профиль поверхности катания колес принят соответствующим п. 5.2 ГОСТ 10791-2011 «Колеса цельнокатанные. Технические условия».

Наибольшее проскальзывание возникает при качении колес КП в кривых участках пути, когда по внешнему рельсу КП должна пройти больший путь, чем по внутреннему [1]. Проскальзывание колес возрастает с уменьшением радиуса кривой. Причем проскальзывают не только набегающие КП тележек, но и вторые по ходу движения [2;3]. Следует также заметить, что скольжение колес происходит и в кривых с возвышением наружного рельса, несмотря на компенсацию

Корольков Евгений Павлович, доктор технических наук, профессор кафедры «Высшая математика» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: динамика подвижного состава железнодорожного транспорта, математическое моделирование динамических систем. Автор более 90 научных работ. Имеет один патент на изобретение.

Бондаренко Анатолий Иванович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Теоретическая механика» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: проблемы износа гребней колес и рельсов, подвижной состав железных дорог. Автор более 50 научных работ.

Корниенко Нина Амосовна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Высшая математика» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: динамика подвижного состава, методика преподавания математических дисциплин. Автор 35 научных работ.

Колокольчикова Любовь Владиславовна, аспирант кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: динамика подвижного состава железных дорог. Автор девяти научных работ.

центробежной силы, о чем свидетельствует износ поверхностей гребней колес и рельсов. Силовой контакт гребней с рельсами требует дополнительного расхода энергии на преодоление сил сопротивления, возникающих в контакте гребня и боковой поверхности рельса.

Двигаясь в кривых участках пути, двухосные тележки в жесткой раме устанавливаются так, что задняя по ходу движения КП заняла радиальное положение. Установлено, что колеса такой КП будут катиться без проскальзывания, если в пределах зазора между гребнями колес и боковыми поверхностями рельсов выполняется условие:

$$\frac{R+h}{R-h} = \frac{r_0 + \Delta r_1}{r_0 + \Delta r_2}, \quad (1)$$

где R — радиус кривой; h — половина расстояния между кругами катания колес КП; r_0 — радиус круга катания в центральной установке; Δr_1 , Δr_2 — приращение радиусов катания соответственно наружного и внутреннего колес при поперечном перемещении центра масс КП.

Условие (1) является необходимым и достаточным условием качения колесной пары без скольжения его колес по рельсам и достаточным для качения задней колесной пары (ЗКП) в радиальной установке.

Однако, как будет показано ниже, оно не является необходимым для занятия задней колесной парой радиального положения.

Расстояние между кругами катания колес и радиус катания колес в центральной установке тележки с жесткой рамой являются постоянными величинами для вагонных колес. Радиус кривой и приращения радиусов — переменные величины, причем последние зависят от поперечного перемещения « y » КП и формы поверхности катания колеса.

Если ЗКП по ходу движения стремится занять радиальное положение, то гребень ее внешнего колеса будет иметь некоторый зазор Δ с боковой гранью рельса. Тогда качение задней колесной пары без проскальзывания колес будет возможным при условии равенства зазора $\delta - \Delta$ (2δ — суммарный зазор между гребнями колес и рельсами) и величины « y » отношения пары необходимого для такого качения:

$$\delta - \Delta = y. \quad (2)$$

Это условие является необходимым для движения ЗКП в радиальной установке.

Выясним, выполняется ли необходимое условие (2) для кривых устроенных по существующим нормам, в которых зазор на одну сторону равен 6 мм в кривых радиуса не менее 350 м, а величина зазора Δ

в радиальной установке может быть подсчитана по формуле

$$\Delta \cong \frac{2l^2}{R+h}.$$

где l — половина расстояния между колесными парами в тележке.

Проведенные расчеты по формулам (1) и (2) и сравнительный анализ показали — ЗКП вагонных тележек с жесткой базой, поверхности катания колес которых имеют коническую поверхность с конусностью $2i = 1/10$, не удовлетворяют необходимым и достаточным условиям качения КП в радиальной установке в кривых радиуса менее 1250 м.

Следовательно, в кривых радиуса от 350 м до 1250 м тележка с жесткой рамой будет двигаться в хордовой установке. При этом внутренние колеса колесных пар будут катиться с пробуксовкой, внешние колеса будут касаться гребнями боковой поверхности внешнего рельса.

В кривых радиуса более 1250 м ЗКП двухосной тележки может занять радиальное положение. Однако, если не выполняется условие (1), которое является необходимым и достаточным для качения колес ЗКП без скольжения, внутреннее колесо будет подскальзывать, создавая дополнительное сопротивление движению.

Выясним, существуют ли кривые $R > 1250$ м, в которых задняя колесная пара катится без скольжения. Для этого рассмотрим две функции:

$$\Omega_1 = 1 - \frac{2kh}{1+kh}. \quad (3)$$

Здесь $k = 1/R$, причем $0 \leq k < 0,0008$, так как радиус кривых меняется от бесконечности (прямой участок) до кривой радиуса 1250 м. В этом интервале возможна радиальная установка ЗКП двухосной тележки с жесткой базой

$$\Omega_2 = 1 - \frac{2iy}{r_0 + iy}. \quad (4)$$

Формула (4) определена на множестве значений поперечного отклонения ЗКП от $0 \leq y \leq 0,006$ м, $i = 1/20$, $r_0 = 0,475$ м.

Функции (3) и (4) являются безразмерными и значения радиусов кривых и отклонений ЗКП могут принадлежать множеству пересечения значений функций (3) и (4).

Если же пересечения не существует, то это означает, что во всех кривых ЗКП вагонов будет катиться с подскальзыванием ее внутреннего колеса.

Найдем области значений функций Ω_1 , Ω_2 . Будем считать $2h=1,52$ м и, тогда, для вышеуказанных значений получим:

$$0,99878 \leq \Omega_1 \leq 1, \quad (5)$$

$$0,99987 \leq \Omega_2 \leq 1. \quad (6)$$

Нетрудно видеть, что множество значений функции Ω_2 вложено в множество значений функции Ω_1 . Установим значение радиуса кривой, при котором $\Omega_1=0,99987$. Оказалось, что этому значению отвечает кривая с радиусом $R=11691$ м.

Следовательно, во всех кривых с радиусами меньше $R=11691$ м ЗКП двухосной тележки с жесткой базой будет катиться внешним колесом и подскользывать внутренним, если путь имеет колею шириной 1520 мм и поверхность катания колес диаметром 950 мм имеет коническую поверхность $2i=1/10$.

В кривых же радиуса большего $R=11691$ м возможно качение задней колесной пары без скольжения ее колес по рельсам. Но в этом случае возникает вопрос в кривых какого радиуса большего 11691 м задняя колесная пара будет катиться без проскальзывания колес. Для ответа на этот вопрос преобразуем функции Ω_1 и Ω_2

$$\Omega_1(R) = 1 - \frac{2h}{R+h} \approx 1 - \frac{2h}{R}, \quad (7)$$

$$\Omega_2(y) = 1 - \frac{2iy}{r_0 + iy} \approx 1 - \frac{2iy}{r_0} \quad (8)$$

в силу $h \ll R$ и $iy \ll r_0$.

Если вычислить производные этих функций, то можно видеть, что первая будет всюду монотонно возрастать, а вторая — убывать и они могут пересечься только в одной точке. Поэтому ЗКП при вышеизложенных значениях параметров пути и поверхности катания колеса будет подскользывать внутренним колесом по рельсу практически во всех кривых.

Выясним влияние параметров функций Ω_1 и Ω_2 на нижние границы их значений.

Из формулы (7) видно — с уменьшением ширины колеи множество значений функции Ω_1 сужается, т.е. нижняя граница множества увеличивается. Как видно из формулы (8) с увеличением конусности поверхности катания колес и уменьшением радиуса колеса множество значений функции Ω_2 расширяется — значение

нижней границы уменьшается. Это, в свою очередь, ведет к увеличению числа кривых, в которых возможно качение задней КП без проскальзывания.

Проведенные исследования могут быть полезны при проектировании поверхности катания колес, особенно при проектировании тележек с радиальной установкой колесных пар и при проектировании экипажей высокоскоростного транспорта, исследуя взаимодействие подвижного состава и пути.

Итак, проведенные исследования движения в кривых двухосной тележки с жесткой базой позволили:

- вывести необходимое условие установки задней колесной пары в радиальное положение;
- показать, что в кривых радиусом от 350 м до 1250 м радиальная установка невозможна и тележка движется в хордовой установке;
- радиальная установка ЗКП возможна в кривых радиуса более 1250 м;
- показать, что движение тележки без скольжения ее колес по рельсам возможно в кривых радиуса не меньше 11691 м;
- доказать, что такая кривая будет единственной.

Литература

1. Осипов, С. И. Основы тяги поездов / С. И. Осипов, С. С. Осипов : учебник для студентов техникумов и колледжей железнодорожного транспорта. - Москва : УМК МПС России, 2000. - 592 с. - Текст : непосредственный.
2. Жуковский, Н. Е. Теория прибора инженера Ромейко - Гурко / Н. Е. Жуковский // Собрание сочинений. - Москва - Ленинград: Госиздат. - 1949. - Т.3. - С. 329-333. - Текст : непосредственный.
3. Корольков, Е. П. Условия скольжения колес колесной пары, заключенной в жесткую раму / Е. П. Корольков, А. И. Бондаренко. - Текст : непосредственный // Вычислительная механика деформируемого тела : материалы Международной научно-технической конференции. - Москва : МИИТ, 2006.

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ЭКСТРАПОЛЯТОРОВ



Л.А. Баранов



Е.П. Балакина

Рассматриваются имитационные модели интеллектуальных экстраполяторов, использующие многочлены Чебышева, ортогональные на множестве равноотстоящих точек. Показана актуальность использования интеллектуальных экстраполяторов в системах автоматического управления и предиктивной диагностики. Приведены результаты имитационного моделирования погрешностей прогноза и рекомендации по выбору параметров экстраполяторов.

Ключевые слова: интеллектуальный экстраполятор, погрешности прогноза, случайный процесс, математическая модель

EDN: SCEYHN

Прогнозирование случайных процессов в системах автоматического управления и предиктивной диагностики позволяет улучшить показатели качества функционирования этих систем [1;2]. Вычисления прогнозируемых величин реализуется экстраполяторами, функционирующими в реальном времени. Анализ, проведенный в [2], показал улучшения показателей качества управления в замкнутых системах при включении экстраполяторов в цепь обратной связи.

Прогнозирование величин случайных задержек поездов на станциях метрополитена, в централизованных системах управления движением позволяет уменьшить отклонение исполненного от планового графика движения [3].

Погрешность прогноза уменьшается при использовании интеллектуальных экстраполяторов, параметры которых изменяются автоматически в процессе функционирования в зависимости от свойств прогнозируемого процесса.

Баранов Леонид Аврамович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Управление и защита информации» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)), Заслуженный деятель науки Российской Федерации. Область научных интересов: интеллектуальные транспортные системы. Автор более 400 научных и учебно-методических работ, в том числе восьми монографий, трех учебников и трех учебных пособий. Имеет 36 авторских свидетельств на изобретения.

Балакина Екатерина Петровна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Управление и защита информации» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: интеллектуальные транспортные системы. Автор 36 научных работ.

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

Анохин Антон Сергеевич, студент кафедры «Управление и защита информации» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: интеллектуальные транспортные системы. Автор трех научных работ.

Жеребятин Илья Андреевич, студент кафедры «Управление и защита информации» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: интеллектуальные транспортные системы. Автор трех научных работ.

Уменьшение погрешности прогноза достигается при использовании интеллектуальных экстраполяторов, параметры которых изменяются автоматически в процессе функционирования в зависимости от свойств прогнозируемого процесса.

Рассматриваются имитационные модели, позволяющие определить погрешности прогноза интеллектуальных экстраполяторов фиксированного порядка, сравнить эти величины, провести анализ зависимости погрешностей от длительности прогноза и статистической связи отсчетов случайного процесса.

Модель экстраполятора

Рассматриваются экстраполяторы, использующие многочлены Чебышева, ортогональные на множестве равноотстоящих точек, параметры которых изменяются в процессе функционирования в зависимости от получаемых погрешностей прогноза. Коэффициенты прогнозирующего многочлена l -й степени вычисляются по методу наименьших квадратов [4].

Пусть $x(t) = x[(n+\varepsilon)T]$ – случайный процесс, значения которого известны в $(M+1)$ точке в моменты времени $(n-M+i)T, i=0,1,2,\dots,M$. Здесь $t=(n+\varepsilon)T$ – текущее время; T – шаг временной дискретизации; $n=0,1,2,\dots,M$; $0 \leq \varepsilon \leq 1$. На интервале времени от nT до $(n+1)T$, как показано в [5], результат прогноза $z[(n+\varepsilon)T]$ определяется выражением

$$z[(n+\varepsilon)T] = \sum_{i=0}^M x[(n-M+i)T] L_i^{\varepsilon, \text{кв}, l} [0, \varepsilon], \quad (1)$$

где

$$L_i^{\varepsilon, \text{кв}, l} [0, \varepsilon] = \sum_{j=0}^l \frac{\varphi_{j,M}(i) \varphi_{j,M}(M+\varepsilon)}{\|\varphi_{j,M}\|}, \quad (2)$$

$$\|\varphi_{j,M}\| = \sum_{i=0}^M \varphi_{i,M}^2. \quad (3)$$

В этих выражениях $\varphi_{j,M}$ – многочлены Чебышева, ортогональные на множестве равноотстоящих точек; l – степень экстраполирующего многочлена. Порядком экстраполятора будем называть степень экстраполирующего многочлена.

В имитационной модели имеется программа определения выражений $\varphi_{j,M}$ и $L_i^{\varepsilon, \text{кв}, l} [0, \varepsilon]$ для заданных значений l и M . Верификация этой программы проведена путем сравнения ее результатов с имеющимися выражениями, полученными путем математических преобразований [4–7].

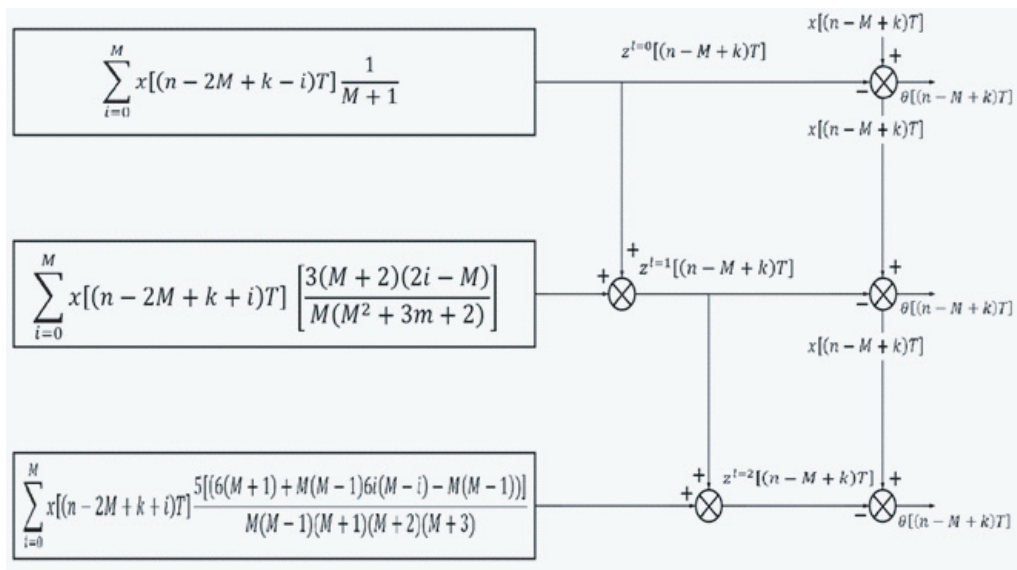
Погрешность экстраполяции в точке $(n+\varepsilon)T$, определяется следующими выражениями

$$\theta[(n+\varepsilon)T] = z[(n+\varepsilon)T] - x[(n+\varepsilon)T], \quad (4)$$

$$\theta[(n+1)T] = z[(n+1)T] - x[(n+1)T]. \quad (5)$$

Программа, моделирующая работу интеллектуального экстраполятора, соответствует структурной схеме, приведенной на рисунке [8].

Необходимо учитывать, что переход от экстраполятора l -порядка к экстраполятору $(l+1)$ -го порядка



Рисунок

осуществляется в соответствии с рекуррентной процедурой [5], определяемой выражением

$$L_i^{3, l+1}[0, \varepsilon] = L_i^{3, l} + \frac{\varphi_{j+1, M}(i) \varphi_{j+1}(M + \varepsilon)}{\|\varphi_{j+1, M}^2\|} \quad (6)$$

при

$$L_i^{3, l=0}[0, \varepsilon] = \frac{1}{M+1}, \quad (7)$$

на структурной схеме приведены три канала, соответствующие $l=0, l=1, l=2$. В общем случае рассматривается l -каналов.

В текущий момент времени $t=nT$ известны полученные ранее значения прогноза $z[(n-M+i)T]$, $i=0, 1, 2, \dots, M$ и значения входного сигнала $x[(n-M+i)T]$, $i=0, 1, 2, \dots, M$. Следовательно, в момент $t=nT$ в соответствии с выражением (5) известны все ранее имеющиеся погрешности прогноза.

По существу, с учетом варьирования числа точек, по которым вычисляется прогноз в каждом экстраполяторе l -го порядка ($l \leq M$) уже известны все предыдущие погрешности прогноза. Так моделируется работа Ml экстраполяторов. Для выбора одного из Ml экстраполяторов, который будет использован для прогнозов в момент времени $(n+1)T$, могут быть сформулированы различные правила.

В данной работе выбор одного из Ml при ($l \leq M$) экстраполяторов в момент $t=nT$ для прогноза в момент времени $(n+1)T$ осуществлялся по одному из следующих двух правил:

- первое правило: для прогноза в момент $(n+1)T$ используется экстраполятор, обеспечивающий минимум модуля погрешности в момент nT ;
- второе правило: экстраполятор, обеспечивающий в момент nT минимум суммы модулей погрешности за последние M тактов, деленных на M используется для прогноза в момент времени $(n+1)T$.

Модели случайных процессов

Моделирование случайного процесса $x[(n+\varepsilon)T]$ реализуется путем преобразования сигнала «белого шума» фильтрами нижних частот (ФНЧ). В частности, при использовании фильтра Баттерворта 5-го порядка в установившемся режиме получаем стационарный эргодический случайный процесс с автокорреляционной функцией

$$R_{xx}(\tau) = G_x^2 \frac{\sin(\omega_0 \tau)}{\omega_0 \tau}, \quad (8)$$

где G_x^2 — дисперсия сигнала; ω_0 — определяет ширину спектра ФНЧ.

При использовании гаусского ФНЧ в установившемся режиме получаем стационарный эргодический

случайный процесс с автокорреляционной функцией

$$R_{xx}(\tau) = G_x^2 e^{-\alpha^2 \tau^2}. \quad (9)$$

Верификация этой части программного обеспечения выполнялась путем сравнения относительных (по отношению к среднеквадратическому отклонению входного сигнала G_x) среднеквадратичных значений погрешностей прогноза, полученных в результате имитационного эксперимента и полученных аналитически, при заданных M и l [9].

Временной промежуток, $\tau = MT$ на котором эффективно использовать $(M+1)$ значение входного сигнала для прогноза при $t=nT$ величины $z[(n+1)T]$, как показано в [9], определяется из условий

$$0,6 \leq \frac{R_{xx}(MT)}{R_{xx}(0)} < 1. \quad (10)$$

Методика определения и анализ погрешности

Временной интервал MT , который используется для прогноза на шаг T , выбирается из условия допустимой погрешности. Как показал анализ, проведенный в [9], приемлемые результаты прогноза могут быть получены при наличии статистической связи между значениями случайной функции. Коэффициент корреляции между наиболее удаленными значениями $x[nT]$, используемыми в экстраполяторе, находится в диапазоне от 0,6 до 1 [9]. Эти соображения позволяют выбирать максимальное число, которое, равно MT при $T = \text{const}$, когда

$$\frac{R_{xx}(MT)}{R_{xx}(0)} \geq 0,6. \quad (11)$$

Значения относительной квадратической погрешности прогноза экстраполятора, определяется как

$$\sqrt{\overline{\delta^2}[0, \varepsilon=1]} = \sqrt{\frac{\overline{\theta^2}[0, \varepsilon=1]}{R_{xx}(0)}}, \quad (12)$$

где $\overline{\theta^2}[0, \varepsilon=1]$ — абсолютная величина дисперсии погрешности при $\varepsilon=1$; $R_{xx}(0) = G_x^2$ — дисперсия входного сигнала.

Для случайных процессов, автокорреляционные функции которых определяются выражениями (8) и (9), коэффициенты корреляции соответственно равны:

$$\frac{\sin(\omega_0 TM)}{\omega_0 TM}; \quad e^{-\alpha^2 T^2 M^2}. \quad (14)$$

С целью определения погрешности прогноза интеллектуальным экстраполятором проводилось имитационное моделирование его функционирования. Рассматривались случайные процессы, заданные автокорреляционными функциями (8) и (9) при варьировании шага прогноза T и коэффициента корреляции. Величина погрешности прогноза определялась при использовании описанных выше двух правил выбора порядка экстраполятора на n -м шаге: первое — по наименьшему значению модуля погрешности на n -м шаге, второе — по среднему значению модуля погрешности за M шагов.

Приведем данные результатов моделирования, при прогнозе случайного процесса с автокорреляционной функцией (8), когда $\omega_0=0,04$, $T=1$ с, при варьировании M от 4 (при коэффициенте корреляции (0,9957)) до $M=40$ (при коэффициенте корреляции (0,6247)) относительная среднеквадратическая погрешность прогноза увеличилась от 0,513 до 9,8% при первом решающем правиле, от 1,024 до 9,754% при втором решающем правиле.

При увеличении длительности прогноза до 5 с ($T=5$ с) M варьировалась от 1 (при коэффициенте корреляции 0,993) до 8 (при коэффициенте корреляции 0,624) величина среднеквадратической погрешности прогноза увеличилась от 2,75 до 14,43% (при первом решающем правиле) и от 3,11 до 12,953% (при втором решающем правиле).

При увеличении длительности прогноза до 10 с ($T=10$ с) M варьировалась от 1 (при коэффициенте корреляции 0,97) до 4 (при коэффициенте корреляции 0,624) величина среднеквадратической погрешности прогноза увеличилась от 7% (при коэффициенте корреляции 0,97) до 21% (при коэффициенте корреляции 0,624) при первом решающем правиле и от 11 до 19% при втором решающем правиле.

При прогнозе случайного процесса с автокорреляционной функцией (9), когда $\alpha=0,015$, $T=1$ с и варьировании M от 2 (при коэффициенте корреляции 0,9998) до $M=45$ (при коэффициенте корреляции 0,6469), среднеквадратическая погрешность прогноза увеличилась от 1,0201% (при коэффициенте корреляции 0,9998) до 9,9375% (при коэффициенте корреляции 0,6469) при первом решающем правиле и от 1,3137 до 10,0281% при втором решающем правиле.

При увеличении длительности прогноза до 5 с ($T=5$ с) M варьировалась от 1 (при коэффициенте корреляции 0,994) до 9 (при коэффициенте корреляции 0,634) величина среднеквадратической погрешности прогноза увеличилась от 1,64% (при коэффициенте корреляции 0,994) до 9,52% (при коэффициенте корреляции 0,634) при первом решающем правиле и от 2,11 до 10,41% при втором решающем правиле.

При увеличении длительности прогноза до 10 с ($T=10$ с) M варьировалась от 1 (при коэффициенте корреляции 0,97) до 4 (при коэффициенте корреляции 0,69), среднеквадратическая ошибка прогноза увеличилась от 9% (при коэффициенте корреляции 0,97) до 17% (при коэффициенте корреляции 0,69) при первом решающем правиле и от 8 до 19% при втором решающем правиле.

Отношение в % числа тактов, в которых используется экстраполятор $l=0,1,2,...,M$ порядка к общему числу тактов моделирования при вариации коэффициентов корреляции, для случайного процесса с автокорреляционной функцией (8), для случайного процесса с автокорреляционной функцией (9), при $T=10$ с приведены соответственно в табл. 1, 2.

Тенденция увеличения числа тактов, в которых используются более высокие порядки экстраполятора

Таблица 1

Отношение в % числа тактов, в которых используются экстраполяторы $l=0, 1, ..., M$ к общему числу тактов моделирования функции с $R_{xx}(\tau) = G_x^2 \frac{\sin(\omega_0 \tau)}{\omega_0 \tau}$

Коэффициенты корреляции	$R_{xx}(\tau) = G_x^2 \frac{\sin(\omega_0 \tau)}{\omega_0 \tau}$					ω_0
	$l=0$	$l=1$	$l=2$	$l=3$	$l=4$	
0,624	24	26	23	12	15	0.04
0,776	32	26	24	18		0.04
0,896	38	33	29			0.04
0,97	51	49				0.04

Таблица 2

Отношение в % числа тактов, в которых используются экстраполяторы $l=0, 1, \dots, M$ к общему числу тактов моделирования функции с $R_{xx}(\tau) = G_x^2 e^{-\alpha^2 \tau^2}$

Коэффициенты корреляции	$R_{xx}(\tau) = G_x^2 e^{-\alpha^2 \tau^2}$					α
	$l=0$	$l=1$	$l=2$	$l=3$	$l=4$	
0,69	27	23	23	16	11	0.015
0,81	31	35	20	14		0.015
0,91	37	41	22			0.015
0,97	46	54				0.015

при уменьшении коэффициента корреляции сохраняется и при уменьшении времени прогноза.

Для сравнения величин погрешности прогноза при использовании интеллектуального экстраполятора с величинами погрешности прогноза при использовании экстраполяторов фиксированного порядка для одинаковых условий проведены имитационное моделирование от $l=0$ до $l=4$. Во всех случаях погрешность прогноза экстраполяторов фиксированного порядка при одинаковых коэффициентах корреляции случайных процессов значительно превышала погрешности прогноза интеллектуального экстраполятора.

Анализ данных моделирования позволяет сделать следующие выводы:

- использование интеллектуального экстраполятора уменьшает погрешность прогноза по сравнению с применением экстраполяторов постоянного порядка;
- увеличение коэффициента корреляции прогнозируемого случайного процесса на временном интервале MT приводит к уменьшению погрешности прогноза, что соответствует утверждению: увеличение статистической связи между отсчетами случайного процесса увеличивает точность его прогноза;
- уменьшение интервала прогноза T уменьшает погрешность прогноза, что также соответствует физическим представлениям. Величины погрешностей

прогноза при рассматриваемых решающих правилах незначительно отличаются.

Заключение

Разработанная имитационная модель интеллектуального экстраполятора позволяет определять погрешности прогноза случайных и детерминированных процессов для различных длительностей прогноза и моделей прогнозируемого сигнала.

Разработанная имитационная модель позволяет определять погрешности прогноза экстраполяторов фиксированного l -го порядка для различных длительностей прогноза и моделей прогнозируемого сигнала.

Проведенный анализ результатов моделирования позволил получить соотношения между погрешностями прогноза, статистической связью между отсчетами случайного процесса, длительностью прогноза.

Описанная методика имитационного моделирования эффективна при выборе экстраполяторов для различных систем управления и предиктивной диагностики.

Дальнейшим развитием интеллектуального экстраполятора может быть совершенствование правил выбора следующего шага прогноза по имеющейся истории процесса и прогноза, в том числе — использование нейронных сетей.



Литература

1. Baranov, L. A., Balakina, E. P., Godyaev, A. I. The Object According State Prediction to Diagnostic Data. // International conference on Automatics and Energy Journal of Physics: Conference Series, 2021, 2096 (2021) 012121. - <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2096/1/012121>.
2. Баранов, Л. А. Влияние прогнозирования рассогласований на качество управления в замкнутых системах автоматического регулирования / Л. А. Баранов, О. Е. Пудовиков, Е. П. Балакина. - Текст : непосредственный // Электротехника. - 2022. - № 9. - С. 8-14. - <https://doi.org/10.3103/S1068371222090036>.
3. Централизованное управление движением поездов городских железных дорог современного мегаполиса / Л. А. Баранов, Е. П. Балакина, С. Е. Иконников, Д. А. Антонов. - Текст : непосредственный // Наука и техника транспорта. - 2020. - № 1. - С. 30-38. - <https://doi.org/10.17223/19988605/52>.
4. Баранов, Л. А. Квантование по уровню и временная дискретизация в цифровых системах управления / Л. А. Баранов. - Москва : Энергоатомиздат, 1990. - 304 с. - Текст : непосредственный.
5. Баранов, Л. А. Прогнозирование случайных процессов на базе многочленов, ортогональных на множестве равноотстоящих точек / Л. А. Баранов, Е. П. Балакина. - Текст : непосредственный // Электротехника. - 2020. - № 9. - С. 39-46.
6. Березин, И. С. Методы вычислений : учебное пособие для государственных университетов / И. С. Березин, Н. П. Жидков. - 3-е издание, переработанное и дополненное. - Москва : Наука, 1966. - 1 т. - 632 с. - Текст : непосредственный.
7. Прогноз случайных процессов при наличии единичных возмущений в интеллектуальных транспортных системах / Л. А. Баранов, А. С. Анохин, И. А. Жеребятин, Чжан Юнцян. - Текст : непосредственный // Автоматика на транспорте. - 2023. - Т. 9, № 3. - С. 239-245.
8. Баранов, Л. А. Адаптивный экстраполятор нестационарных случайных процессов. - Текст : непосредственный // Электротехника. - 2023. - № 9. - С. 22-25.
9. Баранов, Л. А. Анализ погрешностей прогноза для интеллектуальных систем управления и предиктивной диагностики / Л. А. Баранов, Е. П. Балакина, Чжан Юнцян. - Текст : непосредственный // Надежность. - 2023. - Т. 23, № 2. - С. 12-18.

АЛГОРИТМ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПАССАЖИРОПОТОКОВ ПО ВРЕМЕНИ И ПО МАРШРУТАМ ОБЩЕСТВЕННОГО ТРАНСПОРТА С УЧЕТОМ РАСПИСАНИЙ ДВИЖЕНИЯ И ОГРАНИЧЕНИЙ ПРОВОЗНОЙ СПОСОБНОСТИ



А.А. Попов

Выполнен обзор и анализ существующих алгоритмов распределения пассажиропотоков по сетям маршрутного транспорта. Разработан алгоритм распределения пассажиропотоков по времени и по маршрутам общественного транспорта с учетом расписаний движения и ограничений провозной способности. Алгоритм реализован и апробирован в компьютерной программе для прогнозирования распределения пассажирских потоков в маршрутной системе транспорта общего пользования.

Ключевые слова: распределение пассажирских потоков, динамическое макро моделирование системы транспорта общего пользования

EDN: SHSZMU

Городской пассажирский транспорт нуждается в эффективном планировании, проектировании и реализации. Необходимо, чтобы транспортная система удовлетворяла транспортные потребности города с минимальными транспортными издержками. Для оптимизации системы общественного транспорта необходимы инструменты прогнозирования и моделирования пассажирских потоков. Методы распределения пассажирских потоков, рассмотренные в данной статье, являются разделом транспортного моделирования. Сложность и трудоемкость транспортных расчетов требует использования эффективных алгоритмов для вычислительной техники.

Статья посвящена изучению и развитию алгоритмов распределения пассажирских потоков по маршру-

тной сети транспорта общего пользования (ТОП) в транспортных макро моделях.

Обзор существующих алгоритмов распределения пассажирских потоков маршрутного транспорта

Разработкой алгоритмов распределения потоков по транспортным сетям отечественные и зарубежные исследователи занимаются уже более полувека. Используются несколько методов распределения.

1. Распределение по одному кратчайшему пути (метод «всё или ничего») и его модификации (штраф за повороты, распределение порциями).

2. Распределение по нескольким путям (ограничение пропускной способности, отвод на скоростные дороги).

Попов Алексей Александрович, кандидат технических наук, инженер-математик отдела разработки алгоритмов ООО «Транснет», доцент Высшей инженерной школы Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: динамика подвижного состава железнодорожного транспорта, математическое моделирование динамических систем. Автор более 90 научных работ. Имеет один патент на изобретение.

3. Распределение по неограниченному множеству путей (метод стока, физические аналогии, равновесное статическое распределение).

4. Динамическое распределение (метод последовательного заполнения, метод последовательных средних, динамическое пользовательское равновесие).

Основными достоинствами метода «всё или ничего» являются простота и малое время счета. Сила этих достоинств такова, что этот метод используется до сих пор в качестве части более сложных методов.

Если при эксплуатации метода «всё или ничего» сеть ТОП и улично-дорожная сеть нагружались абсолютно идентично, то при распределении потоков на группу путей появилась необходимость учитывать специфические особенности обоих видов транспорта с точки зрения формирования путей следования и закономерностей их выбора (модель оптимальных стратегий).

Достоинством модели оптимальных стратегий является учет множества путей (маршрутов), по которым пассажир может достичь пункта тяготения, и вероятности обслуживания на каждом маршруте. Недостатком этой модели является отсутствие учета ограничений провозной способности и расписаний движения транспорта.

Для обоснования проектных решений генерального плана города используются укрупненные транспортные статические макромодели с распределением потоков по множеству путей без ограничений пропускной способности — в результате определяется распределение спроса на магистральную транспортную сеть города, служащее основой для классификации и проектирования элементов этой сети.

Для планирования транспортного обслуживания массовых мероприятий целесообразно использовать динамическое распределение пассажиропотоков методом последовательного заполнения с учетом ограничений провозной способности транспорта (когда пассажир не владеет информацией о будущем изменении состояния транспортной сети и выбирает путь, исходя из состояния сети в момент его отправления).

Для оптимизации общественного транспорта при обслуживании ежедневных (устоявшихся) пассажиропотоков рекомендуется использовать динамическое пользовательское равновесие (ни один пассажир не может снизить свои затраты, переключившись на другой маршрут). В контексте планирования динамическое пользовательское равновесие обычно моделируется для дневной временной шкалы на основе транспортного спроса, установленного в типовой день.

Вопросом для исследования является характер зависимости сопротивления сети общественного

транспорта от ее загрузки (пассажиропотока) и сходимость динамического равновесного распределения.

Анализ литературы показал недостаточную изученность методов равновесного динамического распределения пассажиропотоков по времени и по маршрутам общественного транспорта с учетом расписаний движения и ограничений провозной способности.

Разработка алгоритма распределения пассажиропотоков

Методика распределения пассажиропотоков с ограничениями провозной способности рассматривает динамическое изменение распределения пассажирских потоков по сети маршрутов общественного транспорта с течением времени.

Добавление шкалы времени для состояния (загрузки и сопротивления) транспортной сети увеличивает вычислительную емкость расчета, но позволяет достичь качественного увеличения возможностей моделирования [12].

Учет расписания ТОП при распределении пассажиропотоков требует учета динамики транспортного спроса и динамики распределения пассажиропотоков по времени, что обусловило выбор динамической транспортной макромодели для решения данной задачи.

Разработан алгоритм распределения пассажиропотоков по времени и по маршрутам ТОП с учетом расписаний движения и ограничений провозной способности. Алгоритм позволяет учитывать строгие ограничения провозной способности маршрутов общественного транспорта и при этом достигать динамического пользовательского равновесия распределения пассажиропотоков.

Блок-схема алгоритма представлена на рисунке.

Алгоритм начинается с блока подготовки массивов (структур) данных для расчета:

- подготовка расчетного графа транспортной сети с маршрутами общественного транспорта [10;11];
- подготовка массивов исходных данных: цены дуг графа $C(r,t)$, пропускная/провозная способность $PO(r,t)$ дуг графа r в каждый интервал времени t , матрица корреспонденций, профиль спроса;
- подготовка массивов промежуточных данных (используются в процессе расчета): массив спроса $\{PT(i,j,t)\}$ (распределение корреспонденций по времени), где $PT(i,j,t)$ — (квант спроса) часть корреспонденции $P(i,j)$ выезжающая из района отправления i в интервал времени t ; массив спроса по дугам $\{PL(r,t)\}$, где $PL(r,t)$ — спрос по дуге r в интервал времени t . Деревья кратчайших путей: $\{tree(r)\}$, где $tree(r)$ — номер участка (дуги), предшествующего дуге r вдоль кратчайшего пути. Кратчайший путь $i \rightarrow j$ может быть

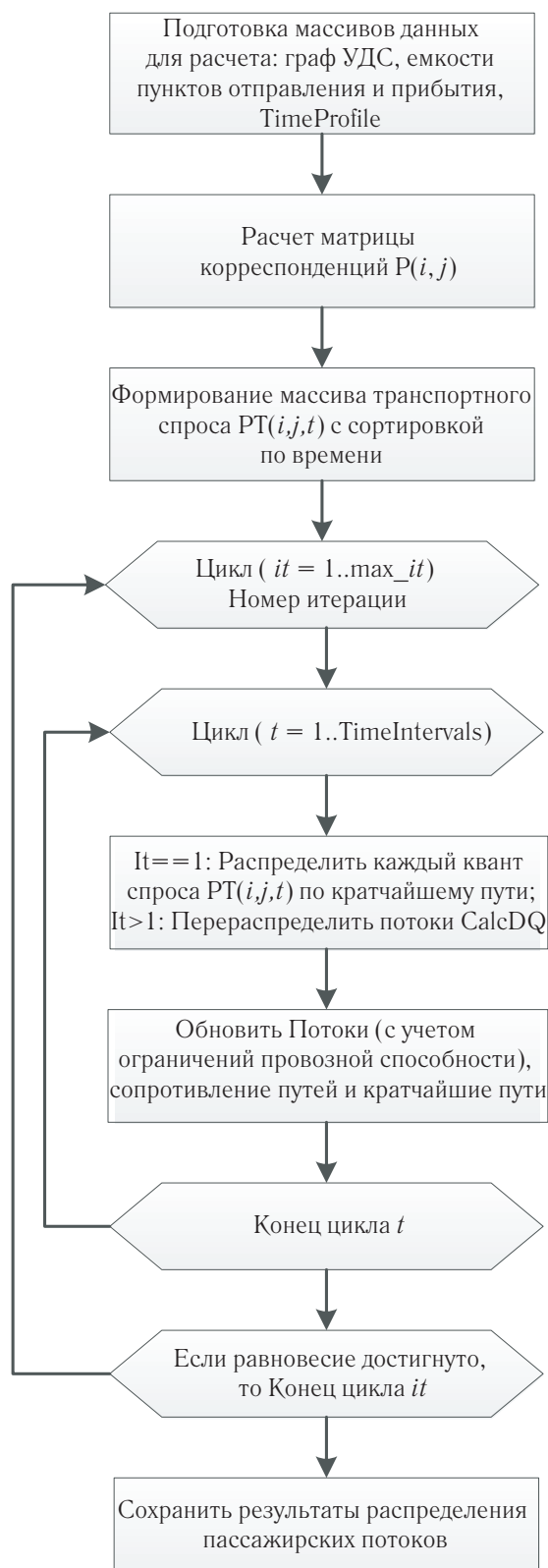


Рисунок. Блок-схема алгоритма

получен из дерева (i) (i — корень дерева кратчайших путей) перебором дуг от конечного узла j к корню дерева (i) . В процессе построения дерева кратчайших путей вычисляется массив цен (потенциалов) от корня дерева i до каждого узла графа j : $\{cost(j)\}$ [в минутах].

- подготовка массивов выходных данных: $Q(r,t)$ — поток по дуге r в интервал времени t ; $C(r,t)$ — цена прохождения дуги r в интервал времени t .

Данный алгоритм позволяет распределять пассажиропотоки как с учетом расписания движения ТОП, так и с учетом интервалов движения ТОП (если расписание неизвестно). Отличие распределения по расписанию от распределения по интервалам заключается в подготовке разных значений массивов $PO(r,t)$ и $C(r,t)$.

Посадочные дуги имеют цену $C(r,t)$, учитывающую длительность ожидания ТОП, стоимость проезда, а также могут включать дополнительные задержки от переполнения подвижного состава ТОП.

Для распределения пассажиропотоков по интервалам исходная провозная способность PO и задержка на посадочных дугах не зависят от времени: для каждого t задается средняя провозная способность [маршрутного ребра]:

$$PO(r,t) = \text{Marsh}PO(r) \cdot \text{TimeStep} / 60 \text{ [пассажиров за интервал времени]},$$

где $\text{Marsh}PO(r)$ — провозная способность маршрута [пасс/час], проходящего по маршрутной дуге r :

$$\text{Marsh}PO = 60 \cdot \Omega / t_m,$$

где Ω — вместимость подвижного состава ТОП [пасс], t_m — маршрутный интервал движения [мин].

TimeStep — длительность интервала времени [мин], 60 — минут в час; и средняя задержка [посадочного ребра]:

$$DC(r,t) = t_m / 2.$$

Для распределения по расписанию провозная способность и задержка на посадочных дугах зависят от времени: если в интервале времени t нет отправок ТОП, то провозная способность маршрутного ребра $PO(r,t)=0$ (бесконечно малая величина), а посадочное ребро $r1$, предшествующее данному маршрутному ребру r , имеет задержку $DC(r1,t)$ равную времени ожидания ТОП; если в интервале времени t есть отправление ТОП, то $PO(r,t)$ увеличивается на вместимость отправляющегося транспортного средства.

Второй блок алгоритма включает загрузку матрицы корреспонденций. Матрица (матрицы) корреспонден-

денций $\{P(i,j)\}$ загружается из предыдущего шага расчета (trip matrix для общественного транспорта). Для каждой матрицы корреспонденций загружается свой профиль спроса $\{TimeProfile(t)\}$. Как правило, используется суточная матрица корреспонденций (распределение транспортного спроса по пунктам отправления и тяготения), полученная аналогично статической макромоделю. В качестве альтернативного метода возможна загрузка матрицы корреспонденций для каждого шага времени t (загрузка массива транспортного спроса).

Третий блок алгоритма формирует массив транспортного спроса. Массив транспортного спроса рассчитывается как произведение матрицы корреспонденций на профиль спроса:

$$PT(i,j,t) = P(i,j) \cdot TimeProfile(t)$$

— для каждого набора i,j,t получаем распределение корреспонденций по времени.

Следующий блок алгоритма — начало цикла итераций равновесного распределения пассажиропотоков. Динамическое пользовательское равновесие — такое распределение потоков, при котором в момент времени t между парой пунктов отправления-прибытия ни один пассажир не может снизить свои затраты, переключившись на другой маршрут (цены путей равны).

Балансировка (равновесие) распределения достигается итерационным методом. На каждой итерации выполняется обновление деревьев кратчайших путей, обновление потоков, обновление времени в пути. Итерации продолжаются, пока не будут выполнены критерии сходимости (если изменение потоков или сопротивлений между итерациями меньше допустимой погрешности).

Внутри цикла равновесного распределения выполняется цикл интервалов времени.

Время t моделируется в течение моделируемого периода T : $t=0 \dots T$.

В течение моделируемого периода время дискретизируется на шаги (интервалы) времени — моделируемый период делится на конечное число шагов IntervalCount. В каждый интервал времени строятся деревья кратчайших путей, рассчитывается транс-

портный спрос, транспортный поток на каждом участке транспортной сети и состояние (задержки) транспортной сети.

Транспортная сеть заполняется последовательно по времени — от ранних интервалов времени к поздним — для учета загрузки сети от предыдущих интервалов времени на последующих интервалах времени.

Распределение спроса

На первой итерации выполняется процедура начального распределения пассажиропотоков по сети по кратчайшим путям:

- для данного интервала времени t построены деревья кратчайших путей из каждого района отправления i (i — корень дерева кратчайших путей);
- для каждого дерева i для каждого района прибытия j проходим вдоль кратчайшего пути и для каждой дуги $r \in$ кратчайшему пути $i \rightarrow j$: увеличиваем спрос¹ по дуге r на $PT(i,j,t)$;
- выполняем обновление потоков² $Q(r,t)$ на основе спроса $PL(r,t)$.

На следующей итерации выполняется процедура перераспределения пассажиропотоков:

- для каждого кванта спроса $PT(i,j,t)$ сохранен кратчайший путь из предыдущей итерации и из текущей итерации;
- процедура перераспределения пассажиропотоков переносит долю спроса со старого пути на новый путь с целью уравнивания цен альтернативных путей (возможен перенос всего спроса на новый путь); затем обновляет потоки и цены по дугам.

Разделение массивов потока $Q(r,t)$ и спроса $PL(r,t)$ необходимо, потому что в процессе перераспределения потоков между путями меняются цены путей и координата t для потоков (а для спроса координата t не меняется).

Обновление потоков, состояния сети и кратчайших путей

После изменения массива спроса $PL(r,t)$ необходимо обновление массива потоков $Q(r,t)$.

Процедура обновления потоков $Q(r,t)$ с учетом ограничений провозной способности:

¹ Спрос по дуге $PL(r,ti)$ имеет координату времени $ti=t+\text{cost}[\text{Road}[r],N1]$ — номер интервала времени, в который этот квант спроса $PT(i,j,t)$ пройдет по участку r без учета задержек, вызванных ограничениями провозной способности, с учетом длительности проезда от узла i до участка r .

² Поток по дуге $Q(r,ti)$ имеет вычисляемую координату времени ti — номер интервала времени, в который этот квант спроса $PT(i,j,t)$ пройдет по участку r с учетом задержек, вызванных ограничениями провозной способности (и возможными очередями).

- для каждого маршрута общественного транспорта во время отправления подвижного состава обслуживается транспортный спрос, который в это время находится на остановочном пункте; при этом учитываются ограничения вместимости подвижного состава, а также приоритет пассажиров, которые находятся в подвижном составе, перед пассажирами, которые ожидают посадки;

- транспортный спрос обслуживается с учетом очереди — кто первый пришел, тот первый обслужился, а также с учетом распределения обслуживания по времени (ожидания обслуживания).

Эти блоки алгоритма повторяются для каждого интервала времени в пределах периода моделирования.

Если выполнены критерии сходимости (если изменение потоков или сопротивлений между итерациями меньше допустимой погрешности) или номер итерации достиг ограничения количества итераций, то завершается цикл итераций равновесного распределения.

Сохранение результатов распределения пассажиропотоков

Для удобства представления результатов распределения пассажиропотоков для пользователя необходимо спроецировать расчетные потоки $Q(r, t)$ с расчетного графа на маршруты ТОП или на участки улично-дорожной сети. Результаты сохраняются (выводятся) в табличном и/или графическом виде: для каждого маршрута ТОП выводятся таблицы/диаграммы пассажиропотоков по перегонам, картограммы пассажиропотоков; для сети — картограмма пассажиропотоков ТОП для выбранного периода или интервала времени.

Испытание алгоритма

В рамках следующего этапа работы была проведена проверка работы нового алгоритма распределения пассажирских потоков.

Проверялся алгоритм динамического равновесного распределения пассажирских потоков по сети ТОП с учетом расписаний и ограничений провозной способности транспорта общего пользования, разработанный на предыдущем этапе работы.

Цели проверки — подтвердить способность алгоритма распределять пассажирские потоки по маршрутной сети ТОП с учетом расписаний и ограничений

провозной способности ТОП и достигать динамического пользовательского равновесия.

Для испытания алгоритма использовалась синтетическая транспортная модель, специально разработанная для проверки способности алгоритма выполнять динамическое равновесное распределение пассажирских потоков по маршрутам транспорта общего пользования (ТОП) с учетом расписаний движения и ограничений провозной способности общественного транспорта.

Данный пример способен продемонстрировать преимущества алгоритма: в примере созданы условия для проверки ограничений провозной способности ТОП, для проверки возможности отказа пассажиров от ранее выбранных (по пустой сети) «кратчайших» путей в пользу путей, ставших кратчайшими в результате изменения состояния сети (в результате загрузки сети). В то же время пример должен быть достаточно простым для возможности теоретического расчета вручную для проверки результата.

Расчет динамического равновесного распределения пассажиропотоков ТОП с учетом расписаний и ограничений провозной способности ТОП выполняется итерационным методом.

На начальной итерации кратчайшие пути от пунктов отправления до пунктов прибытия прокладываются по «пустой» сети.

Но в процессе распределения пассажиропотоков образуются очереди пассажиров, ожидающих обслуживания, которые приводят к изменениям кратчайших путей. Более того — условия динамического равновесного распределения при полной осведомленности³ пассажиров приводят к отказу пассажиров от ранее выбранных (по пустой сети) «кратчайших» путей в пользу путей, ставших кратчайшими в результате изменения состояния сети (в результате загрузки сети).

При распределении пассажиропотоков учитывается приоритет в обслуживании пассажиров, севших в автобус первыми, а также учитываются строгие ограничения провозной способности маршрутов ТОП.

В пределах одного шага времени возможно некоторое множество решений, внутри которого перераспределение потоков не приводит к изменению цены передвижений.

³ Полная осведомленность пассажиров — пассажиры знают состояние сети (загрузку и сопротивление) в каждый момент времени и знают, как будет изменяться состояние сети со временем. Примером такой модели может служить распределение пассажиров, ежедневно совершающих поездки из дома на работу.

Результаты испытаний

Успешно выполнена проверка ограничения провозной способности, равновесного распределения пассажиропотоков, учета расписания ТОП:

- в одной модели движение ТОП задано и расписаниями и интервалами; для каждого шага времени моделирования расписание движения (отправления) ТОП влияет на задержки пассажира при посадке в ТОП;

- тестовый пример демонстрирует корректный учет строгих ограничений провозной способности ТОП, их влияние на очереди и задержки пассажиров;

- тестовый пример демонстрирует корректное уравнивание пассажиропотоков, корректный учет очередей и приоритета обслуживания пассажиров при посадке в ТОП. Условия динамического равновесного распределения при полной осведомленности пассажиров приводят к отказу пассажиров от ранее выбранных (по пустой сети) «кратчайших» путей в пользу путей, ставших кратчайшими в результате изменения состояния сети (в результате загрузки сети).

В результате тестирования не было выявлено ситуаций, говорящих о ненадлежащей работе алгоритмов и интерфейса. На точность распределения влияет выбор шага времени распределения — чем меньше шаг времени, тем выше точность, но при уменьшении шага времени увеличивается количество интервалов времени и увеличивается вычислительная емкость расчета.

По результатам расчета выявлено совпадение расчетных данных и данных, полученных теоретическим путем. Что говорит о высокой точности алгоритма и соответствии алгоритма предъявляемым к нему требованиям.

Заключение

В данной статье выполнен обзор и анализ существующих алгоритмов распределения пассажирских потоков ТОП. Выделены две группы моделей распределения: статические и динамические.

Статические модели распределения пассажиропотоков к настоящему времени достаточно хорошо изучены и проработаны. Они рассматривают установившееся (статическое) состояние транспортной системы в условный час «пик», не учитывают шкалу времени и динамику процессов. Их достоинствами являются изученность, предсказуемость, относительно высокая скорость расчета, что обуславливает их области применения — распределение транспортного спроса без ограничений провозной способности ТОП на стадиях градостроительного проектирования, проектирования систем городского электротранспорта. Они позволяют рассчитать распределение существующего и перспективного транспортного спроса по

элементам транспортной сети, по маршрутам ТОП, определить пиковые (расчетные) уровни загрузки. Но их недостатки — неспособность корректно учитывать ограничения провозной способности, динамику транспортного спроса, пассажиропотоков и загрузки транспортной сети — не позволяют их использовать для детального моделирования организации транспортного обслуживания, процессов транспортного обслуживания, где необходим учет ограничений провозной способности, длительности пиковых периодов, неравномерности транспортного спроса и динамики состояния транспортной сети во времени.

Динамические модели распределения пассажиропотоков в настоящее время являются развивающейся областью исследований. Они учитывают шкалу времени и позволяют корректно учитывать ограничения провозной способности, динамику транспортного спроса, пассажиропотоков и загрузки транспортной сети, что является их преимуществом перед статическими моделями. Область применения динамических моделей распределения пассажиропотоков — детальное планирование, организация транспортного обслуживания пиковых периодов, массовых мероприятий, оптимизация маршрутных систем и расписаний движения ТОП с учетом динамики транспортного спроса во времени, ограничений провозной способности и длительности очередей (длительности пиковых периодов). Недостатками таких моделей являются: относительно большая ресурсоемкость вычислений, требовательность к исходным данным (расписание движения ТОП, динамика транспортного спроса), проблемы равновесного распределения.

В результате анализа существующих алгоритмов распределения пассажиропотоков определена потребность в разработке алгоритма динамического распределения пассажиропотоков ТОП с учетом ограничений провозной способности, с возможностью одновременного учета расписаний и интервалов движения ТОП, и возможностью расчета равновесного распределения пассажиропотоков (динамического пользовательского равновесия). Данный алгоритм разработан и описан в третьей части работы и предлагается для внедрения.

Алгоритм реализован в компьютерной программе и испытан на синтетическом тестовом примере.

Испытания подтвердили преимущества этого алгоритма:

- учет расписаний и/или интервалов движения ТОП: движение ТОП может быть задано и расписаниями и интервалами в одной модели;

- учет строгих ограничений провозной способности ТОП: количество перевозимых пассажиров меньше или равно вместимости подвижного состава ТОП;

- корректный учет очередей и приоритета обслуживания пассажиров при посадке в ТОП: приоритетное обслуживание пассажиров, которые раньше сели в ТОП, учет длительности ожидания обслуживания;
- динамическое равновесное распределение пассажиропотоков: ни один пассажир не может уменьшить цену своего передвижения, изменив маршрут.

В результате испытаний алгоритма подтверждена надлежащая работа алгоритма: по результатам расчета выявлено совпадение расчетных данных и данных, полученных теоретическим путем. 

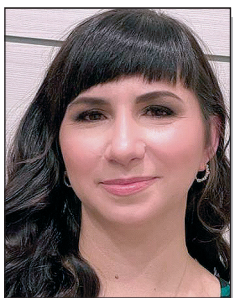
Литература

1. Ефремов, И. С. Теория городских пассажирских перевозок : учебное пособие для вузов по специальности «Городской электрический транспорт» / И. С. Ефремов, В. М. Кобозев, В. А. Юдин. - Москва : Высшая школа, 1980. - Текст : непосредственный.
2. Яковлев, Л. А. Программное обеспечение технического расчета системы городских путей сообщения, представленной в сетевой форме (ЭВМ «Минск-22») / Л. А. Яковлев ; ЦНИИП градостроительства. - Москва : Стройиздат, 1976. - 135 с. - Текст : непосредственный.
3. Кривошеев, Д. П. Методы распределения пассажиропотоков в транспортных расчетах (Обзор) / Д. П. Кривошеев. - Москва : Центр научно-технической информации по гражданскому строительству и архитектуре, 1974. - 40 с. - Текст : непосредственный.
4. Моделирование пассажиропотоков в транспортной системе (Оценка вариантов развития и анализ чувствительности модели) / П. У. Бонсалл, А. Ф. Чемперноун, А. К. Мейсон, А. Г. Уилсон ; пер. с англ. - Москва : Транспорт, 1982. - 207 с. - Текст : непосредственный.
5. Van Vliet D. D'Esopo: a forgotten tree-building algorithm // Traffic Engineering & Control, July/August 1977. - P. 372-373.
6. Методы расчета потоков пассажиров и транспорта в городах : (Обзор). - Москва : Центр научно-технической информации по гражданскому строительству и архитектуре, 1968. - 92 с. - Текст : непосредственный.
7. Самойлов, Д. С. Научные основы организации пассажирского транспорта в городах : специальность: 05.00.00 «Технические науки» : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Самойлов Дмитрий Сергеевич. - Москва, 1972. - 321 с. - Текст : непосредственный.
8. Traffic Assignment Manual. Washington, 1964.
9. Highway Capacity Manual 2000. Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., 2000.
10. Швецов, В. И. Математическое моделирование транспортных потоков / В. И. Швецов. - Текст : непосредственный // Автоматика и телемеханика. - 2003. - № 11. - С. 3-46.
11. Попов, А. А. Формирование и распределение пассажирских потоков на транспортной сети города: специальность 18.00.04 «Градостроительство, планировка сельскохозяйственных населённых пунктов» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Попов Алексей Александрович ; МГСУ. - Москва : МГСУ, 2005. - 220 с.
12. Попов А. А. Моделирование пиковых периодов транспортного обслуживания массовых мероприятий / А. А. Попов. - Текст : непосредственный // Проблемы функционирования систем транспорта: материалы Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных (с международным участием). - Тюмень, 2014. - С. 202-205.
13. Baoming Han, Weiteng Zhou, Dewei Li, Haodong Yin Dynamic Schedule-Based Assignment Model for Urban Rail Transit Network with Capacity Constraints // The Scientific World Journal, 2015, Article ID 940815. - URL: <http://dx.doi.org/10.1155/2015/940815> (дата обращения: 2023-06-16).
14. Duong Viet Thong, Aviv Gibali, Mathias Staudigl, Phan Tu Vuong Computing Dynamic User Equilibrium on Large-Scale Networks Without Knowing Global Parameters // Networks and Spatial Economics (2021) 21: 735-768.
15. Ortúzar J. D., Willumsen L. G. Modelling transport. JohnWiley & Sons, 2011.
16. Nesterov Y., de Palma A. Stationary Dynamic Solutions in Congested Transportation Networks: Summary and Perspectives // Networks Spatial Econ. 2003. № 3(3). - P. 371-395.

«АЛГОРИТМ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПАССАЖИРОПОТОКОВ ПО ВРЕМЕНИ
И ПО МАРШРУТАМ ОБЩЕСТВЕННОГО ТРАНСПОРТА С УЧЕТОМ РАСПИСАНИЙ
ДВИЖЕНИЯ И ОГРАНИЧЕНИЙ ПРОВОЗНОЙ СПОСОБНОСТИ»

17. Nielsen O. A. A Large Scale Stochastic Multi-Class Schedule-Based Transit Model with Random Coefficients, 2004. - URL: <https://www.researchgate.net/publication/291093769> (дата обращения: 2023-06-16).
18. Nielsen O. A., Frederiksen R. D. Large-scale schedule-based transit assignment — further optimization of the solution algorithms. - URL: <https://www.researchgate.net/publication/226012311> (дата обращения: 2023-06-20).
19. Filippi F., Gentile G., Meschini L. et al. Schedule-based transit assignment: New dynamic equilibrium model with vehicle capacity constraints. 2009. - URL: <https://www.researchgate.net/publication/226735875> (дата обращения: 2023-06-20).
20. Zhu W. A dynamic simulation model of passenger flow distribution on schedule-based rail transit networks with train delays // Journal of Traffic and Transportation Engineering, July 2016, DOI: 10.1016/j.jtte.2015.09.009.
21. Hamdouch Y., Lawphongpanich S. Schedule-Based Transit Assignment Model with Travel Strategies and Capacity Constraints // The Sixth Triennial Symposium on Transportation Analysis, 2008.
22. Hong L., Li W., Zhu W. Assigning Passenger Flows on a Metro Network Based on Automatic Fare Collection Data and Timetable // Discrete Dynamics in Nature and Society, May 2017. - URL: <https://doi.org/10.1155/2017/4373871> (дата обращения: 2023-06-26).
23. Nguen S., Pallottino S., Malucelli F. A Modeling Framework for Passenger Assignment on a Transport Network with Timetables // Transportation Science, August 2001, 35(3):238-249. DOI:10.1287/trsc.35.3.238.10152.
24. Поезда на связи «Мегафон» будет изучать предпочтения пассажиров для РЖД: [сайт]. - URL: <https://www.rbc.ru/newspaper/2015/07/02/56bcc0259a7947299f72be5b> (дата обращения: 2023-06-25).
25. Liu Qi, Chow Joseph Y.J. A congested schedule-based dynamic transit passenger flow estimator using stop count data. - URL: https://www.researchgate.net/publication/353344667_A_congested_schedule-based_dynamic_transit_passenger_flow_estimator_using_stop_count_data (дата обращения: 2023-06-24).
26. Dynamic Traffic Assignment: Transportation Research Circular E-C153, June 2011. Transportation Research Board of the National Academies, Washington, DC, 2011.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ РИСКОВ У РАБОТНИКОВ ПУТЕВОГО ХОЗЯЙСТВА, СВЯЗАННЫХ С УСЛОВИЯМИ ТРУДА



О.С. Сачкова



Ю.В. Пименова

В статье изложен комплексный подход в оценке профессионального риска нарушений здоровья работников путевого хозяйства, включающий расчет индивидуального риска развития профессионально-обусловленных патологий и прогноз опасности воздействия профессиональных факторов для здоровья РПХ с изменением стажа и условий работы.

Ключевые слова: работники путевого хозяйства (РПХ), неблагоприятные производственные факторы, профессиональный риск

EDN: UMPRFK

Исследованиям по гигиенической оценке условий труда работников ремонтно-путевого комплекса посвящены научные работы ведущих специалистов ФГУП ВНИИЖГ Роспотребнадзора д.м.н. Ж.В. Овечкиной, д.м.н., профессора О.И. Копытенковой и др.

Выполнение исследований у данной профессиональной группы рабочих осуществлялось в целях совершенствования актуальной на текущий момент системы управления охраной труда и соблюдения предписаний положений, закрепленных Распоряжением ОАО «РЖД» № 2805р от 29 декабря 2017 года и

Распоряжением ОАО «РЖД» №2796/р от 17 декабря 2020 г., а также в целях повышения эффективности проведения процедуры выявления опасностей и определения значений профессиональных рисков в условиях профессиональной деятельности работников путевого хозяйства (РПХ).

Профессия РПХ считается одной из самых массовых, а также непосредственно связанных с обеспечением бесперебойности и безопасности перемещения грузопассажирских потоков железнодорожным транспортом, поэтому большое значение придается определению весомости и экспозиции каждого из

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.

Пименова Юлия Владимировна, инженер лаборатории коммунальной гигиены и эпидемиологии отдела медико-биологических исследований ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт гигиены транспорта» (ВНИИЖГ Роспотребнадзора). Область научных интересов: железнодорожная гигиена, охрана труда, железнодорожный транспорт. Автор восьми научных работ.

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 семи научных работ.

профессиональных факторов при анализе риска возникновения всевозможных патологических процессов у данных работников.

Эффективность исследований заключается в:

- возможности составления прогноза неблагоприятных эффектов воздействия вредных производственно-средовых факторов для определения первоочередных, наиболее эффективных, экономически обоснованных и выгодных управленческих решений, гарантирующих увеличение работоспособности и надежности профессиональной функции РПХ;

- применении комплексного подхода для оценки профессионального риска нанесения ущерба здоровью РПХ, направленного на поддержание надежности работников данной профессиональной группы.

Исследования проведены по оценке:

- факторов производственной среды и трудового процесса РПХ;

- расчета величины риска для прогнозирования опасности влияния профессионально обусловленных факторов на здоровье РПХ с изменением стажа и условий работы.

Отметим, что в современных условиях социально-экономическое развитие государства напрямую зависит от увеличения протяженности железных дорог, интенсивности железнодорожного движения и роста численности работников железнодорожного транспорта, обеспечивающих безопасность эксплуатации железных дорог.

Объектом настоящего исследования являются РПХ — одна из наиболее важных профессиональных групп, обеспечивающих безопасность эксплуатации железных дорог. Даже с учетом того, что за последнее десятилетие возросла механизация труда РПХ, условия, в которых работают представители данной профессии, являются «вредными» и характеризуются воздействием целого комплекса отрицательных факторов производственного процесса.

Среди последних особо следует отметить: тяжесть труда; превышающие гигиенические нормативы уровень вибрации (локальной), шума; неблагоприятные метеоусловия (трудовая деятельность на открытых пространствах); загрязненность воздуха рабочей зоны выхлопными газами, образующимися вследствие работы оборудования, инструментов и подвижного состава на дизельной тяге. Указанные факторы крайне негативно влияют на функционирование основных жизненных систем организма, создают дополнительную нагрузку на общее состояние здоровья и работоспособность трудящихся.

Число аварий и инцидентов на железнодорожном транспорте в последние годы заметно сократилось.

Вместе с тем данные происшествия по-прежнему наносят существенный социальный и экономический ущерб.

Характер работы РПХ зачастую не позволяет соблюдать установленный режим труда и отдыха, что влечет за собой снижение профессиональной надежности, увеличение риска развития профессиональной патологии, а также негативные последствия для обеспечения безопасности железнодорожного движения в целом.

Особенности профессии РПХ предъявляют повышенные требования к функциональному состоянию органов и систем, а также к профессионализму лиц, осуществляющих ремонтные работы железнодорожного пути.

Профессиональная надежность РПХ предусматривает, что последние способны в полном объеме выполнять должностные обязанности в рамках отведенного времени, демонстрируя при этом безошибочность действий, а также устойчивость к внешним и внутренним раздражителям. Отсутствие отказов при выполнении отдельных операций и успешное своевременное завершение вверенного технологического процесса в целом, вне зависимости от фактических условий, считается признаком профессиональной надежности не только физических, но и психических функций организма трудящихся.

Сложные условия, в которых работают РПХ, серьезно повышают риск развития отклонений в функционировании различных органов и систем вследствие перенапряжения опорно-двигательного аппарата (далее — ОДА), влияния на центральную (шум) и периферическую (вибрация локальная) нервную системы, с увеличением трудового стажа могут стать триггером для формирования перечня профессиональных (нейросенсорная тугоухость и вибрационная болезнь) и профессионально-обусловленных заболеваний (патология ОДА и ЖКТ, АГ, ИБС и т.д.).

Вероятность воздействия на состояние здоровья, приводящая к производственной травме или профессиональному заболеванию, вследствие негативного влияния факторов производственного и трудового процесса называется профессиональным риском (далее — профриск).

Оценка профриска РПХ, обусловленного специфическими профессионально-производственными факторами, позволяет составить прогноз последствий воздействия рабочей среды на человека и наметить работодателям первоочередные наиболее эффективные, экономически обоснованные и оптимальные управленческие решения, гарантирующие увеличение работоспособности и надежности профессиональной функции РПХ.

Разработаны рекомендации на основе результатов комплексных исследований по оценке и обоснован алгоритм прогнозирования профессионального риска для профессиональной группы РПХ. Для расчетов использованы ведущие профессиональные факторы, дельта которых в качественном и количественном выражении сопоставима с показателями здоровья РПХ и способна влиять на их профнадежность.

Проведенные исследования позволили обосновать одновременное применение комплексного подхода и математического инструментария для оценки профессионального риска снижения (утраты) здоровья и/или профессиональной работоспособности РПХ с целью поддержания профессиональной надежности группы путевых работников.

Важным результатом работы стала возможность четкого разграничения индивидуальных факторов профессионального риска и определения укрупненных возрастно-стажевых групп РПХ, которым характерна высокая вероятность нарушения состояния здоровья. Результаты исследований позволяют дифференцировано планировать меры профилактики нарушений здоровья, что будет способствовать сохранению высокого уровня работоспособности и профессиональной надежности РПХ.

Исследование профессионального риска РПХ проводилось в несколько этапов. В начале исследования проведен анализ факторов производственной среды и организации трудового процесса. Выполнен анализ материалов, полученных в результате изучения условий труда РПХ, в том числе результатов действующей на текущий момент специальной оценки условий труда (далее — спецоценки) и производственного контроля состояния рабочих мест.

Количественная оценка индивидуального риска для различных веществ химического происхождения не проводилась для профессиональной группы РПХ. Это связано с особыми условиями, в которых РПХ выполняют должностные обязанности: ремонт железнодорожного полотна производится на открытых площадках, где движение воздушных масс обеспечивает снижение концентрации минеральных масел и бензина, поступающих в зону дыхания работников от машин и механизмов. Результаты спецоценки (ПДК указанных химических веществ находятся в пределах гигиенических нормативов) характеризуют вредность показателя химического загрязнения как «допустимую» [2].

Также выполнен расчет индивидуального риска возникновения и развития патологий, имеющих производственно-обусловленную этиологию, в группе РПХ.

Для оценки профессионального риска, формирующегося под влиянием физических факторов рабочей среды и организации трудового процесса использованы стандартные данные, полученные по результатам санитарно-гигиенических измерений параметров звуковой нагрузки, локальной вибрации, фактических климатических факторов и др. Измерения и установление классов условий труда РПХ проведены в соответствии с рекомендациями, приведенными литературными источниками [2].

В качестве наиболее значимых физических факторов рабочей среды у РПХ рассмотрены вибрация (локальная), звуковая нагрузка и микроклимат.

По параметрам вибрации определены:

- эквивалентный скорректированный уровень вибрации (локальной) по оси X 136,9 дБ ($136,9 \pm 0,67$) дБ, $K=2$ ($p=0,95$); расширенная неопределенность эквивалентного скорректированного уровня по оси X при доверительной вероятности $P=0,95$ с коэффициентом охвата K равным 2 — 0,67; эквивалентный скорректированный уровень по оси Y 135,4 дБ ($135,4 \pm 0,70$) дБ, $K=2$ ($p=0,95$); расширенная неопределенность эквивалентного скорректированного уровня по оси Y при доверительной вероятности $P=0,95$ с коэффициентом охвата K равным 2 — 0,70; эквивалентный скорректированный уровень по оси Z 134,0 дБ ($134,0 \pm 1,18$) дБ, $K=2$ ($p=0,95$); расширенная неопределенность эквивалентного скорректированного уровня по оси Z при доверительной вероятности $P=0,95$ с коэффициентом охвата K равным 2 — 1,18.

Итоговый класс условий труда РПХ, установленный по результатам гигиенических измерений — 3.4.

По параметрам звуковой нагрузки определены:

- эквивалентный уровень звуковой нагрузки за восьмичасовой рабочий день 96,0 дБ ($96,0 \pm 2,4$) дБ, $K=2$ ($p=0,95$); расширенная неопределенность при доверительной вероятности $P=0,95$ с коэффициентом охвата K равным 2 — 2,4 (норматив 80 дБА).

По параметрам звуковой нагрузки РПХ установлен класс условий труда — 3.2.

По микроклиматическим параметрам установлено:

- метеорологические факторы на открытых рабочих территориях отличны в зависимости от сезона года и климатических зон, где производятся работы и могут находиться в диапазоне от класса 3.1 до класса 3.2.

Тяжесть труда и его напряженность оценивались с учетом факторов, представленных на рис. 1.

Результаты значений, полученные при оценке указанных факторов, позволили установить, что класс условий труда РПХ по фактору тяжесть труда = 3.2 (вредные), по напряженности труда = 1 (оптимальные).

Составив табл. 1, авторы получили количественную оценку (в усл. ед.) фактических условий труда исследуемой профессиональной группы (РПХ).

На основании количественной оценки условий труда РПХ установлен интегральный уровень профессионального воздействия (далее — ИУПВ), используя который оценили профессиональный риск отдельно взятого представителя профессиональной группы РПХ.

Информация о степени влияния наиболее значимых факторов производственной среды РПХ представлена в табл. 2.

Для расчета ИУПВ применили возрастные коэффициенты K_{age} , полученные на основании информации о хронических патологиях, присущих группам РПХ разного возраста и данных о степени их распространенности среди путевых работников. В табл. 3 учтен коэффициент K_{age} для тех классов заболеваний, кото-



Рис. 1. Факторы трудового процесса, учтенные при оценке напряженности и тяжести труда РПХ

Таблица 1

Принципы оценки условий труда РПХ, усл. ед.

Класс условий труда	2	3.1	3.2	3.3	3.4	4
Условные единицы	0	1	2	3	4	5

Таблица 2

Результаты оценки условий труда монтера пути, усл. ед.

Наименование фактора	Класс (подкласс) условий труда	Оценка в условных единицах
Локальная вибрация	3.4	4
Шум	3.2	2
Климатические условия	3.2	2
Загрязнение воздуха рабочей зоны	2	0
Тяжесть трудового процесса	3.2	2
Напряженность трудового процесса	1	0

рые имеют наибольший удельный вес и занимают лидирующие позиции в исследуемой группе.

Для расчета интегрального воздействия вредных факторов производственной среды используем формулу:

$$K_{integr} = (F_1 t_1 + F_2 t_2 + \dots + F_n t_n) \cdot K_{age} \quad (1)$$

где K_{integr} — коэффициент интегрального воздействия факторов, обусловленных профессиональной средой, на отдельно взятого участника профессиональной группы РПХ, усл. ед.;

$F_1, F_2, \dots, F_n$ — уровень или степень воздействия отдельного фактора, обусловленного профессиональной средой, усл. ед.;

K_{age} — возрастной коэффициент;

$t_1, t_2, \dots, t_n$ — непрерывный рабочий стаж отдельного участника профессиональной группы РПХ (исчисленный в годах и/или годах и их долях).

В профессиональной группе работников ремонтно-путевого комплекса ведущими системами организма человека, считающимися «мишенями» для неблагоприятных факторов производственной среды, являются нервная, сердечно-сосудистая и костно-мышечная системы. Исходя из этого было составлено сочетание факторов профессионального риска и риска возникновения патологий для группы РПХ (см. рис. 2), на основании которого получен K_{integr} .

На завершающем этапе исследования установлено количественное соотношение между величиной воздействия вредных факторов производственной среды (экспозицией) и интенсивностью проявления (степенью выраженности) неблагоприятного эффекта от воздействия изучаемых факторов.

Используя корреляционно-регрессионный анализ, установим величину риска

$$[y = a_0 + a_1 x],$$

где $[y]$ — величина риска, требующая вычисления.

Важно, чтобы при составлении достоверного прогноза опасности воздействия профессиональных факторов на состояние здоровья РПХ соблюдалось условие — зависимость величины риска $[y]$ от меняющихся факториальных признаков $[K_{integr} - x]$. Факториальные признаки $[K_{integr} - x]$, использованные при составлении прогноза, варьировались в зависимости от изменения рабочего стажа РПХ и условий их работы (табл. 4).

Оценка корреляции между нарушениями здоровья и условиями работы по величине относительного риска RR выполнена в соответствии с полученными расчетными данными и табл. 5, характеризующей количественные показатели риска снижения или утраты профессиональной трудоспособности. В табл. 6 отображены результаты оценки.

Таблица 3

Возрастные коэффициенты K_{age} для расчета риска развития хронических заболеваний в группе РПХ

Класс заболеваний (болезней)	Возрастные группы (лет)			
	До 39	40–49 *	50 и выше	Уравнение регрессии: $y=f(x)$, где y — возрастной коэффициент; x — возраст (лет)
Все болезни	0,66	1	1,29	$y=0,02x+0,132; R^2=0,94$
Болезни нервной системы (нейросенсорная тугоухость)	0,55	1	1,05	$y=0,175x+0,138; R^2=0,87$
Болезни сердечно-сосудистой системы	0,45	1	1,45	$y=0,03x+0,34; R^2=0,97$
Болезни ОДА и периферической нервной системы (вибрационная болезнь)	0,92	1	1,07	$y=0,005x-0,794; R^2=0,84$

* — заболеваемость, характерная для возрастной группы 40–49 лет, была принята за единицу.



Рис. 2. Ведущие функциональные системы организма, испытывающие воздействие неблагоприятных условий труда в группе РПХ

Таблица 4

Результаты расчета K_{integr} монтера пути, усл. ед.

Фактор	Оценка	Стаж работы						
		10	15	20	25	30	35	40
Нейросенсорная тугоухость	6	33	90	139	150	189	220	252
Вибрационная болезнь	9	82	140	183	229	294	345	398
Патология сердечно-сосудистой системы	8	36	72	122	196	240	406	464

Таблица 5

Особенности относительного риска RR нарушений здоровья, обусловленного неблагоприятными условиями работы

Показатель	Условные единицы					
ИУВП	135	136–156	157–210	211–263	264–316	317 и выше
Величина риска	$0 < RR \leq 1$	$1 < RR \leq 1,5$	$1,5 < RR \leq 2$	$2 < RR \leq 5$	$3,2 < RR \leq 5$	$RR > 5$
Этиологическая доля фактора	$EF=0$	$EF < 33\%$	$EF=33-55\%$	$EF=51-66\%$	$EF=67-80\%$	$EF=81-100\%$
Качественная характеристика	Нулевая	Малая	Средняя	Высокая	Очень высокая	Почти полная

Таблица 6

**Результаты анализа риска снижения и/или утраты
профессиональной трудоспособности монтеров пути**

Фактор	Стаж работы, лет						
	10	15	20	25	30	35	40
Нейросенсорная тугоухость	Низкая вероятность		Вероятность 33%		Вероятность до 55%	Вероятность до 80%	
Вибрационная болезнь	Низкая вероятность	Вероятность 33%	Вероятность до 55%	Вероятность до 80%		Вероятность 100%	
Патология сердечно-сосудистой системы	Низкая вероятность			55%	Вероятность до 80%	Вероятность 100%	

Заключение

Установлено, что признаки вибрационной болезни у РПХ с вероятностью 33% появятся через 15 лет стажа работы в анализируемых условиях труда. У лиц, склонных к вегетососудистой дистонии, признаки вибрационной болезни могут появиться в более ранние сроки. При стаже 20 лет вероятность формирования вибрационной болезни составит 55%, после 25 лет воздействия вероятность составит 80%. Работа в течение 35 лет и больше с вероятностью 100% закончится тяжелой формой вибрационной болезни.

Проявления нейросенсорной тугоухости могут быть зарегистрированы на рубеже 20-летнего стажа. На протяжении увеличения стажа работы до 35 лет вероятность проявления нейросенсорной тугоухости увеличивается до 80%.

После 25 лет стажа у РПХ с вероятностью более 50% будут возникать проблемы с сердечно-сосудистой системой. При стаже более 35 лет вероятность патологии сердечно-сосудистой системы составляет 100%.

Предприятиям железнодорожного транспорта, занимающимся ремонтом и текущим содержанием железнодорожного пути (Центральной дирекции инфраструктуры, Центральной дирекции по ремонту пути), рекомендуется проводить профилактические мероприятия по оздоровлению условий труда РПХ и соблюдению требований промышленной гигиены и санитарии.



Литература

1. Р 2.2.1766-03. Руководство по оценке профессионального риска для здоровья работников. Организационно-методические основы, принципы и критерии оценки : утверждены. Главным государственным санитарным врачом РФ 24.06.2003 : [сайт]. - URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=364401&ysclid=m03ijwsygr733992177> (дата обращения: 21.08.2024). - Текст : электронный.
2. Р 2.2.2006-05. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда : утверждены Главным государственным санитарным врачом РФ 29.07.2005 : [сайт]. - URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=92758&ysclid=m03icf0uum377558426> (дата обращения: 21.08.2024). - Текст : электронный.
3. Р 2.1.10.1920-04. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду : (утверждены Главным государственным санитарным врачом РФ 05.03.2004 : [сайт]. - URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=85628&ysclid=m03ikmnr85876414860> (дата обращения: 21.08.2024). - Текст : электронный.
4. МосМР 2.1.9.004-03. Критерии оценки риска для здоровья населения приоритетных химических веществ, загрязняющих окружающую среду : утверждены Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 10 ноября 1997 года № 25 и Главного государственного инспектора РФ по охране природы от 10 ноября 1997 года № 03-19/24-3483 : [сайт]. - URL: <https://docs.cntd.ru/document/420276-120?marker> (дата обращения: 21.08.2024). - Текст : электронный.

ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОРАЗЛАГАЕМЫХ МОЮЩИХ, ДЕЗИНФИЦИРУЮЩИХ И ДЕЗОДОРИРУЮЩИХ СРЕДСТВ В ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫХ ТУАЛЕТНЫХ КОМПЛЕКСАХ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Обеспечение эколого-гигиенической безопасности железнодорожного транспорта является одной из важнейших задач для сохранения окружающей среды и здоровья людей. В статье рассмотрены средства дезинфицирующие с моющим и дезодорирующим действием — «БИОДЕЗЖТ» и «БИОДЕЗЖТ Active», применение которых обеспечит экологическую безопасность при эксплуатации экологически чистых туалетных комплексов.



В.А. Кочнев

Ключевые слова: экологически чистые туалетные комплексы (ЭЧТК), моюще- дезинфицирующие и дезодорирующие средства

EDN: VIRQKS

Экологическая безопасность железнодорожного транспорта является важным аспектом в современном мире. Она достигается за счет снижения негативного воздействия на экосистему и включает в себя комплекс мер, направленных на улучшение системы очистки сточных вод и утилизацию отходов. В соответствии с федеральным законом «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» от 30.03.1999 № 52-ФЗ (последняя редакция) и Стратегией развития железнодорожного транспорта в РФ до 2030 года необходимо повышение экологической безопасности железнодорожных перевозок, а также поставлена задача в оснащении (модернизации) объектов железнодорожного транспорта техническими средствами защиты. В рамках обеспечения экологической безопасности железнодорожного транспорта осуществляется постоянный контроль за выбросами загрязняющих веществ в атмосферу [1;2].

Ключевую роль в поддержании экологической устойчивости и сохранении водных ресурсов играет улучшение системы очистки сточных вод, проис-

ходящих от железнодорожной деятельности. Оно обеспечивается за счет использования специальных систем очистки, которые удаляют загрязнения и предотвращают попадание вредных веществ в окружающую среду. Этот процесс включает в себя контроль за соблюдением нормативов сброса сточных вод в природные водоемы. Для снижения объемов отходов и их негативного воздействия применяются меры по утилизации и переработке отходов железнодорожного транспорта. Опасность фекальных отходов пассажирских перевозок для окружающей среды и населения напрямую зависит от используемых технологий транспортных систем, а именно туалетных систем, используемых в железнодорожном подвижном составе и своевременного обеспечения их функционирования.

С 2001 года на железных дорогах ведется работа по оснащению пассажирского подвижного состава ЭЧТК. Доля вагонов, оснащенных ЭЧТК, составила 81,8% от приписного парка (по состоянию на 31 декабря 2022 г.) [3].

Кочнев Виктор Андреевич, соискатель кафедры «Техносферная безопасность» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: безопасность жизнедеятельности на транспорте, охрана труда. Автор 11 научных работ.

ЭЧТК на железных дорогах внедрили для улучшения экологической и эпидемиологической обстановки на железнодорожном транспорте. Они позволяют уменьшить загрязнение верхнего строения пути, снизить уровень заболеваемости работников путевого хозяйства и предоставить пассажирам возможность пользоваться туалетами не только в пути следования состава, но и на стоянках и в пределах санитарных зон. Одним из преимуществ ЭЧТК является сбор сточных вод в накопительном баке и последующая их утилизация.

Накопительные баки в ЭЧТК пассажирских вагонов играют важную роль в процессе обработки и утилизации отходов. Они предназначены для сбора и временного хранения фекальных отходов, которые затем должны быть переработаны. Однако без регулярной очистки и обслуживания накопительные баки могут стать источником неприятных запахов, бактерий и вредных химических веществ. Процессом откачки и обслуживания ЭЧТК занимаются бригады работников в соответствии с установленными стандартами безопасности и экологическими требованиями. Условия работы бригад обслуживания ЭЧТК характеризуются воздействием вредных и опасных факторов на сотрудников. В процессе откачки туалетных комплексов бригадами обслуживания в воздушную среду рабочей зоны выделяются аммиак и сероводород, а также антропоксины. Из антропоксинов и химических веществ наиболее значительное отрицательное влияние на человека оказывают диоксид углерода, аммиак, фенол, ацетон, оксид углерода, амины, спирты, жирные кислоты. Биологическое загрязнение воздушной среды представлено микроорганизмами — бактериями, плесенью, микроскопическими грибами. Очистка накопительных баков ЭЧТК является важным процессом, который должен проводиться регулярно в соответствии с инструкциями по удалению накопившихся отходов, промывке и дезинфекции бака. Для этого должны использоваться специальные средства и оборудование, которые помогают эффективно очистить баки от остатков и предотвратить размножение бактерий и других вредных микроорганизмов.

В настоящей статье рассмотрено одно из решений данной задачи. Обосновано использование средств дезинфицирующих с моющим и дезодорирующим действием — «БИОДЕЗЖТ» и «БИОДЕЗЖТ Active» (концентрат) производства ООО «ПолимерРус», предназначенных для обеззараживания, промывки и дезодорации баков-накопителей (металлических и полимерных), консервации отходов (биологический субстрат) в баках-накопителях ЭЧТК замкнутого типа.

Согласно техническим условиям №20.20.14–002–61693916–2023, №20.20.14–004–61693916–2023 (ТУ) [4;5] совместно со специалистами Всероссийского научно-исследовательского института гигиены транспорта Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека «ФГУП ВНИИЖГ Роспотребнадзора» выполнена работа по санитарно-гигиеническим, токсикологическим и экологическим исследованиям обеззараживающих средств — «БИОДЕЗЖТ» и «БИОДЕЗЖТ Active». Одними из основных критериев оценки «БИОДЕЗЖТ» и «БИОДЕЗЖТ Active» являлись химический состав, биоразлагаемость, антимикробная активность, токсичность.

Средства дезинфицирующие с моющим и дезодорирующим действием «БИОДЕЗЖТ» и «БИОДЕЗЖТ Active» представляют собой однородную прозрачную жидкость светло-желтого цвета без посторонних включений и осадка с выраженным запахом отдушки и выпускаются в виде концентрата на основе смеси аминоспиртов — $15,0 \pm 0,5\%$, ПГМГ-гидрохлорида — 10% , поверхностно-активного вещества (неонол), отдушки и функциональных добавок. Эти средства эффективны в отношении грамотрицательных и грамположительных бактерий, патогенных грибов рода *Candida*, *Trichophyton* (дерматофитов) и плесневых грибов, а также возбудителей внутрибольничных инфекций. «БИОДЕЗЖТ» и «БИОДЕЗЖТ Active» по параметрам острой токсичности, согласно классификации ГОСТ 12.1.007-76 при нанесении на кожу, при введении в желудок и ингаляционном воздействии относится к 4 классу малоопасных соединений. Определение моющей способности средства «БИОДЕЗЖТ Active» было проведено согласно ТУ 20.20.14-004-61693916-2023, которое показало, что средство обладает моющей способностью не менее 80% . Подготовленный состав удобен в применении, так как не требует специальной нейтрализации и утилизации, а также легко смывается водой. В результате лабораторных исследований установлено, что величина индекса токсичности рабочего раствора средства «БИОДЕЗЖТ Active» составляет $19,7\%$, что соответствует требованиям МР № 01.037–08 и СанПиН 1.2.3685-21 [6;7].

В таблице представлены результаты испытаний биоразлагаемости средств дезинфицирующих с моющим и дезодорирующим действием «БИОДЕЗЖТ» и «БИОДЕЗЖТ Active» (концентрат). По результатам которых можно сделать вывод о том, что данные средства относятся ко 2 классу (умеренно разлагаемые) по ГОСТ 32509.

Таблица

**Результаты испытаний биоразлагаемости средств дезинфицирующих
с моющим и дезодорирующим действием
«БИОДЕЗЖТ» и «БИОДЕЗЖТ Active» (концентрат)**

Наименование показателей	Ед. изм.	Норма	Результаты испытаний	Наименование оборудования и средств измерений	Обозначение НД на метод испытаний
1. Продолжительность индукционного периода – $T_{инд}$, при максимально недействующей концентрации образца в сточной воде, подаваемой в аэротенк с активным илом – МНКа (в ед. ХПК-мгО/л, по товарному продукту).	сут	–	9±1	Весы ЛВ 210А, св. № С-БД/16-05-2022/156485203 и гири калибровочная св. № С-БД/16-05-2022/156485202, поверены до 15.05.2023 г. Термометр ТЛ-2 № 739 поверен до 19.05.2023 г. Колориметр-фотозлектрический ФЭК-56М св. № С-БД/12-05-2022/156485120 поверен до 11.05.2023 г. Гигрометр психрометрический ВИТ-2 св. № С-БД/07-11-2022/199714162 до 06.11.2023 г. Барометр-анероид БАММ-1 св. № С-БД/07-11-2022/199714161 до 06.11.2023 г. Установка для определения биоразлагаемости ПАВ аттестат № 043658 до 29.05.2024 г.	ГОСТ 32509 п. 8.2.2
	мгО/дм ³	–	60		ГОСТ 32509 п. 8.2.1
2. Класс биоразлагаемости (по продолжительности индукционного периода, сут) 1 – быстро разлагаемые 2 – умеренно разлагаемые 3 – медленно разлагаемые 4 – чрезвычайно медленно разлагаемые	сут	≤ 3 > 3-10 ≤ > 10-25 ≤ > 25	2 (умеренно разлагаемые)		ГОСТ 32509 Приложение Б
3. Степень биоразложения неадаптированным активным илом за 28 сут: – полного (по общему органическому углероду); – первичного	% масс.	≥ 70 ≥ 80	95±3 не требуется		ГОСТ 32509 Приложение А

На основании проведенной дезинфектологической экспертизы и результатов санитарно-гигиенических, токсикологических исследований, согласно ТУ, средство дезинфицирующее с моющим и дезодорирующим действием «БИОДЕЗЖТ» и «БИОДЕЗЖТ Active» (концентрат), производства (ООО «ПолимерРус», Россия) соответствует Единым санитарно-эпидемиологическим и гигиеническим требованиям к продукции (товарам) и СП 2.5.3650-20 [8;9].

Выводы

По результатам комплексных испытаний установлено, что дезинфицирующие средства с моющим и дезодорирующим действием «БИОДЕЗЖТ» и «БИОДЕЗЖТ Active» соответствуют методическим рекомендациям МР 2.01-081/22 «Санитарно-гиги-

енические и противоэпидемические мероприятия по обеспечению безопасности при обслуживании туалетных комплексов замкнутого типа (ЭЧТК) подвижного состава железнодорожного транспорта» [10]:

- высокой степенью биоцидной активности (БА) в течение первых четырех суток;
- высокой степенью биоразлагаемости после четырех суток;
- низкой степенью токсичности в отношении активного ила очистных сооружений;
- антимикробной активностью в отношении грамотрицательных и грамположительных (включая микобактерии туберкулеза) микроорганизмов, плесневых грибов, возбудителей паразитарных болезней (цист и ооцист простейших, яиц и личинок гельминтов).



Литература

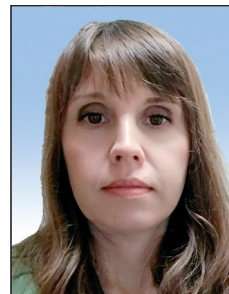
1. Российская Федерация. Законы. О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения : Федеральный закон от 30.03.1999 № 52-ФЗ (последняя редакция) : принят Государственной Думой 12 марта 1999 года : одобрен Советом Федерации 17 марта 1999 года // КонсультантПлюс [сайт]. - URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_22481/?ysclid=lwivlrunb1726602602 (дата обращения: 23.05.2024). - Текст : электронный.
2. Министерство транспорта Российской Федерации. Стратегия развития железнодорожного транспорта в РФ до 2030 года : утверждена Распоряжением Правительства РФ от 17 июня 2008 г. № 877-р [сайт]. - URL: <https://mintrans.gov.ru/documents/1/1010?ysclid=lwiv58ue8z240848369> (дата обращения: 23.05.2024). - Текст : электронный.
3. Годовой отчет АО «ФПК» за 2022 г. [сайт]. - URL: <https://ar2022.fpc.ru/ru> (дата обращения: 23.05.2024). - Текст : электронный.
4. Средство дезинфицирующее с моющим и дезодорирующим действием «БИОДЕЗЖТ» : ТУ 20.20.14-002-61693916-2023 : номер свидетельства RU.77.99.88.002.Е.002203.08.23. - Текст : непосредственный.
5. Средство дезинфицирующее с моющим и дезодорирующим действием «БИОДЕЗЖТ Active» (концентрат) : ТУ 20.20.14-004-61693916-2023 : номер свидетельства RU.77.99.88.002.Е.002587.09.23. - Текст : непосредственный.
6. МР № 01.037—08. Методические рекомендации. Экспресс-метод токсиколого-гигиенической оценки моющих средств с помощью люминесцентного бактериального теста. Методические рекомендации разработаны ФГУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в г. Москве» (Н. В. Завьялов, С. И. Ключкова, Е. Л. Скворцова), МГУ им. М.В. Ломоносова (В. С. Данилов, Т. П. Юдина) : утверждено Главным врачом ФГУЗ «Федеральный центр гигиены и эпидемиологии» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека ; Председатель Лабораторного Совета Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека А. И. Верещагин 20.11.2008. - Москва : Федеральное государственное учреждение здравоохранения «Федеральный центр гигиены и эпидемиологии» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2008. - 17 с. - Текст : непосредственный.
7. СанПиН 1.2.3685-21. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания : издание официальное : утвержден Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 28.01.2021. № 2 : введен 01.03.2021. - Текст : электронный // Консорциум Кодекс [сайт]. - URL: <https://docs.cntd.ru/document/573500115?ysclid=lwizqgk8yx432292012> (дата обращения: 23.05.2024).
8. Единые санитарно-эпидемиологические и гигиенические требования к продукции (товарам), подлежащей санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю) (с изменениями на 14 ноября 2023 года) (редакция, действующая с 27 февраля 2024 года). - Текст : электронный // Консорциум Кодекс [сайт]. - URL: <https://docs.cntd.ru/document/902249109?ysclid=lwizlk08cb702464392> (дата обращения: 23.05.2024).
9. СП 2.5.3650-20. Свод правил. Санитарно-эпидемиологические требования к отдельным видам транспорта и объектам транспортной инфраструктуры : утвержден Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 16.10.2020. № 30 : введен 01.01.2021. - Текст : электронный // Консорциум Кодекс [сайт]. - URL: <https://docs.cntd.ru/document/566406892?ysclid=lwizw4rs9354023964> (дата обращения: 23.05.2024).
10. 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.

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ В ЦЕЛЯХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ РАБОТНИКОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

В статье проводится оценка возможностей использования интернета вещей в целях обеспечения безопасности работников железнодорожного транспорта. Использование возможностей интернета вещей даст дополнительный инструмент совершенствования системы безопасности руководству ОАО «РЖД» на основе количественной информации об условиях труда работников, их физическом и психологическом благополучии.

Ключевые слова: техносферная безопасность, нестационарное рабочее место, санитарно-бытовое обеспечение, условия труда

EDN: ХТЕОВЗ



Д.В. Климова



В.В. Самойлов

Современные условия глобализации производственных процессов требуют максимального повышения производительности предприятий, а также их работников. В этой связи большое внимание уделяется использованию технологических инноваций в системах управления крупных компаний, осуществляются действия по стратегической и тактической оптимизации ресурсов. Внедрение сложных решений в организации систем безопасности — дело достаточно трудоемкое и дорогостоящее. Следует учесть, что цифровизация производственных систем проходит в условиях динамично-непрерывных технологических процессов; в условиях ограниченных материальных и информационных ресурсов.

Многие профессии транспортного комплекса достаточно сложны с точки зрения обеспечения без-

опасности и соблюдения требований охраны труда. Недостатки в организации условий труда на рабочих местах приводят к несчастным случаям на производстве, преждевременным профессиональным заболеваниям работников, и, как следствие, к снижению работоспособности, преждевременному уходу или выходу на пенсию работников. При всем этом в настоящее время многие предприятия Российской Федерации испытывают острую нехватку в квалифицированных работниках. Согласно [2] в 2022 году в ОАО «РЖД» насчитывалось 75,7 тыс. рабочих мест с вредными условиями труда. Основное внимание уделено мероприятиям по улучшению условий труда согласно рис. 1. Статистика ОАО «РЖД» показывает, что несмотря на серьезные размеры средств, вкладываемых в улучшение условий и охраны труда, прийти

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

Самойлов Вадим Вадимович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Техносферная безопасность» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: охрана труда, специальная оценка по условиям труда, профессиональные заболевания. Автор 12 научных работ.

к требуемым согласно концепции Vizion Zero нулевым показателям травматизма и смертельных случаев до сих пор не удается. Развитие интернета вещей и сопутствующих технологий (например, мобильных технологий, различных типов датчиков) открывает возможности для повышения безопасности и контроля санитарных и гигиенических условий труда в сложных условиях постоянной динамической работы работников ОАО «РЖД».

В современной стратегии управления ОАО «РЖД» много внимания уделяется роли человеческого фактора в производственной системе. При этом сама производственная система рассматривается как сложная социально-техническая система. Инциденты в сложных системах возникают в результате взаимодействий между элементами системы, будь то человек-оператор или технологические составляющие. Данный взгляд на оценку систем является основой системной оценки рисков технических и социальных систем. Он необходим в силу реальной сложности организации и устройства систем, а также необходимости всестороннего учета огромного количества факторов на этапах проектирования и планирования общей взаимосвязи систем. Для полноценного управления подобными системами необходимо иметь «ключики» оценки, т.е. информацию о параметрах и характеристиках элементов данных систем.

В транспортной отрасли традиционно большое внимание уделяется мониторингу самих транспортных процессов, в то время как безопасности уделяется много внимания, но не рассматриваются многие вопросы, связанные с перемещением работников в рабочем процессе и их местоположением. Производственные процессы ОАО «РЖД» включают в себя различные инженерные объекты и сложные технологические процессы. Сверхсложный механизм холдинга «РЖД» функционирует по единому графику с различными действиями и разной продолжительностью, заданной для каждой задачи, а также с использованием различных наборов компетенций персонала и его функциональных обязанностей. Соответственно, транспортным процессам присущи и динамично изменяющиеся параметры безопасности, образующие сложную взаимосвязь между различными показателями. Оценить параметры безопасности человека до сих пор остается очень сложной, порой даже невозможной задачей. Особенно, когда речь заходит о динамически изменяющихся условиях работы на нестационарных рабочих местах, которые не достаточно оценить одним только измерением освещенности и спектра шума на определенных частотах на рабочем месте. Привычные технологии контроля, даже с помощью отчетов в системах автоматизации ОАО «РЖД» сопровождаются рядом сложностей в отслеживании,



Рис. 1. Перечень основных мероприятий, направленных на улучшение условий труда [2]

при этом не учитывается динамичный характер работ на нестационарных рабочих местах. Необходимо дополнить данные, которые представляет современная система оценки условий труда, динамическими параметрами безопасности. Работам с тяжестью труда класса 3.2 и выше, таким как, монтер пути, осмотрщик вагонов, оператор дефектоскопной тележки, следует уделять более пристальное внимание.

Интернет вещей может обеспечить поддержку принятия решений в управленческой деятельности в режиме реального времени и повысить производительность работников. Это возможно, если работники смогут, например, использовать датчики, их поведение станет частью информационного потока. Необходимо подробно оценивать факторы физиологического состояния работников, цепочку возникновения повышенной усталости и утомляемости на рабочих местах, возникающие трудовые и психологические проблемы, которые могут мешать работнику в выполнении его трудовых обязанностей. Например, следует учитывать, что работники в возрасте более склонны к переутомлению, снижаются их возможности в объеме и уровне физической работы. В случае, если возникает текучка кадров, необходимо

больше внимания уделять контролю местоположения работников, выполняемым в течение рабочего дня обязанностям, т.е. чем и как они заняты в каждый конкретный момент рабочего процесса. Для выявления первопричин возникающих в работе инцидентов необходимо отслеживать все факторы, которые могут повлиять на работника и привести к нарушению его работоспособного состояния (рис. 2).

Трудовая (физическая) нагрузка работника в рабочем процессе напрямую влияет на его производительность, а также на показатели безопасности. Увеличение физической нагрузки (рис. 3) может негативно повлиять на безопасное поведение работника и соблюдение требований инструкций.

Сбор данных позволит анализировать взаимосвязь между производительностью и безопасностью (рис. 4). Для оценки производительности и безопасности можно применить выборки статистики производительности и поведения работников в целях обеспечения безопасности.

Комплексная оценка состояния работника требует понимания возможных отклонений в состоянии работников от нормального (здорового) путем постоянного мониторинга параметров здоровья работника.

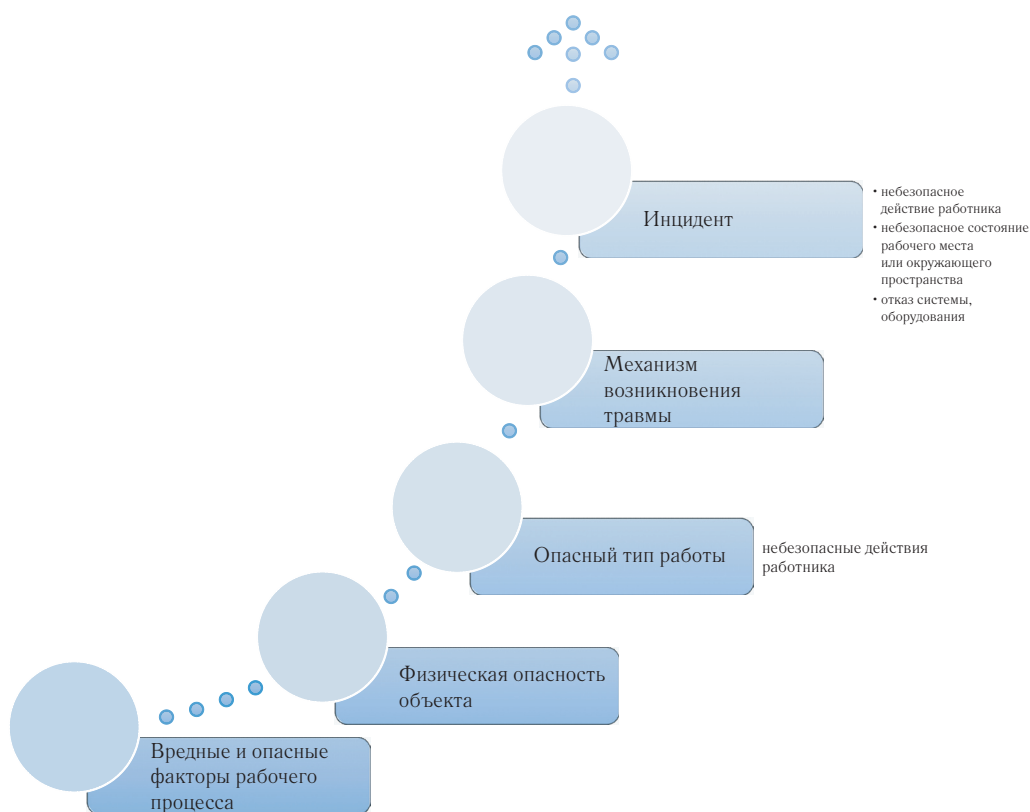


Рис. 2. Выявление первопричин инцидента

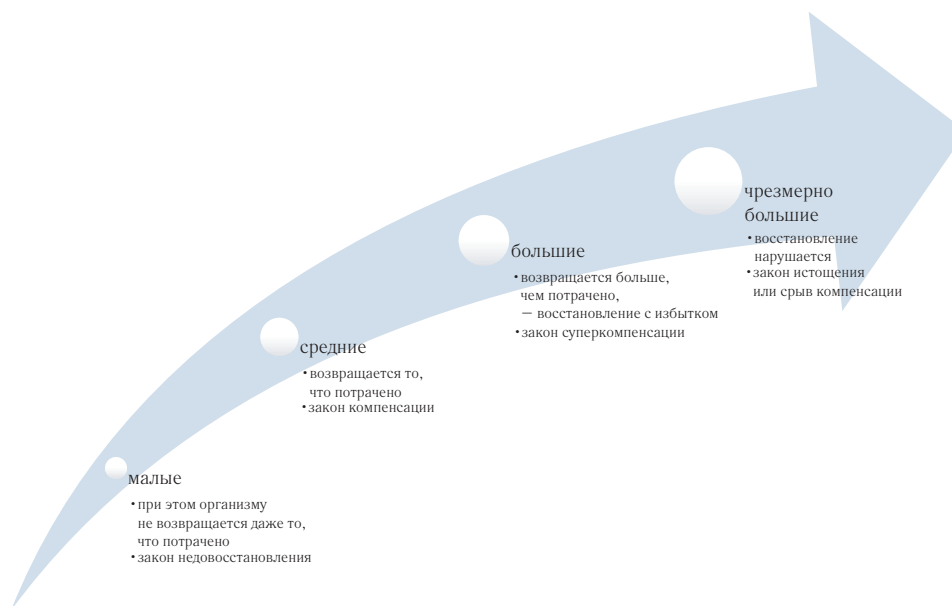


Рис. 3. Уровни трат ресурсов



Рис. 4. Исследовательские гипотезы

Необходимо принимать во внимание факторы, которые могут влиять на физиологические показатели работников, контролируя частоту сердечных сокращений, учитывая заболевания работника, его психологическое состояние, принимаемые им лекарства и т.п. Нагрузка на мышцы рук и ног напрямую влияет на пульс, что важно при наблюдении за физиологическим состоянием при тяжелых физических работах, например, монтеров пути. Но нельзя забывать, что даже самые обычные работы имеют динамический характер, в котором ритмически чередуются сокращения и

расслабления мышц. При регистрации частоты сердечных сокращений, должно быть понимание нагрузки на мышцы работника, задействованные группы мышц и влияния нагрузки на утомляемость работника.

Но и психологические факторы способны влиять на состояние работника и его пульс. Это могут быть стресс, усталость, отношение к выполняемой работе (положительное или отрицательное), страх. Согласно медицинским исследованиям, умственная нагрузка может вызывать увеличение частоты сердечных сокращений в момент отдыха или при низких

уровнях физической нагрузки. Потребление пищи, кофе, энергетических напитков, алкоголя и курение также влияет на сердцебиение. Мониторинг только частоты сердечных сокращений не сможет показать, что именно в данный момент больше влияет на работника. Поэтому полноценная оценка физиологического состояния работника требует более сложного отслеживания, в том числе с использованием датчиков движения и наклонов.

Анализируя исследования, проводимые в данном направлении на настоящий момент, можно сделать вывод, что большинство исследований уделяет мало внимания вопросам безопасности транспортных процессов с учетом человеческого фактора [5–8]. Разработанные модели эргономического анализа позволяют проводить анализ рисков рабочего процесса: системы анализа рабочих поз, вызывающих повышенную утомляемость [9–11]. В других исследованиях предлагаются методы анализа статической и динамической нагрузки [12;13], комплексного эргономического анализа [14–17], оценки времени загрузки работников, оценки риска в результате совместного влияния факторов опасности [18;19]. Специализированные методы анализа с использованием оборудования для биомедицинского и биомеханического анализа позволяют измерять величины мышечной нагрузки для определенных мышц [20]. Созданы таблицы эргономического анализа, таблицы рисков для различных видов деятельности, позволяющие оценить относится ли выполняемая работником задача к зоне опасности, в зависимости от продолжительности и частоты воздействия и совместного влияния факторов опасности. При этом недостаточно детально разработан аппарат для оценки влияния физических нагрузок конкретных частей тела, оценки корреляции влияния воздействующих опасностей и реакции организма работника. Несмотря на широкое применение, многие методы не позволяют полноценно

учитывать, например, влияние вибрации на работников, недостаточность перерывов в работе, дополнительных физических нагрузок, факторов окружающей среды, таких как холод, повышенная влажность.

Для обнаружения опасностей, связанных с состоянием и действием работников, используются многочисленные типы датчиков, в том числе акселерометры, гироскопы, датчики ЭКГ, инфракрасные датчики и RFID-метки. Также отслеживаются условия на рабочих местах, вблизи работника с помощью, например, обнаружения сближения с помощью датчиков приближения на основе Bluetooth-технологий, обнаружения небезопасных мест с помощью систем видеонаблюдения и Глонасс/GPS, предотвращения столкновений с помощью радиочастотных передатчиков и ультразвуковых датчиков. Существует множество методик использования датчиков, они могут быть интегрированы в защитную одежду работников, средства индивидуальной защиты, в том числе каски и перчатки. Разработка данных технологий последние десятилетия ведется семимильными шагами, многие решения и пилотные проекты сосредоточены на измерениях показателей состояния работников согласно рис. 5 и рабочей зоны согласно рис. 6. С точки зрения технологий этот вопрос достаточно продуман, стоимость подобных устройств уже не является заоблачной и вполне доступна.

Как и традиционно, работников необходимо обучать избегать небезопасные действия и маршруты передвижения. Цифровые датчики в режиме реального времени позволят обеспечить стабильный информационный поток о параметрах состояния работников. За счет этого становится возможным разработка огромного количества приложений и сервисов внутреннего информационного пространства ОАО «РЖД». Использование интернета вещей позволит добиться совершенствования функций системы управления безопасностью согласно рис. 7.

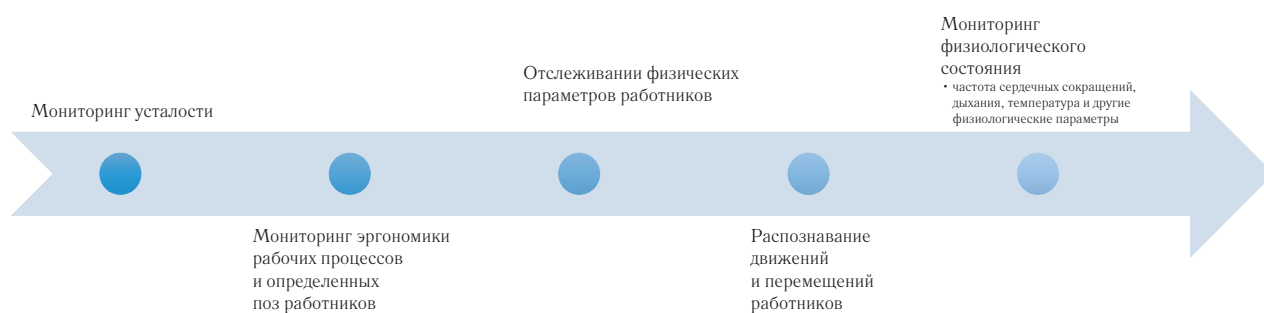


Рис. 5. Разработанные измерения состояния работников

Управление и мониторинг безопасности рабочих зон

- технологии зондирования и предупреждения с помощью датчиков, отслеживания и определения местоположения (RTLS, RFID, Глонасс/GPS, GIS, Bluetooth и WLAN).

Предупреждение о вторжении и обнаружение близости опасности

- обнаружение присутствия работников и третьих лиц в режиме реального времени при штатном функционировании и во время опасных ситуаций, системы предупреждения работников о жаркой и влажной среде

Мониторинг состояния конструкций

- Structural Health Monitoring (SHM)
- мониторинг повреждений и оценки износа
- мониторинг и оценка состояния конструкций (например, мостов, автомобильных магистралей)

Определение местоположения и отслеживания ресурсов

- система локального позиционирования в реальном времени (RTLS)
- технологии отслеживания (например, рабочих, материалов и оборудования)

Рис. 6. Основные направления измерений состояния рабочих зон



Рис. 7. Возможности интернета вещей

Внедрение любых изменений в компании, особенно такой крупной как ОАО «РЖД», — затяжной и трудоемкий процесс. Возникает множество вопросов со стороны работников и неприятие необходимости подобного отслеживания с помощью цифровых технологий. Людям кажется, что будет нарушена их конфиденциальность. Разберемся в факторах, которые могут способствовать внедрению инновационных технологий.

Работники зачастую считают, что работодатели проводят проверки и измерения для оценки качества и количества их работы. В случае внедрения цифровых технологий срабатывает некий страх, что работодатель будет использовать технологии не для защиты здоровья работника и его безопасности, а для полного

контроля работников и выполнения ими трудовых обязанностей с нарушением прав и свобод работников. Такое сопротивление нововведениям и изменениям подчеркивает необходимость детального изучения и широкого разъяснения возможностей повышения безопасности и позитивного влияния внедрения технологий с точки зрения работников ОАО «РЖД».

Внедрение технологий напрямую зависит от доверия людей. Технологическое доверие можно определить как веру в то, что данная технология может помочь человеку в достижении его целей в ситуациях, когда человеку это удобно, может облегчить его труд или когда он уязвим, не знает как поступить. На формирование доверия влияет множество факторов. В быту многие практически полностью при-

выкли к самостоятельному отслеживанию повседневной деятельности с помощью датчиков: давления сна, стресса и различных видов нагрузок с помощью тонометров, глюкометров, смарт-часов, электронных зубных щеток. Забывая о конфиденциальности люди добровольно передают свои данные через интернет для оценки параметров своего здоровья. Можно сказать, что люди более привержены самоконтролю, когда инструмент самоконтроля предоставляет значимую и легкую для понимания информацию и дает обратную связь в режиме реального времени.

Аналогично, на уровне внедрения инновационных технологий в рабочие процессы ОАО «РЖД» могут препятствовать соображения безопасности, анонимности и конфиденциальности персональных данных работников. Необходимо разработать соответствующие анкеты и провести опросы работников ОАО «РЖД». Работники будут более положительно настроены к использованию данных, если будут понимать, каким образом данные технологии могут помочь выявить опасности для личного здоровья, повысить безопасность труда свою и коллег. Прозрачность данных также может повысить доверие. Работники должны иметь возможность видеть собранные данные, а также результаты их использования, то как они влияют и могут повлиять на безопасность. Принятию технологий среди работников можно способствовать, активно привлекая их к разработке идей совершенствования систем безопасности, проектированию и разработке мобильных приложений в данном направ-

лении. Сформированность модели доверия к цифровым технологиям можно оценить по трем группам параметров (рис. 8).

Федеральное законодательство [2] требует законных оснований для сбора и обработки информации от работников в процессе мониторинга. На рис. 9 перечислены основные требования к сбору и обработке информации от работников.

Необходимо добиться повышения понимания и формирования положительного отношения работников ОАО «РЖД» к решениям по обеспечению безопасности работников на основе Интернета вещей. Создается возможность разработать систему, ориентированную на безопасность и комфорт работников, на основе сбора данных с помощью соответствующих инновационных систем и измерения параметров условий труда работников. В единое информационное пространство можно интегрировать различные персональные данные работников, данные о рабочих местах и рабочем процессе, которые ранее были разрознены и не поддавались обобщенному наблюдению. Измеряемые данные в режиме реального времени с использованием виртуальной и дополненной реальности, моделирования и симуляции рабочих мест, технологических процессов могут дать простор для оценки предложений по совершенствованию систем безопасности. Собранные данные можно использовать при оценке безопасности и эргономики рабочих мест, проектировании новых рабочих мест, оценке производительности труда.



Рис. 8. Параметры формирования доверия к цифровым технологиям

Согласие

- согласие на то, чтобы данные и личные данные работников будут использованы в определенных целях

Контракт

- возможность мониторинга должна быть прописана при заключении контракта с работником

Юридические обязательства

- обработка данных необходима для соблюдения требований законодательства

Жизненные интересы

- обработка данных необходима для защиты здоровья и жизни работников в технологических и рабочих процессах в штатных условиях и при возникновении инцидентов

Общественная задача

- обработка данных необходима для выполнения задачи в общественных интересах или для выполнения функций рабочего процесса

Законные интересы

- обработка информации в целях интересов работников или интересов третьих лиц, если не нарушаются права работников

Рис. 9. Требования к сбору и обработке информации от работников

Литература

1. Российская Федерация. Законы. Об информации, информационных технологиях и о защите информации № 149-ФЗ (последняя редакция : принят Государственной Думой 8 июля 2006 года : одобрен Советом Федерации 14 июля 2006 года Федеральный закон от 27 июля 2006 г. : [сайт]. - URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_61798/?ysclid=lbz5gv6az411021638 (дата обращения : 01.08.2024). - Текст: электронный.
2. Отчет ОАО «РЖД» об устойчивом развитии за 2022 год : [сайт]. - URL : <https://company.rzd.ru/ru/9386/page/103290?id=17643> (дата обращения: 05.04.2024). - Текст : электронный.
3. Климова, Д. В. Особенности обеспечения безопасных условий труда на нестационарных рабочих местах работников железнодорожного транспорта / Д. В. Климова. - Текст : непосредственный // Наука и техника транспорта. - 2024. - № 1. - С. 88-96. - EDN: UGXADB.
4. Подход к обработке параметров безопасности в системах поддержки принятия решений / А. А. Петров, Д. В. Климова, О. В. Дружинина, О. Н. Масина. - Текст : непосредственный // Прикладные проблемы системной безопасности : материалы Всероссийской конференции с международным участием, Елец, 21-22 сентября 2023 года. - Елец: Елецкий государственный университет имени И. А. Бунина, 2023. - С. 60-63. - EDN: JAONRC.
5. Гулый, И. М. Технологии интернета вещей (IoT) в транспортном комплексе и их экономические последствия / И. М. Гулый. - Текст : непосредственный // Экономические науки. - 2020. - № 193. - С. 216-219. - DOI: 10.14451/1.193.216. - EDN: YDQMNM.
6. Рахманова, М. А. Интернет вещей на железнодорожном транспорте / М. А. Рахманова. - Текст : непосредственный // История и перспективы развития транспорта на севере России. - 2020. - № 1. - С. 100-102. - EDN: SLAGVX.
7. Войнова, Д. А. Концепция интернета вещей в сфере транспорта / Д. А. Войнова, Я. М. Зиновьев, А. А. Войнов. - Текст : непосредственный // Инновации технических решений в машиностроении и транспорте : сборник статей XI Всероссийской научно-технической конференции молодых ученых и студентов с международным участием, Пенза, 16 - 17 марта 2023 г. - Пенза: Пензенский государственный аграрный университет, 2023. - С. 97-99. - EDN: OELJON.

8. Леонтович, А. С. Интернет вещей на железной дороге необходимо использовать в связке с другими технологиями / А. С. Леонтович : [сайт]. - URL: <https://www.rzd-partner.ru/zhd-transport/interview/internet-veshchey-na-zheleznoy-doroge-neobkhodimo-ispolzovat-v-svyazke-s-drugimi-tekhnologiyami/> (дата обращения: 11.04.2024). - Текст : электронный.
9. Lee, W., Seto, E., Lin, K. Y., & Migliaccio, G. C. An evaluation of wearable sensors and their placements for analyzing construction worker's trunk posture in laboratory conditions // *Applied ergonomics*. - 2017. - V. 65. - pp. 424-436. - DOI : <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2017.03.016>.
10. Yantao Yua, Heng Lia, Xincong Yanga, Liulin Kongb, Xiaochun Luo, Arnold Y.L. Wongc An automatic and non-invasive physical fatigue assessment method for construction workers // *Automation in Construction*. - 2019. - V. 103. - pp. 1-12. - DOI : <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.02.020>.
11. Susan Burt, Laura Punnett Evaluation of interrater reliability for posture observations in a field study // *Applied Ergonomics*. - 1999. - V. 30. - pp. 121-135. - DOI : [https://doi.org/10.1016/S0003-6870\(98\)00007-6](https://doi.org/10.1016/S0003-6870(98)00007-6).
12. Mario Lušić, Christian Fischer, Jochen Böning, Rüdiger Hornfeck, Jörg Franke Worker information systems: State of the art and guideline for selection under consideration of company specific boundary conditions // 48th CIRP Conference on MANUFACTURING SYSTEMS (CIRP CMS 2015). - 2016. - V. 41. - pp. 1113-1118. - DOI : <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.12.003>.
13. Umberto C. Gatti, Giovanni C. Migliaccio, Suzanne Schneider, Rafael Fierro Assessing physical strain in construction workforce: A first step for improving safety and productivity management // 27th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC 2010). - Bratislava, ISARC, 2010. - pp. 255 - 264. - DOI : <https://doi.org/10.22260/ISARC2010/0027>.
14. Ndukeabasi Inyang, Mohamed Al-Hussein, Marwan El-Rich, Saad Al-Jibouri Ergonomic Analysis and the Need for Its Integration for Planning and Assessing Construction Tasks // *Journal of Construction Engineering and Management*. - 2012. - V. 138. - Issue 12. - DOI : [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000556](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000556).
15. Kati Kõrbe Kaare, Tauno Otto Smart Health Care Monitoring Technologies to Improve Employee Performance in Manufacturing // 25th DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation (DAAAM 2014). - Procedia - engineering, 2015. - pp. 826-833. - DOI : <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.01.437>.
16. Juha Häikiö, Johanna Kallio, Satu-Marja Mäkelä, Janne S. Keränen, IoT-based safety monitoring from the perspective of construction site workers // *International Journal of Occupational and Environmental Safety*. - 2020. - V. 4. № 1. - DOI : https://doi.org/10.24840/2184-0954_004.001_0001.
17. T. C. Haupt, M. Akinlolu, M. T. Raliile. Applications of digital technologies for health and safety management in construction // *Proceedings of the 8th World Construction Symposium*. - Colombo, Sri Lanka, 2019. - pp. 88 - 97. - DOI : <https://doi.org/10.31705/WCS.2019.9>.
18. Tao Cheng, Jochen Teizer, Giovanni C. Migliaccio, Umberto C. Gatti Data Fusion of Real-Time Location Sensing and Physiological Status Monitoring for Ergonomics Analysis of Construction Workers // *Journal of Computing in Civil Engineering*. - 2012. - V. 27. - Issue 3. - DOI : [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000222](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000222).
19. S.M. ASCE Yantao Yu, Heng Li, Waleed Umer, Chao Dong, Xincong Yang, Automatic Biomechanical Workload Estimation for Construction Workers by Computer Vision and Smart Insoles // *Journal of Computing in Civil Engineering*. - 2019. - V. 33. - Issue 3. - DOI : [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000827](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000827).
20. Hakan Sporrang, Leif Sandsjö, Roland Kadefors, Peter Herberts Assessment of workload and arm position during different work sequences: A study with portable devices on construction workers // *Applied Ergonomics*. - 1999. - V. 30. - pp. 495-503. - DOI : [https://doi.org/10.1016/S0003-6870\(99\)00016-2](https://doi.org/10.1016/S0003-6870(99)00016-2).

ОБЕСПЕЧЕНИЕ САНИТАРНО-ГИГИЕНИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ ЛОКОМОТИВНОЙ ТЯГИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МЕТАЛЛОПОЛИМЕРНЫХ ТРУБ



Д.В. Гречушникова



Н.Н. Попова

Представлены физико-химические свойства и преимущества труб напорных металлополимерных; программа и методика исследований труб напорных металлополимерных; результаты санитарно-химических исследований в модельных условиях. Результаты, полученные в ходе исследований, позволяют сделать заключение о возможности применения исследуемых труб напорных металлополимерных в системе водоснабжения пассажирских вагонов локомотивной тяги.

Ключевые слова: пассажирские вагоны локомотивной тяги, холодное и горячее водоснабжение, трубы напорные металлополимерные

EDN: XYXMLD

Система водоснабжения пассажирского вагона является одной из самых важных технических систем управления качеством водоподготовки.

Качество воды в заправочных колонках по санитарно-химическим и микробиологическим показателям должно соответствовать требованиям СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». При заправке вагона водой на станции возникают риски загрязнения системы водоснабжения вагона из-за нарушения правил хранения и эксплуатации наливных шлангов. Система водоснабжения вагона включает в себя баки для хранения запаса воды, расположенные с двух сторон в верхней части вагона, разводящие трубопро-

воды, разбрызгиватели и сливные вентили и краны. Заправка водой (ее поступление в баки) осуществляется снизу вагона через заправочные патрубки, которые подсоединены к наливному шлангу водоразборной колонки на станционных путях.

Основным и наиболее вероятным путем попадания микроорганизмов в систему водоснабжения вагона являются наливные трубы, не имеющие защиты от внешней среды.

Система водоснабжения должна быть оборудована установкой обеззараживания воды и подлежать дезинфекции не реже одного раза в год (п.4.5.12, 4.5.13 СП 2.5.3650-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к отдельным видам транспорта и объектам инфраструктуры», МР 2.5.0245-21 «Методические рекомендации по обеспечению санитарно-эпидеми-

Гречушникова Дария Викторовна, старший научный сотрудник лаборатории коммунальной гигиены и эпидемиологии отдела медико-биологических исследований ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт гигиены транспорта» (ВНИИЖГ Роспотребнадзора). Область научных интересов: охрана труда, техносферная безопасность, санитарно-гигиенические исследования системы водоснабжения пассажирских вагонов локомотивной тяги. Автор 16 научных работ.

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

ологических требований к отдельным видам транспорта и объектам транспортной инфраструктуры»), а также при выявлении в рамках производственного контроля несоответствия питьевой воды требованиям, установленным в СанПиН 1.2.3685-21.

В лаборатории коммунальной гигиены и эпидемиологии ФГУП ВНИИЖГ Роспотребнадзора проведены испытания образцов труб напорных металлополимерных марки (РЕ/Хс) с целью применения их в системе водоснабжения пассажирских вагонов.

Образцы труб состоят из пяти слоев (рисунок):

- внутреннего утолщенного слоя основной трубы, выполняющего несущие и прочностные функции, изготовленного из полиэтилена, сшитого электронно-лучевым методом (РЕ/Хс);
- алюминиевой трубы со швом, сваренным впри-
тык лазером, являющейся барьерным слоем с низкой кислородопроницаемостью и выполняющей антидиффузионную и стабилизирующую функции;
- наружного слоя полиэтилена (РЕ) белого цвета, защищающего трубу от ультрафиолета и механических повреждений;
- клеевых слоев (адгезивы), находящихся между алюминиевым и полимерными слоями.

В табл. 1 представлены физико-механические свойства труб напорных металлополимерных из сшитого полиэтилена с наружным барьерным слоем РЕ/Хс.

Основными преимуществами труб напорных металлополимерных из сшитого полиэтилена с наружным барьерным слоем РЕ/Хс являются:



*Рисунок. Схема слоев трубы напорной
металлополимерной из сшитого полиэтилена
с наружным барьерным слоем РЕ/Хс*

- высокая стойкость к температурам (до 95°C) и механическим нагрузкам (стойкость к гидравлическим ударам);
- отсутствие коррозии;
- высокая гибкость, стойкость к перегибам;
- повышенная стабильность трубопроводов;
- повышенная стабильность труб, обладающих «эффектом памяти».

Для проведения гигиенической оценки материалов, используемых в трубах, необходимо провести санитарно-химические исследования состава веществ,

Таблица 1

**Физико-механические свойства труб напорных металлополимерных
из сшитого полиэтилена с наружным барьерным слоем РЕ/Хс**

Наименование параметра	Величина параметра	
Номинальный наружный диаметр, мм	16	20
Внутренний объем, дм ³ /м	0,106	0,163
Теплопроводность, Вт/(м · К)	0,35	0,35
Коэффициент линейного расширения, мм/(м · К)	0,2	0,2
Шероховатость поверхности, мм	0,015	0,015
Минимальный радиус изгиба при 20°C, мм	80	100
Плотность, г/см ³	0,94	0,94
Максимальная рабочая температура, °С, при давлении 3 бар	95	95
Максимальное рабочее давление, бар, при температуре теплоносителя 70°C	10	10

Таблица 2

Условия проведения исследований образцов труб напорных металлополимерных

№ п/п	Наименование систем водоснабжения	Временные экспозиции				
		1 час	2 часа	10–12 часов	3 суток	7 суток
1	Горячее водоснабжение (75–80°C)	+	+	–	–	–
2	Горячее водоснабжение (50–75°C)	–	–	+	–	–
3	Холодное водоснабжение (18–20°C)	–	–	+	+	+

Примечание. «+» – проводилась оценка; «–» – не проводилась оценка.

мигрирующих в водную среду из образцов труб при различных температурно-временных режимах холодного и горячего водоснабжения в соответствии с условиями, указанных в табл. 2.

Исследования проводились в лабораторных условиях в соответствии с Методическими указаниями МУ 2.1.4.2898-11 «Санитарно-эпидемиологические исследования (испытания) материалов, реагентов и оборудования, используемых для водоочистки и водоподготовки» по органолептическим, интегральным показателям и мигрирующим веществам из материалов, контактирующих с питьевой водой (никель, медь, свинец, хром и т.д.).

Отбор проб и анализы проводились после каждой экспозиции, указанной в программе испытаний, на соответствие требованиям СанПиН 1.2.3685-21. Образцы труб перед проведением исследований визуально осматривались на влияние поверхностных дефектов: разрывов, трещин и царапин. Исследования проводились в трехкратной повторности.

Методика исследования образцов труб для использования в системах холодного водоснабжения

Подготовленные образцы промывались в лабораторных условиях проточной водопроводной водой в течение часа, 2 раза дистиллированной водой (методом залива), заполнялись модельной средой (дистиллированная вода), герметично закрывались и выдерживались:

- образец трубы №1 – 12 часов (при температуре 18–20°C);
- образец трубы №2 – 3 суток (при температуре 18–20°C);
- образец трубы №3 – 7 суток (при температуре 18–20°C).

Модельная среда из образцов труб подвергалась химическим исследованиям. Полученные усредненные результаты по интегральным показателям (перман-

ганатная окисляемость, характеризующая миграцию органических и окисляемых неорганических соединений, водородный показатель – pH), по органолептическим показателям (запах, привкус, цветность, мутность) и химическим показателям (никель, хром, железо, марганец, цинк и др.) представлены в табл. 3 и отвечают требованиям СанПиН 1.2.3685-21.

Методика исследования образцов труб для использования в системах горячего водоснабжения

Для исследований материала труб, который по условиям эксплуатации контактирует с водой повышенной температуры, были отобраны образцы (№4, №5, №6). После их промывки проточной водопроводной водой в течение часа и двукратной промывки дистиллированной водой (методом залива), образцы заполнялись модельной средой, герметично закрывались и выдерживались:

- образец трубы №4 – 1 час при 80°C;
- образец трубы №4а – 1 час при 80°C, повторная заливка модельной средой;
- образец трубы №5 – 2 часа при 80°C;
- образец трубы №5а – 2 часа при 80°C, повторная заливка модельной средой;
- образец трубы №6 – 10 часов при температуре 50–60°C.

Полученные после испытаний растворы подвергали химическим исследованиям согласно МУ 2.1.4.2898-11 «Санитарно-эпидемиологические исследования (испытания) материалов, реагентов и оборудования, используемых для водоочистки и водоподготовки». Отбор проб и анализ из образцов проводился после каждой экспозиции с трехкратной повторностью.

Усредненные результаты санитарно-химических исследований представлены в табл. 4. Из приведенных результатов в табл. 4 видно, что в интегральных показателях при повторной заливке той же трубы произо-

Результаты исследований материалов на степень загрязнения питьевой воды
веществами, мигрирующими из образцов труб напорных металлополимерных
при температурно-временных режимах холодного водоснабжения
после предварительной промывки

Таблица 3

Наименование показателей	Температурно-временные режимы (18–20°С)			Контрольный раствор (дистиллированная вода)	Допустимые количества миграции	Предельно-допустимые концентрации по СанПиН 1.2.3685-21, не более	Единицы измерения
	Образец трубы №1 (12 часов)	Образец трубы №2 (3 суток)	Образец трубы №3 (7 суток)				
Интегральные показатели							
Водородный показатель (pH)	6,01±0,1	6,81±0,1	6,6±0,1	5,67±0,1	–	6,0–9,0	единицы pH
Окисляемость перманганатная	0,13±0,03	0,18±0,045	0,53±0,13	0,65±0,16	–	5,0	мг/дм³
Органолептические показатели							
Запах	1,0	1,0	1,0	1,0	–	2	баллы
Вкус и привкус	0	1,0	0	1,0	–	2	баллы
Цветность	<2	<2	2,6±2	–	–	20	градусы цветности
Мутность (по формазину)	0	0	0	–	–	2,6	ЕМФ
Мигрирующие вещества							
Марганец	0,020±0,005	0,022±0,005	0,025±0,005	0,01±0,002	0,1	0,1	мг/дм³
Медь	0,10±0,012	0,13±0,016	0,38±0,046	0,02	1,0	1,0	мг/дм³
Свинец	0,003±0,001	0,0032±0,001	0,0042±0,001	0,005±0,001	0,009	0,01	мг/дм³
Цинк	0,100±0,035	0,106±0,037	0,110±0,038	0,2	1,0	5,0	мг/дм³
Железо	0,034±0,013	0,039±0,013	0,095±0,015	0,05	0,3	0,3	мг/дм³
Сульфаты	0,77±0,15	0,77±0,15	0,81±0,16	0,5	–	500,0	мг/дм³
Хлориды	9,8±1,69	10,5±1,72	11,03±1,73	<2,2	–	350,0	мг/дм³

шло заметное снижение водородного показателя (рН) и перманганатной окисляемости в пробах №4а, №5а. Отмечено улучшение качества воды по органолептическим показателям (запах, привкус, цветность, мутность) и по химическим показателям (никель, железо, марганец, свинец). Миграция химических веществ носит убывающий характер.

Все приведенные результаты в табл. 3 показывают соответствие качества исследуемой воды требованиям СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» и СанПиН 2.1.3684-21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению населения, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий».

Проведенные санитарно-химические исследования образцов труб напорных металлополимерных по оценке их пригодности для систем водоснабжения

пассажирских вагонов показали, что мигрирующие в воду соединения не повлияли на органолептические свойства воды, что под действием повышенных температур, как наиболее агрессивного фактора, миграция носит убывающий характер, а интегральные показатели находятся на уровне модельной среды. Полученные результаты исследования качества воды из исследуемых труб соответствуют требованиям СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».

Так же проведены исследования по МР 01.018-07 «Методика определения токсичности химических веществ, полимеров, материалов и изделий с помощью биотеста «Эколюм»» модельных сред при холодном и горячем водоснабжении по оценке интегрального показателя токсичности образцов труб и составила:

- в холодном водоснабжении при температуре $18\pm 20^{\circ}\text{C}$ — 13,7% при норме до 20%;
- в горячем водоснабжении при температуре 80°C — 19,8% при норме до 20%. 

Таблица 4

Результаты исследований материалов на степень загрязнения питьевой воды
 веществами, мигрирующими из образцов труб напорных металлополимерных
 при температурно-временных режимах горячего водоснабжения
 после предварительной промывки

Наименование показателей	Температурно-временной режим 80° С				50—60° С	Контрольный раствор (дистиллиро- ванная вода)	Допусти- мые коли- чества ми- грации	Предельно- допусти- мые кон- центрации по СанПиН 1.2.3685-21, не более	Единицы измере- ния
	Образец трубы №4 (1 час)	Образец трубы №4 (повтор)	Образец трубы №5 (2 час)	Образец трубы №5 (повтор)	Образец трубы №6 (10 часов)				
Интегральные показатели									
Водородный показатель (рН)	6,92±0,1	6,28±0,1	6,94±0,1	6,79±0,1	6,58±0,1	6,03±0,1	—	6,0—9,0	едини- цы рН
Окисляемость перманганатная	0,185±0,046	0,132±0,033	0,792±0,20	0,264±0,066	0,158±0,066	0,672±0,066	—	5,0	мг/дм³
Органолептические показатели									
Запах	2,0	1,0	2,0	1,0	2,0	—	—	2	баллы
Вкус и привкус	1,0	1,0	1,0	1,0	2,0	—	—	2	баллы
Цветность	4,9±2	3,7±2	6,2±2	4,9±2	5,5±2	—	—	20	градусы цветно- сти
Мутность (по формазину)	0,37	0,21	0,53	0,32	0,20	—	—	2,6	ЕМФ
Мигрирующие вещества									
Марганец	0,025±0,006	0,008±0,0019	0,030±0,007	0,008±0,0019	0,025±0,006	0,01±0,002	0,1	0,1	мг/дм³
Медь	0,91±0,11	0,10±0,012	0,19±0,023	0,11±0,013	0,10±0,012	0,02	1,0	1,0	мг/дм³
Свинец	0,015±0,004	0,0062±0,0015	0,020±0,0047	0,0054±0,013	0,0036±0,001	0,005±0,0012	0,009	0,01	мг/дм³
Цинк	0,1±0,035	0,106±0,037	0,123±0,042	0,106±0,037	0,103±0,036	0,2	1,0	5,0	мг/дм³
Железо	0,061±0,014	0,042±0,013	0,078±0,014	0,064±0,014	0,053±0,014	<0,05	0,3	0,3	мг/дм³
Сульфаты	2,06±0,41	0,9±0,18	1,3±0,26	1,4±0,28	0,8±0,16	0,5	—	500,0	мг/дм³
Хлориды	14,7±1,8	9,8±1,69	9,8±1,69	9,8±1,69	11,0±1,73	2,2±0,4	—	350,0	мг/дм³

Литература

1. СП 2.5.3650-20. Санитарно-эпидемиологические правила. Санитарно-эпидемиологические требования к отдельным видам транспорта и объектам транспортной инфраструктуры. Утверждены постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 16 октября 2020 года №30. — URL: www.pravo.gov.ru (дата обращения: 24.02.2024). - Текст: электронный.
2. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 №2 «Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» (вместе с СанПиН 1.2.3685-21). - Текст: электронный // Консультант Плюс: [сайт]. - URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&ts=udCK-d8TGym1ROyUX2&cacheid=11198D3D4BFAB65D3F6FFBE32424458C&mode=splus&base=LAW&n=375839#LJHKd8TG5ApdE8HI> (дата обращения: 12.04.24).
3. МУК 2.1.4.2898-11. Методические указания. Санитарно-эпидемиологические исследования (испытания) материалов, реагентов и оборудования, используемых для водоочистки и водоподготовки: утверждены Руководителем Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации: дата введения 2011-07-12. - Москва, 2011. — Текст: непосредственный.
4. Юдаева, О. С. Обеспечение санитарно-гигиенической и экологической безопасности пассажирских вагонов локомотивной тяги в условиях эксплуатации / О. С. Юдаева, Д. В. Гречушникова. - Текст : непосредственный // Безопасность жизнедеятельности. - 2017. - № 3 (195). - С. 22-27.
5. Анализ эффективности работы системы водоснабжения пассажирских вагонов / В. А. Аксенов, В. И. Апатцев, О. С. Юдаева, Д. В. Гречушникова. - Текст : непосредственный // Естественные и технические науки. - 2017. - № 7 (109). - С. 24-28.
6. Гречушникова, Д. В. Современное оборудование системы водоснабжения вагонов локомотивной тяги / Д. В. Гречушникова, О. С. Сачкова, В. И. Апатцев. - Текст : непосредственный // Наука и техника транспорта. - 2022. - № 1. - С. 88-93.
7. Юдаева, О. С., Мероприятия по улучшению качества питьевого водоснабжения в пассажирских вагонах локомотивной тяги / О. С. Юдаева, Д. В. Гречушникова, А. С. Козлов. - Текст : непосредственный // Проблемы безопасности российского общества. - 2017. - № 4. - С. 79-82.
8. Буйнова, Е. И. Оценка качества воды в пассажирских вагонах / Е. И. Буйнова, И.С. Куприенко. - Текст : непосредственный // Конференция «Образование, наука, производство», г. Белгород, 15-16 октября 2016 г.: VIII Международный молодежный форум, 2016. - Белгород : Белгородский государственный технологический университет имени В. Г. Шухова. - С. 123-126.
9. Колодезная, А. С. Оценка качества воды в пассажирских вагонах / А. С. Колодезная. - Текст : непосредственный // Актуальные проблемы экологии и охраны труда : г. Курск, 04 июня 2019 года : сборник статей XI Международной научно-практической конференции. Посвящается 55-летию Юго-Западного государственного университета, 2019. - Курск : Юго-Западный государственный университет. - С. 202-208.

К ВОПРОСУ О РАЗРАБОТКЕ МЕРОПРИЯТИЙ ПО СНИЖЕНИЮ НЕГАТИВНЫХ ПОСЛЕДСТВИЙ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ ПЕРЕВОЗОК НЕФТЕНАЛИВНЫХ ГРУЗОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ТРАНСПОРТОМ

Организация транспорта нефтепродуктов по железной дороге включает в себя этапы погрузки, следования и отгрузки. Реализация каждого из этапов тесно связана с вероятностью возникновения чрезвычайных ситуаций. Решение вопроса минимизации пагубного воздействия перевозок опасных грузов, возможно достичь путем разработки превентивных средств ликвидации аварийных ситуаций, связанных с разливом нефтепродуктов.

Ключевые слова: нефтепродукты, железнодорожный транспорт, организация перевозок нефтепродуктов, чрезвычайная ситуация

EDN: ZIZIBO



О.С. Кузьмин



А.Н. Луценко

В соответствии с Указом Президента Российской Федерации от 19 апреля 2017 года № 176 «О стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года», одной из основных задач государственной политики в сфере обеспечения экологической безопасности является предотвращение загрязнения поверхности, атмосферных вод, а также атмосферного воздуха в городах и населенных пунктах [1].

Вместе с этим, основами государственной политики в области экологического развития Российской Федерации на период до 2030 года определены задачи, решение которых направлено на сохранение благоприятной окружающей среды, в том числе путем сокращения выбросов вредных и опасных веществ [2].

В свою очередь, ОАО «Российские железные дороги» разработана и реализуется экологическая

стратегия с перспективой до 2030 года, которая предусматривает расходы на природоохранную деятельность, в том числе поставки на железную дорогу специализированной техники, предназначенной для ликвидации последствий аварийных разливов нефтепродуктов. Кроме того, данная стратегия также предусматривает использование подвижного состава, не имеющего испарений или утечек нефтепродуктов на железнодорожное полотно при их перевозке [3].

Организация транспорта нефтепродуктов по железной дороге состоит из таких этапов как погрузка, следование и отгрузка. Реализация каждого из них тесно связана с вероятностью возникновения чрезвычайных ситуаций, способных оказывать как загрязняющее воздействие на окружающую среду, выраженное в локальных разливах нефтепродуктов, так и ее уни-

Кузьмин Олег Сергеевич, аспирант кафедры «Техносферная безопасность» Дальневосточного государственного университета путей сообщения (ДВГУПС). Область научных интересов: транспорт нефти и нефтепродуктов. Автор 20 научных работ. Имеет пять патентов на изобретения.

Луценко Андрей Николаевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Техносферная безопасность» Дальневосточного государственного университета путей сообщения (ДВГУПС). Область научных интересов: техносферная безопасность. Автор 64 научных работ, в том числе двух монографий и двух учебников. Имеет шесть патентов на изобретения.

Куликова Елена Сергеевна, старший преподаватель Высшей школы Транспортного строительства, геодезии и землеустройства Тихоокеанского государственного университета (ТОГУ). Область научных интересов: нефтегазовое дело, строительное материаловедение. Автор 65 научных работ, в том числе трех учебных пособий. Имеет пять патентов на изобретения.

чтожение при сценарии их воспламенения. Решение вопроса минимизации пагубного воздействия перевозки опасных грузов возможно достичь путем разработки превентивных средств ликвидации аварийных ситуаций, связанных с разливом нефтепродуктов.

Однако, учитывая тот факт, что организация транспортировки нефтепродуктов железнодорожным сообщением подразумевает не только процесс их непосредственного перемещения от отправителя к получателю, но и погрузочно-разгрузочные мероприятия выполняемые на специально отведенных пунктах, эксплуатация которых сопряжена с повышенным риском возникновения аварийных ситуаций и высокой вероятностью увеличения масштаба поражения инфраструктуры, вопрос обеспечения экологической безопасности на всех этапах перевозки на сегодняшний день все еще остается актуальным.

Основной целью исследования является разработка превентивных мероприятий по повышению уровня защищенности окружающей среды при организации грузоперевозок нефтепродуктов железнодорожным сообщением с учетом наиболее уязвимого этапа, выявленного в результате сравнительного анализа.

Актуальность и научная новизна данной работы заключается в разработке технического решения, обеспечивающего мгновенную ликвидацию аварийной ситуации, связанной с разливом нефтепродуктов на ранних стадиях ее возникновения.

Практическая значимость работы заключается в том, что предлагаемое техническое средство способно наиболее эффективно и в кратчайшие сроки предотвратить эскалацию чрезвычайной ситуации без необходимости непосредственного участия персонала и реализации время- и трудозатратных мероприятий согласно плану локализации и ликвидации разливов нефтепродуктов.

В подтверждение вышеизложенного справедливо привести сведения о том, что особенностью чрезвычайных ситуаций и инцидентов с опасными грузами является то, что чаще всего они происходят не в местах зарождения грузопотока, а в пути следования, перевалки и хранения [4]. Как точно отмечено в [5] отправитель опасного груза «заложил» вероятность аварии, а перевозчик ее перенес к последнему элементу цепи — грузополучателю.

Также необходимо отметить, что наиболее надежным этапом, с точки зрения обеспечения высокого уровня безопасности, является погрузочный этап (налив), осуществляемый на специализированных наливных железнодорожных эстакадах, эксплуатируемых на нефтеперерабатывающих предприятиях.

Помимо потенциальной опасности от образования топливо - воздушного облака, разлива нефтепродуктов и их воспламенения, аварийная ситуация на нефтеперерабатывающих предприятиях с учетом масштабы, содержит высокий риск мгновенной эскалации, в связи с чем выполнение погрузочных процессов на таких предприятиях требует высокого уровня защищенности и неукоснительного соблюдения правил охраны труда и окружающей среды.

Одним из действующих на сегодняшний день способов, позволяющих вывести вопрос безопасной эксплуатации процесса погрузки на новый уровень в части предупреждения и предотвращения аварийных ситуаций, является интеграция средств автоматизации [6;7], где погрузочный процесс нефтепродуктов осуществляется с применением автоматизированных систем управления технологическими процессами (далее — АСУТП). АСУТП представлены взаимодействием автоматики, контрольно-измерительных приборов, исполнительных устройств: датчиков предельного уровня, положения наливных стояков, контроля нижнего концентрационного предела распространения пламени и предельно-допустимых концентраций паров нефтепродуктов в воздухе рабочей зоны [8;9].

Большое количество компонентов АСУТП, а также уровней их контроля и регулирования, значительно минимизируют негативное влияние на окружающую среду. Этап следования нефтепродуктов по железнодорожным путям, в свою очередь, лишен подобных технических решений. Большая часть пути, как правило, расположена в условиях отсутствия какой-либо инфраструктуры, способной обеспечить применение автоматизированных сред.

Одновременно с этим, аварийность подвижного состава зачастую носит как тяжелый характер, т. е. представлена разливом значительных объемов перевозимых нефтепродуктов в результате схода части состава с путей, так и легкий, когда разлив происходит через неплотности, образующиеся в сливной системе вагонов-цистерн во время движения или операций по сцепке/расцепке.

Помимо существующих планово-предупредительных мероприятий, выраженных в периодической диагностике и ремонте железнодорожного полотна, технического обслуживания вагонов-цистерн, либо обновления вагонного парка, в настоящее время активно применяются методы прогнозирования вероятных аварийных ситуаций.

Определение масштабов загрязнений, проводимое в целях достоверности, моделируется при помощи геоинформационных систем, содержащих картографические данные с отображением условий местности: рельефа, наличия естественных и искусственных

сооружений, а также процессов, происходящих с нефтью и нефтепродуктами (испарение, инфильтрация в почву) [10] и позволяют более точно определить направление растекания жидкостей при разработке мероприятий по локализации и ликвидации аварий и их последствий. План мероприятий по локализации и ликвидации аварий (далее — ПМЛА) на сегодняшний день является неотъемлемой частью и ключевым методом обеспечения безопасности, реализуемым во избежание либо в целях минимизации последствий инцидентов, возникающих, в том числе, на этапе следования опасного груза.

В состав ПМЛА включается описание сценариев развития чрезвычайных ситуаций, связанных с разливом и возгоранием нефтепродуктов, а также порядок действий, выполняемых специализированными службами оперативного реагирования в зависимости от конкретной ситуации и направленных на мгновенную локализацию и ликвидацию последствий аварии.

Разработка мероприятий в рамках ПМЛА осуществляется, в том числе и в отношении заключительного, разгрузочного этапа, реализуемого на эстакадах слива, эксплуатируемых в составе объектов приема, хранения и отпуска нефтепродуктов (нефтебазах). Утверждаемый ПМЛА также направлен на достижение целей, указанных выше и содержит в себе схожий алгоритм действий.

Однако, отягчающим обстоятельством, в данном случае, является то, что на сравнительно небольших площадях нефтебаз сосредоточены значительные количества пожаро- взрывоопасных веществ и, следовательно, любые возникающие чрезвычайные ситуации максимально предрасположены к увеличению своих масштабов и пагубного воздействия на окружающую среду как загрязняющего, так и уничтожающего характера.

Проведенный анализ состояния защищенности данного этапа показывает неутешительные результаты. Во многом это обусловлено тем, что большое количество эстакад не имеют расширенного оснащения автоматизированной противоаварийной защитой (ПАЗ) как в случае с нефтеперерабатывающими предприятиями. ПАЗ сливных эстакад содержит ограниченное количество приборов контроля, а именно датчики предельно-допустимых концентраций, штатные датчики контроля состояния насосного оборудования.

Все вышеперечисленные средства служат лишь для оповещения персонала и блокировки технологических процессов и не учитывают тот факт, что характерные для этапа разгрузки опасные ситуации, а именно аварийные разливы нефтепродуктов происходят непосредственно на фронте его слива и не устраняются

действующими системами, а по сути применяются отдельно от уже возникших и протекающих аварий, которые в свою очередь ежеминутно наносят непоправимый вред окружающей среде.

Также в процессе исследования выявлено, что отгрузка нефтепродуктов грузополучателем происходит при постоянно открытых люках железнодорожных цистерн. Это обусловлено как конструктивными особенностями, когда полностью открытая сливная система находится в положении, не позволяющем люку закрыться, так и необходимостью поступления воздуха при опорожнении, что создает условия испарения сливаемых нефтепродуктов в атмосферу, а также приводит к загрязнению окружающей среды и присутствию постоянного риска концентрации паровоздушного облака в зоне горловины цистерн, способного вспыхивать от источника зажигания.

Учитывая выявленную высокую уязвимость отгрузочного этапа необходимо внедрение инновационных средств обеспечения безопасности, основанных на принципах локализации, ликвидации и безучастности человека или в отсутствии необходимости его нахождения в опасной зоне при ликвидации чрезвычайной ситуации.

Техническим решением, повышающим защищенность окружающей среды при осуществлении отгрузки легковоспламеняющихся жидкостей грузополучателем, предлагается стационарное устройство прекращения аварийного разлива нефтепродуктов (далее — устройство) (рисунок).

Предлагаемое устройство состоит из малогабаритного мотор-редуктора, выполненного во взрывозащищенном исполнении и герметизирующего диска с воздушным патрубком, которые соединены между собой телескопической трубкой с установленной на ней ответной полкой и датчиком предельного положения.

Приведение устройства в рабочее положение производится персоналом перед началом отгрузочного процесса, путем манипуляции поворотным кронштейном, стационарно закрепленным на металлоконструкции эстакады в верхней эксплуатационной зоне и установкой малогабаритного мотор-редуктора на штангу сливной системы отгружаемого вагона-цистерны.

Работа устройства заключается в оперативном перекрытии донного клапана сливного прибора цистерны 1 в случаях возникновения аварийного пролива отгружаемого нефтепродукта на фронте слива эстакад, обнаруживаемого штатными датчиками предельно-допустимых концентраций паров нефтепродуктов в рабочей зоне 2, работающих в составе ПАЗ.

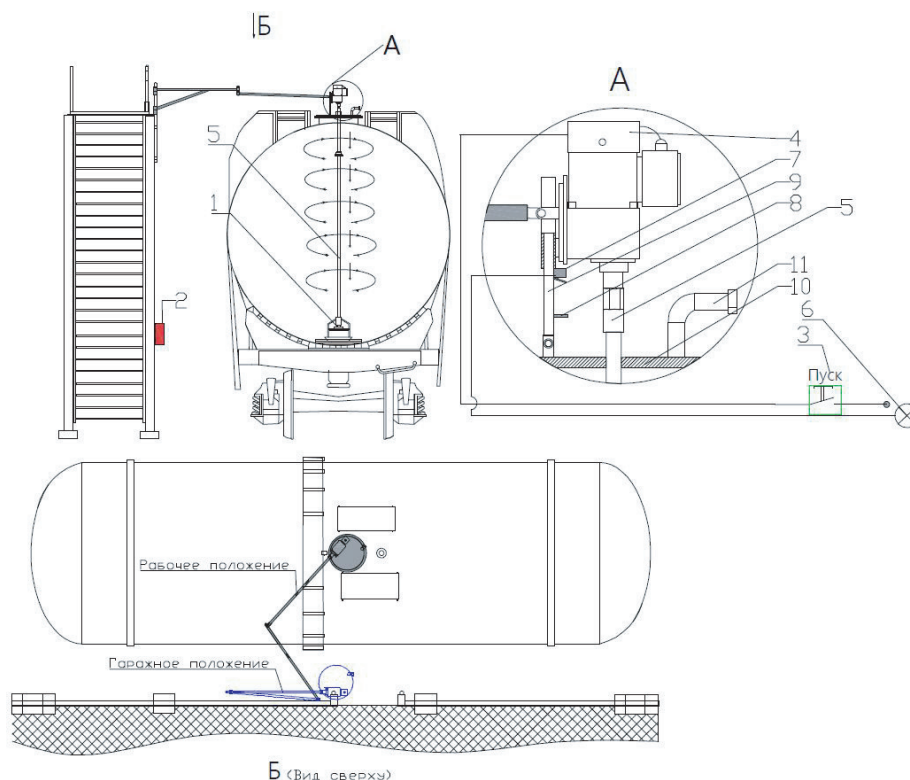


Рисунок. Стационарное устройство прекращения аварийного разлива нефтепродуктов

При срабатывании вышеуказанных датчиков, соответствующий сигнал, свидетельствующий о разливе легко воспламеняющейся жидкости, поступает на операторский пульт, тем самым оповещая персонал о возникшей аварии. После чего сотрудник посредством кнопки «Пуск» 3 активирует малогабаритный мотор-редуктор 4, который, приводя штангу сливной системы 5 во вращение запирает донный клапан цистерны, ликвидируя в кратчайшие сроки возникшую аварийную ситуацию. Остановка исполнительного устройства осуществляется также сотрудником путем отпускания кнопки «Пуск». При достижении предельного положения штанги, сигнал о котором выдается на световой индикатор 6 при контакте датчика 7 с ответной полкой 8, размещенными на телескопической трубке устройства 9 и связывающей мотор-редуктор с герметизирующим диском 10, оборудованным дыхательным патрубком 11 для поступления воздуха при опорожнении цистерны.

Герметизирующий диск, включенный в состав устройства и устанавливаемый на горловину вагона-цистерны решает вопрос испарения нефтепродуктов в атмосферу и образования облака топливно-воздушной смеси, повышая уровень защищенности как для окружающей среды, так и для промышленной безопасности, тем самым минимизируется риск возникновения сце-

нариев взрыва и т.п. По окончании технологического процесса опорожнения цистерн, устройство приводится персоналом обратно в гаражное положение.

Заключение

В результате анализа этапов транспортировки нефтепродуктов железнодорожным транспортом выявлено, что наиболее уязвимым является отгрузочный этап, в связи с чем авторами в рамках данного исследования разработано дополнительное стационарное устройство прекращения аварийного разлива нефтепродуктов. Разработанное устройство позволит повысить уровень безопасности при их перевозке, что будет способствовать снижению негативного воздействия на человека и окружающую среду. Кроме того, предлагаемое техническое решение рекомендуется авторами к использованию в качестве штатного средства для обеспечения безопасности, которое может функционировать совместно с действующими системами ПАЗ либо входить в его архитектуру.

На разработанное «Стационарное устройство для ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов из железнодорожных цистерн при выполнении сливных операций» выдан патент № 221429 [11].



Литература

1. Указ Президента Российской Федерации от 19 апреля 2017 года № 176 «О стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года» : [сайт]. - URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_215668/ (дата обращения: 05.11.23). - Текст : электронный.
2. Основы государственной политики в области экологического развития Российской Федерации на период до 2030 года (утверждены Президентом РФ 30.04.2012) : [сайт]. - URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_129117/ (дата обращения: 05.11.23). - Текст : электронный.
3. Экологическая стратегия ОАО «РЖД» на период до 2020 года и на перспективу до 2030 года, утверждена распоряжением ОАО «РЖД» от 22.06.2016 г. № 1227р. : [сайт]. - URL: <https://company.rzd.ru/ru/9-353/page/105104?id=958/> (дата обращения: 05.11.23).
4. Медведев, В. И. Методы управления безопасностью перевозочного процесса опасных грузов и пути повышения экологической безопасности на железнодорожном транспорте: специальность 05.22.08 «Управление процессами перевозок» : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Медведев Владимир Ильич. - Новосибирск, 2001. - 349 с. - Текст : непосредственный.
5. Концепция новой государственной программы повышения безопасности перевозок опасных грузов / В. И. Медведев, М. Д. Сурков, Ю. А. Танайно, И. О. Тесленко. - Текст : непосредственный // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. - 2021. - № 3(58). - С. 23-32. - DOI: 10.52-170/1815-9265_2021_58_23.
6. Мясагутов, Р. А. Автоматизация и модернизация железнодорожных сливо-наливных эстакад в целях обеспечения безопасности при их эксплуатации / Р. А. Мясагутов, Л. К. Абдрахманова. - Текст : непосредственный // Norwegian Journal of Development of the International Science. - 2018. - № 7-1(20). - С. 59-63.
7. Махонин, Д. А. Железнодорожные сливо-наливные эстакады, современные технологические решения, позволяющие увеличить уровень безопасности на них / Д. А. Махонин. - Текст : непосредственный // Промышленные и строительные технологии. - 2016. - № 7(9). - С. 9. - EDN: VTPRKR.
8. Бадыханов, А. Р. Обеспечение безопасной эксплуатации сливоналивных железнодорожных эстакад / А. Р. Бадыханов. - Текст : непосредственный // Символ науки: международный научный журнал. - 2021. - № 11-2. - С. 25-27. - EDN: RMZUFT.
9. Обеспечение безопасности при эксплуатации сливо-наливной железнодорожной эстакады на нефтебазе / А. В. Федосов, Н. Х. Абдрахманов, А. С. Тихонова [и др.]. - Текст : непосредственный // Безопасность техногенных и природных систем. - 2021. - № 1. - С. 51-57.
10. Куракина, Н. И. ГИС моделирования нефтяных разливов на магистральных трубопроводах / Н. И. Куракина, Р. А. Мышко. - Текст : непосредственный // Известия СПбГЭТУ ЛЭТИ. - 2020. - № 2. - С. 52-60. - EDN: YRLRDZ.
11. Патент РФ № 221429, МПК B65D 90/22 (2006.01). Стационарное устройство для ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов из железнодорожных цистерн при выполнении сливных операций : № 202-3110431 : заявлено 21.04.2023 : опубликовано 07.11.2023. Бюл. № 31. / Кузьмин, О.С., Луценко А.Н., Куликова Е.С ; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Дальневосточный государственный университет путей сообщения» (ДВГУПС). - 7 с : ил. - Текст : непосредственный.

Уважаемые авторы!

Редакция журнала «Наука и техника транспорта» просит представлять оригиналы статей, оформленные в соответствии с нижеперечисленными требованиями:

1. Рекомендуемый объем: 5–10 стр.
2. Материалы направляют по электронной почте, набранные в текстовых редакторах MS Word для Windows.
3. Файл — в формате DOC, DOCX или RTF.
4. Формат страницы — A4 (210x297 мм), при этом левое, верхнее и нижнее поля должны быть не менее 20 мм, а правое поле — не менее 10 мм, ориентация страниц книжная.
5. Шрифт Times New Roman (Сур), размер шрифта 14 pt, межстрочный интервал — полуторный, выравнивание текста по ширине, автоматический перенос, для разметки документа рекомендуется использовать стили текста (назначить нужные стили можно выбрав меню **Формат → Стил...**). В тексте не должно быть двойных пробелов и двойных абзацев (пустых строк). Все необходимое форматирование (например, расстояние между разделами) можно задавать с помощью тех же стилей, просто установив для стиля заголовка отступы (отбивки) перед и после абзаца.
6. Латинские буквы и простые однострочные формулы вида $A_r = B^2 + CD^2$ набирают прямо в строке MS Word; для вставки одиночных специальных символов, таких как $\leq$, $\geq$, $\pm$, ∞ , $\cup$, $\cap$, $\rightarrow$ и другие, а также греческих букв используется команда меню **Вставка → Символ...** (используемый шрифт Symbol). Многострочные сложные формулы, формулы с дробями, корнями, матрицы, векторы, системы уравнений и прочие помещают в документ как объект Microsoft Equation или Math Type 5 (**Вставка → Объект...**). Не допускается делить одну формулу на несколько объектов или часть формулы набирать в строке, а часть ее помещать как объект.
7. Любые таблицы набирают непосредственно в MS Word (команда меню **Таблица → Добавить → Таблица...**), либо в тексте дают заголовок таблицы, а таблицу — отдельным файлом MS Excel. Не допускается набор таблиц в тексте с разделением пробелами или табуляцией и сеткой сделанной инструментами рисования, а также помещение в документ Word'a таблиц Excel.
8. Изображения принимаются в форматах:
 - для фото *.tif (без сжатия или LZW) или *.jpg (с максимальным качеством), в разрешении 300 dpi при печатном размере;
 - для рисунков, схем, графиков *.tif, *.jpg, *.bmp, *.gif, *.eps, MS Visio, Corel Draw, Adobe Illustrator (все надписи должны быть переведены в кривые).Каждое изображение должно быть представлено отдельным файлом. Если нет возможности качественно отрисовать или отсканировать имеющееся изображение, просьба предоставить оригинал (можно от руки).
9. Допускается включение в текст диаграмм, схем и графиков, в том числе выполненных средствами MS Word, при этом рисунок должен быть помещен в текст как объект.
10. К тексту статьи отдельным файлом прилагают аннотацию (4–7 строк), ключевые слова (5–8 слов) на русском и английском языках и указывают шифр научной специальности.
11. Авторский коллектив должен состоять не более чем из 4-х человек.
12. Необходимо представить следующую информацию об авторах:
 - фамилия, имя, отчество;
 - ученая степень, звание;
 - почетные звания, участие в академиях, сведения о наградах;
 - место работы (почтовый индекс, адрес, номера контактных телефонов);
 - должность;
 - область научных интересов (направление исследований);
 - общее количество научных работ;
 - количество монографий;
 - количество учебников, 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 глянцевого бумаги.
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.