

НАУКА И ТЕХНИКА ТРАНСПОРТА



I
S
S
N

2
0
7
4
-
9
3
2
5



Транспорт

Информатика, вычислительная техника и управление

Безопасность деятельности человека

2022 2

Научно-технический журнал

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

- 2.3.1 — Системный анализ, управление и обработка информации (технические науки);
- 2.3.3 — Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (технические науки);
- 05.22.01 — 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);
- 05.26.01 — Охрана труда (по отраслям) (технические науки).

Адрес редакции:

125315, Москва, Часовая ул., 22/2

Тел.: (495) 649-19-00 доб. 385.

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

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

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

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

Издатель: РУТ (МИИТ)

Тел.: (495) 649-19-00 доб. 385.

Журнал выходит 4 раза в год.

Свидетельство о регистрации выдано Роскомнадзором
ПИ №ФС77-82472 от 10 декабря 2021 г.

Выходит с 2002 года.

Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ).

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

Отпечатано РОАТ РУТ (МИИТ):

125315, Москва, Часовая ул., 22/2

Подписано в печать 23.06.2022.

Усл. печ. л. 14,75

Формат 60×90¹/₈.

Тираж 60 экз.

Тип. зак. 11



Редакционный совет:

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

Главный редактор

В.И. Апатцев

Ответственный редактор

В.А. Бугреев

Ответственный секретарь

В.А. Кочнев

Редакторы

Д.Н. Тихонычев, В.К. Тихонычева

Английский перевод

М.Л. Окулова

Транспорт



**О.И. Поддаева, Е.С. Ашпиз, А.Н. Федосова,
Ю.С. Грибач**

Проведение экспериментальных исследований
ветрового воздействия на шумозащитные экраны
вблизи высокоскоростных железных дорог

8



О.Ю. Кривич, И.К. Сергеев, О.Ю. Емельянов

Исследование ходовых качеств вновь создаваемых
вагонов со сниженным значением массы тары путем
компьютерного моделирования динамики состава

14



В.П. Сычев, А.А. Локтев, П.В. Сычев

Информационно-управляющая система перемещения
балласта, рельсов и шпал на основе модернизируемого
специального подвижного состава

18



**М.Н. Торопов, П.П. Бегунов, И.Е. Перков,
А.С. Селиванов, Н.В. Васильев**

Энергетический метод водоподготовки применительно
к объектам транспорта

26



**А.В. Горелик, А.Н. Малых, П.А. Неваров,
Т.С. Щедрина**

Об оценке чувствительности процесса технической
эксплуатации систем железнодорожной автоматики
и телемеханики к воздействию дестабилизирующих
факторов

34



П.С. Григорьев, С.В. Беспалько, С.Н. Коржин

Оценка устойчивости котла цистерны на основе
вариационного принципа Лагранжа

39



Л.Н. Иванкова, А.В. Подорожкина, А.В. Буракова

Особенности проектирования перевальной части
сортировочной горки

47



Ю.О. Пазойский, Н.В. Попова

Повышение эффективности взаимодействия видов пригородного железнодорожного транспорта за счет сооружения ТПУ на конечных станциях Московских центральных диаметров

50



**А.С. Космодамианский, В.И. Воробьев,
О.В. Измеров, Д.Н. Шевченко, Е.В. Николаев**

Расширенная классификация механической части тяговых приводов локомотивов

60



**В.А. Эсаулов, Б.И. Давыдов, К.Н. Никитенко,
А.Г. Лазарев**

Эффективность пропуска спаренных грузовых поездов

69

Информатика, вычислительная техника и управление



И.А. Журавлев, Д.Д. Бедердинов

Теория и практика масштабирования применения интеллектуальных транспортных систем: методология и проблематика

79

Безопасность деятельности человека



Д.А. Райлян, В.И. Апатцев, Д.В. Климова

Прогноз уровней вибрационного воздействия и структурного шума при реконструкции станции Лобня МЦД-1

83



И.А. Коновал, П.Ф. Бестемьянов

Обеспечение эпидемиологической безопасности и охраны труда проводников за счет внедрения антимикробной пленки в помещениях вагона

92



Е.А. Трифонова, О.С. Сачкова

Культура труда работников Федеральной службы
исполнения наказаний

97



А.В. Киселев, Е.А. Киселева, В.В. Самойлов

Экономическая эффективность внедрения мероприятий
по охране труда

104



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

Риск-менеджмент состояния устойчивости
перевозочного процесса на железнодорожном
транспорте в условиях чрезвычайных ситуаций

109

Transport

O.I. Poddaeva, E.S. Ashpiz, A.N. Fedosova, Yu.S. Gribach

Experimental Investigations of Wind Effect on Noise Shields near High-Speed Railways **8**

The authors consider the experimentation issue of wind loads on noise shields near high-speed railways. The paper substantiates the impossibility of the foreign regulatory framework used in the design of high-speed railway infrastructure facilities.

Key words: aerodynamics, wind effect, high-speed railway, noise shields

O.Yu. Krivich, I.K. Sergeev, O.Yu. Emelyanov

Investigation of Running Characteristics of Newly-Built Cars with Reduced Tare Weight
by Computer Simulation of Train Dynamics **14**

The article substantiates the most optimal way to increase the carrying capacity of cars. It highlights the key parameters affecting the operation safety of these cars, and clarifies the procedure for their permit to transportation process.

Key words: application of new materials, reduction of tare weight, car running characteristics, car dynamics

V.P. Sychev, A.A. Loktev, P.V. Sychev

Information and Controlling System for Moving Ballast, Rails and Sleepers Based
on Modernized Special Rolling Stock **18**

The technical solution for the creation of the information and controlling system for moving ballast, rails and sleepers based on the operated special rolling stock is substantiated and provided. The article gives the requirements for its modernization for their applicability in this system.

Key words: information and measuring system, ballast, rails, sleepers, railway track

M.N. Toropov, P.P. Begunov, I.E. Perkov, A.S. Selivanov, N.V. Vasiliev

Energy Method of Water Treatment as Applied to Transport Facilities **26**

The energy method of water treatment developed by railway scientists as applied to transport facilities was analysed. The article presents the enlarged technical and economic assessment of its application at heat supply and water cooling facilities of JSC «Russian Railways» and other industries processed in 2004-2019.

Key words: energy method of water treatment, energent, protective film, corrosion rate, water corrosion

A.V. Gorelik, A.N. Malykh, P.A. Nevarov, T.S. Shchedrina

On Sensitivity Assessment of Operation Process of Railway Automation
and Telemechanics Systems to Impact of Destabilizing Factors **34**

The issue of the sensitivity assessment of the operation process of railway automation and telemechanics systems is considered. The article gives the most significant factorial and effective indicators used for the sensitivity analysis of the basic process flows in the automation and telemechanics facilities.

Key words: railway automation and telemechanics, sensitivity assessment, sensitivity criteria

P.S. Grigoriev, S.V. Bespal'ko, S.N. Korzhin

Tank Car Shell Stability Rating Based on Lagrange Variational Principle **39**

The article is devoted to the development of a methodology for the stability rating of the of a railway tank jacket under the action of external overpressure due to vacuum inside the tank shell. The technique is based on the application of the general theory of shells, the Lagrange variational principle, the approximation of displacements in the form of double Fourier series, as well as matrix operations.

Key words: railway tank car, tank shell, rotational shell, stability loss, general theory of shells, Fourier series

L.N. Ivankova, A.V. Podorozhkina, A.V. Burakova **47**
Constructional Design Particulars of Hump Crest

The article analyses the main factors affecting the design of the top of the hump and the degree of their influence on the position of the uncoupling point of the cut of several cars from the train during its disbandment. The authors give the recommendations to determine the main parameters of the hump.

Key words: hump crest, radii of vertical curves of moving and incline hump parts

Yu.O. Pazoysky, N.V. Popova **50**
Interaction Efficiency Increase Of Suburban Railway Transport by Constructing
of Transport Hubs at Terminal Stations of Moscow Central Diameters

The transport development in the Moscow railway junction requires new solutions including the construction of transport hubs at the terminal stations of Central Diameters and the introduction of the shuttle and clock-face schedule, and it will create conditions for increasing passenger traffic on the site and increase the appeal of suburban railway transport.

Key words: Moscow railway junction, transport hub, Moscow Central Diameters

A.S. Kosmodamiansky, V.I. Vorobyov, O.V. Izmerov, D.N. Shevchenko, E.V. Nikolaev **60**
Extended Classification of Mechanical Part of Locomotive Traction Drives

The article considers the development problem of the previously proposed classification of traction drives as a search tool for new patentable solutions. The authors propose an extended classification—algorithm which includes a class of intermediate solutions, as well as analysis levels of new constructive solutions.

Key words: problems of new technology creation, theory of knowledge, synthesis of technical solutions, classification

V.A. Esaulov, B.I. Davydov, K.N. Nikitenko, A.G. Lazarev **69**
Efficiency of Passing Double Freight Trains

This paper focuses on the comparative analysis of technical and economic characteristics of virtually and rigidly coupled freight trains, as well as united container trains. The authors give the recommendations for improving the process of passing virtually coupled trains. The scope and conditions of the application of technologies for passing of double freight trains are substantiated.

Key words: virtual-coupled train, virtual coupling technology, rigid coupling technology

Computer science and control

I.A. Zhuravlev, D.D. Bederdinov **79**
Theory and Practice of Application Ranging of Intelligent Transport Systems:
Methodology and Problematic

The application of modern technologies and intelligent approaches in the transport sector makes it possible to develop the transport infrastructure, resulting in a state called the intelligent transport system, where a significant advantage is achieved through the use of digital and computer technologies. But as such systems range, weaknesses are identified, such as insufficient protection against external threats.

Key words: intelligent transport systems, transport network, logistics, routing, traffic

Safety of human activity

D.A. Raylyan, V.I. Apattsev, D.V. Klimova **83**
Forecast of Vibration Impact and Structural Noise Levels during Lobnya
MCD-1 Station Reconstruction

Carrying out the reconstruction of railway stations with an increase in the effective length of the main and receiving-and-departure station tracks, it is necessary to assess the vibration impact from rolling stock throughout

the work section. The purpose of this article is to detect excess levels of vibration and noise exposure relative to 1.2.3685-21 [1] Sanitary and Epidemiological Rules and Regulations at the projected object.

Key words: vibration, noise, hygienic standards

I.A. Konoval, P.F. Bestemyanov

Ensuring Epidemiological Safety and Labour Protection of Conductors by Introduction of Antimicrobial Film in Cars 92

Nowadays, we should not forget about ensuring the epidemiological safety and labour protection of the conductors of passenger railway cars, who are constantly in contact with an increased amount of banal bacterial microflora which can cause infection and subsequent illness. One way to reduce transmission of pathogenic bacteria may be the antimicrobial film with silver ions PURZON060B (PURE ZONE).

Key words: epidemiological safety, conductors of passenger cars, antimicrobial film, PURZON060B

E.A. Trifonova, O.S. Sachkova

Labour Culture of Federal Penitentiary Service Employees 97

The article considers the complex concept of «culture of labour» to improve the working conditions of employees of the Federal Penitentiary Service. At the same time, it was established that in domestic and foreign economic literature there is no generally accepted definition of «culture of labour», especially in terms of employees of the Federal Penitentiary Service. The reason for this is the polysemantic nature of the concept of «culture» and accordingly the multidimensionality of the culture of labour.

Key words: labour culture, employees of the Federal Penitentiary Service, working conditions, multidimensionality, development

A.V. Kiselev, E.A. Kiseleva, V.V. Samoilov

Economic Effectiveness of Implementation of Labour Safety Measures 104

The article is devoted to the study of issues related to the calculations of the economic effect and the impact due to the implementation of labour safety measures. It has been established that it is advisable to use the system modelling method, to compare the expected level of reduction in occupational health and safety losses with the amount of funds invested to achieve it, as well as to apply methodological approaches developed within the framework of ergonomics.

Key words: labour safety, efficiency, payoff, model, profitability, assessment, system modelling

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

Risk Management of Stability State of Railway Transportation Process in Emergency Situations 109

The article presents the analysis and assessment of the state of the Functional Subsystem of Prevention and Elimination of Emergency Situations on railway transport of the Unified State System of Prevention and Elimination of Emergency Situations based on the results of its operation in 2021.

Key words: transportation process, stability, reliability, emergency risks, risk management, state estimate matrix

ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЕТРОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ШУМОЗАЩИТНЫЕ ЭКРАНЫ ВБЛИЗИ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ



О.И. Поддаева



Е.С. Ашпиз

Рассмотрен вопрос исследования ветровых нагрузок на шумозащитные экраны вблизи высокоскоростных железных дорог. Обоснована невозможность использования при проектировании объектов инфраструктуры высокоскоростных железных дорог зарубежной нормативной базы.

Ключевые слова: аэродинамика, ветровое воздействие, высокоскоростная железная дорога, шумозащитные экраны

EDN: OOPWUB

Железнодорожные сети имеют стратегическое значение для России, занимая огромный объем рынка как пассажирских, так и грузовых перевозок. На территории РФ, которая занимает 3-е место по общей длине железнодорожных путей, после США и Китая, на долю железнодорожного транспорта отведено около 45% всех грузовых перевозок в стране [1]. Особенно востребованным данный вид

транспорта является для тех регионов, в которых плохо развит автомобильный и водный транспорт.

Постоянно растущая транспортная активность населения и увеличивающийся объем грузовых перевозок требуют постоянного совершенствования структуры железнодорожной сети, а также повышения эффективности данной системы в целом. Важным направлением развития современного железнодоро-

Поддаева Ольга Игоревна, кандидат технических наук, доцент, заведующий Учебно-научно-производственной лабораторией по аэродинамическим и аэроакустическим испытаниям строительных конструкций Национального исследовательского Московского государственного строительного университета (НИУ МГСУ). Область научных интересов: аэродинамика зданий и сооружений, колебания плоских элементов конструкций. Автор более 110 научных работ, в том числе двух монографий и трех учебных пособий. Имеет восемь патентов на изобретения.

Ашпиз Евгений Самуилович, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Путь и путевое хозяйство» Института пути, строительства и сооружений Российского университета транспорта (ИПСС РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: земляное полотно железнодорожного пути, организация и проведение ремонтных работ для железнодорожного пути, нормативно-технические параметры обеспечения безопасной эксплуатации железнодорожного пути. Автор 83 научных работ, в том числе трех монографий и трех учебников. Имеет четыре патента на изобретения.

Федосова Анастасия Николаевна, кандидат технических наук, старший научный сотрудник Учебно-научно-производственной лаборатории по аэродинамическим и аэроакустическим испытаниям строительных конструкций Национального исследовательского Московского государственного строительного университета (НИУ МГСУ), доцент Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А.Тимирязева (РГАУ–МСХА имени К.А. Тимирязева). Область научных интересов: аэродинамика зданий и сооружений, колебания строительных конструкций, испытывающих динамические воздействия. Автор 42 научных работ, в том числе одной монографии. Имеет четыре патента на изобретения.

Грибач Юлия Сергеевна, инженер Учебно-научно-производственной лаборатории по аэродинамическим и аэроакустическим испытаниям строительных конструкций Национального исследовательского Московского государственного строительного университета (НИУ МГСУ). Область научных интересов: аэродинамика зданий и сооружений. Автор 27 научных работ.

рожного транспорта является увеличение скоростей экипажей, количества искусственных сооружений, плотности застройки и отношения площади дорожной сети к общей площади города. Реализация высокоскоростного движения непосредственно связана с увеличением надежности и безопасности железной дороги в целом. Изменение тех или иных параметров приводит к необходимости учета ряда факторов, влияние которых ранее не учитывалось. К таковым факторам можно отнести ветровое воздействие на объекты транспортной инфраструктуры, а также на верхнее строение пути [2;3].

Шумозащитный экран является одним из самых распространенных объектов инфраструктуры, строящихся вблизи железной дороги. Конструктивно шумозащитный экран представляет собой панель материала, которая закрепляется на металлические стойки и крепится к фундаменту [4]. Высота шумозащитного экрана меняется в зависимости от требований по снижению шума, обычно составляет 2–6 метра.

Поэтому одним из важнейших направлений является исследование влияния ветрового воздействия на объекты железнодорожной инфраструктуры, к числу которых можно отнести шумозащитные экраны [5]. При проектировании высокоскоростных магистралей отдельным вопросом, который стоит перед проектировщиками, является взаимодействие высокоскоростного поезда и шумозащитного экрана. Поскольку шумозащитный экран находится в непосредственной близости от железнодорожного полотна и имеет размеры, позволяющие оказывать большое влияние на местные ветровые потоки.

Российские нормы проектирования не в полной мере регламентируют проектирование, строительство и эксплуатацию высокоскоростных линий. В 2018 году был утвержден свод правил [6], который частично регламентирует расчет шумозащитных экранов. В [6] рассматривается расчетная ситуация, при которой на шумозащитный экран действует только поток воздуха, но не рассматриваются ситуации, при которых воздушный поток воздействует на шумозащитный экран при обтекании высокоскоростного поезда.

Применение зарубежных требований на территории РФ не представляется возможным ввиду следующих причин [7]:

- российские стандарты в области надежности отличаются от зарубежных;
- ширина колеи в России больше, вследствие чего поезд более устойчив к опрокидыванию;
- в России высокоскоростные поезда обычно проходят рядом с обычными пассажирскими и грузовыми поездами.

В связи с отсутствием в общедоступных источниках информации по исследованию расчетной ситуации взаимодействия объектов инфраструктуры с высокоскоростным поездом было проведено экспериментальное исследование с целью выявления разницы между значениями ветровой нагрузки, полученными в результате аналитического расчета по нормативным документам и полученными в результате физического моделирования [8–10].

В данной работе представлены результаты физических экспериментов в большой исследовательской градиентной аэродинамической трубе с различными направлениями воздушного потока на шумозащитный экран [11;12] при обтекании высокоскоростного поезда. Задача рассматривалась статической, т.е. поезд оставался неподвижным. Шумозащитный экран по своей длине принят много больше длины поезда. Для сравнения изменений обтекания воздушным потоком поезда был проведен эксперимент в отсутствие поезда.

В качестве модели для исследования была принята модель Г-образного шумозащитного экрана. Такой вид шумозащитного экрана является одним из наиболее эффективных с точки зрения соотношения высоты шумозащитного экрана к количеству отраженного шума (рис. 1).



Рис. 1. Профиль шумозащитного экрана

Моделью поезда был выбран AVE класс 103 (рис. 2). На базе семейства данных поездов был построен электропоезд «Сапсан».

Масштаб модели шумозащитного экрана и поезда были выбраны 1:50. Такой масштаб связан с размерами поворотного стола в аэродинамической трубе, ограничениями трубы. Модель поезда состояла из локомотива и одного вагона, с сохранением их геометрически обтекаемой формы. Сама модель была изготовлена из массива ПВХ при помощи 3D-фрезеровки с ЧПУ. На фрезеровочном станке выпиливались «слои» модели после чего они склеивались между собой. Вся модель шлифовалась для придания обтекаемой формы (рис. 3).

Для изготовления шумозащитного экрана сначала были сделаны направляющие стойки на лазерном станке, а также две панели, вырезанные из фанеры толщиной 4 мм. На направляющие стойки при помощи клея ПВА крепились панели, одна к вертикальной части, другая к наклонной. Расстояние между стойками составило 100 мм, что соответствует реальным значениям в 5 м. Далее между стойками в панелях делались отверстия для установки трубок приема давления с поверхности экрана. Всего было сделано 108 контрольных точек. Алюминиевым скотчем проклеивались стыки между панелями для исключения влияния зазоров на результаты экспериментов (рис. 4).

Для оценки нагрузок был проведен ряд экспериментов в большой градиентной аэродинамической трубе. Значения давления на поверхности шумозащитного экрана измерялась при помощи датчиков дифференциального давления [13–15]. Аэродинамическое давление вычислялось для следующих расчетных ситуаций:

1. Модель шумозащитного экрана, без модели высокоскоростного поезда. Данная модель была выбрана в качестве эталонной.

2. Модель шумозащитного экрана и модель высокоскоростного поезда, расположенные перпендикулярно потоку.

3. Модель шумозащитного экрана и модель высокоскоростного поезда, расположенные под углом 30°.

4. Модель шумозащитного экрана и модель высокоскоростного поезда, расположенные под углом 60°.

5. Модель шумозащитного экрана и модель высокоскоростного поезда, расположенные параллельно потоку.

Обе модели жестко крепились к основанию трубы при помощи уголков. Силиконовые трубки спускались в специальное отверстие позади моделей. Датчики очень чувствительны к колебаниям силиконовых трубок, поэтому они были зафиксированы при помощи скотча к обратной стороне шумозащитного экрана и полу [16;17]. Скорость потока во всех экспериментах была 15 м/с. Расстояние между поездом и дорожным полотном в таких масштабах будет составлять доли миллиметра, поэтому им можно пренебречь. Расстояние между поездом и шумозащитным экраном взято 80 мм, что соответствует в масштабе максимальному расстоянию 4 м согласно [6]. Загромождения в трубе составляют менее 10% от площади сечения трубы.

В результате эксперимента были получены осредненные значения давления в каждой контрольной точке для всех расчетных ситуаций. По формуле были вычислены значения лобового сопротивления [18;19]:

$$C_{pi} = \frac{2P_i}{\rho V_\infty^2}, \quad (1)$$

где P_i — давление в контрольной точке; ρ — давление в рабочей части; V — скорость потока.

Ниже приведены графики значений лобового сопротивления по длине шумозащитного экрана (рис. 5–9).



Рис. 2. Локомотив поезда AVE класс 103



Рис. 3. Модель локомотива

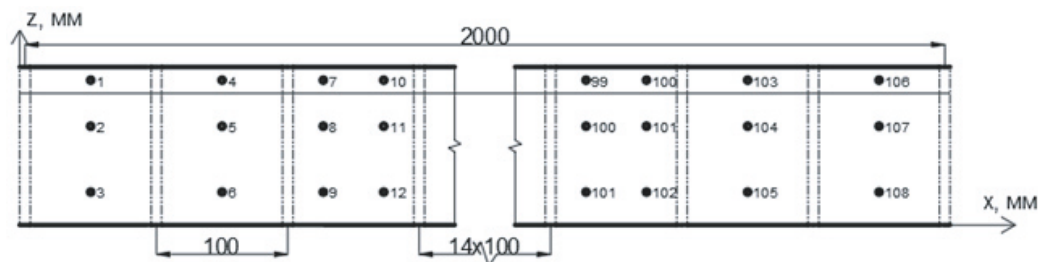


Рис. 4. Схема расположения контрольных точек

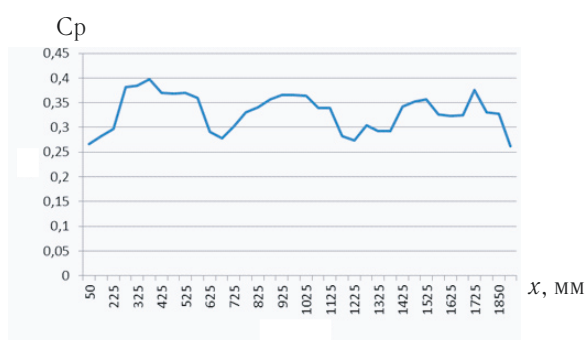


Рис. 5. Распределение коэффициента лобового сопротивления по длине шумозащитного экрана при 1-й расчетной ситуации в средних точках



Рис. 6. Распределение коэффициента лобового сопротивления по длине шумозащитного экрана при 2-й расчетной ситуации в средних точках

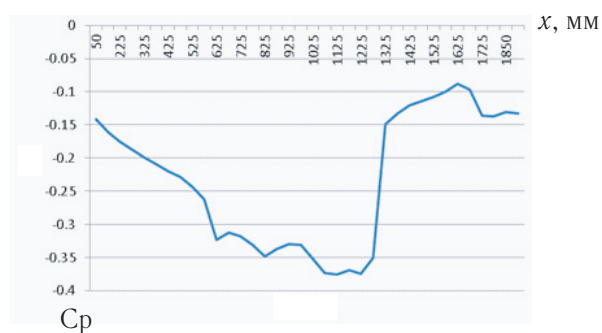


Рис. 7. Распределение коэффициента лобового сопротивления по длине шумозащитного экрана при 3-й расчетной ситуации в средних точках

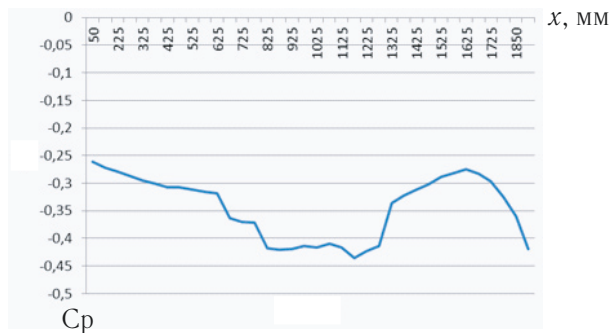


Рис. 8. Распределение коэффициента лобового сопротивления по длине шумозащитного экрана при 4-й расчетной ситуации в средних точках

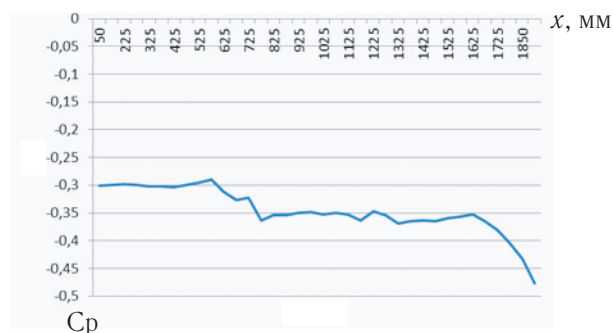


Рис. 9. Распределение коэффициента лобового сопротивления по длине шумозащитного экрана при 5-й расчетной ситуации в средних точках

В ходе проведения анализа полученных результатов было выявлено, что результаты для 1-й расчетной ситуации схожи с результатами, получаемыми при выполнении расчетов по нормативным документам [5].

Для 2-й и 3-й расчетных ситуаций (см. рис. 6–8), когда система «поезд-шумозащитный экран» расположена перпендикулярно потоку и под углами 30° и 60° , выявлены три зоны, в которых значения коэффициентов C_p различны, на что влияет обтекание поезда ветровым потоком.

Для 5-й расчетной ситуации, где система располагается параллельно потоку, выявлен иной характер распределения коэффициентов C_p . На данный характер распределения аэродинамических коэффициентов влияет форма задней части поезда.

На основании представленных результатов можно сделать вывод о том, что при проектировании шумозащитных экранов для обеспечения надежности конструкций необходимо учитывать не только внешнюю ветровую нагрузку, как климатическую составляющую, но и ветровую нагрузку от движущегося вблизи высокоскоростного поезда, который меняет направление воздушных потоков в значительной мере. Для определения количественных оценок необходимо провести дальнейшие исследования в данном направлении. 

Литература

1. Штанов, В. Экспорт каменного угля — главный драйвер роста грузоперевозок / В. Штанов. — Текст: электронный // Ведомости: [сайт]. — 2018. — 18 декабря. — URL: <https://www.vedomosti.ru/business/article/2018/12/18/789521-eksport>.
2. Мирошниченко, А. А. Исследование воздушных потоков, возникающих вследствие прохождения железнодорожного состава, и рассмотрение возможности их использования / А. А. Мирошниченко, Е. В. Соломин. — Текст: непосредственный // Наука ЮУрГУ: материалы 70-й научной конференции Секции технических наук; отв. за выпуск А. А. Дьяконов. — Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2018. — С. 475–483.
3. Аэродинамическое воздействие скоростных поездов на объекты инфраструктуры ОАО «РЖД» / С. М. Каплунов, Н. Г. Вальес, Н. А. Махутов, С. И. Дубинский, В. А. Самсонов. — Текст: непосредственный // Бюллетень объединенного ученого совета ОАО «РЖД». — 2016. — № 1–2. — С. 47–57.
4. Айрбабамян, С. А. Виды шумозащитных экранов / С. А. Айрбабамян, Е. А. Бугарёв. — Текст: непосредственный // Известия МГТУ «МАМИ». — 2013. — Т. 4, № 1(15). — С. 134–138.
5. Аистов В. А. Исследование влияние формы шумозащитного экрана на его акустическую эффективность / В. А. Аистов, И. Л. Шубин. — Текст: непосредственный // Academia. Архитектура и строительство. — 2009. — № 5. — С. 200–208.
6. СП 338.1325800.2018. Защита от шума для высокоскоростных линий. Правила проектирования и строительства = High-speed railways noise protection. Design and construction regulations: Свод правил: издание официальное: утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 5 февраля 2018 г. N 69/пр: введен впервые: дата введения. 2018-06-08 / Разработан ООО «Институт акустических конструкций». — Москва: Стандартинформ, 2018. — 30 с. — Текст: непосредственный.
7. Назаров, О. Н. Научное обеспечение разработки нормативной базы и технологических решений для высокоскоростного движения в России / О. Н. Назаров, Д. Е. Кирюшин. — Текст: непосредственный // Электрификация транспорта. — 2014. — № 7. — С. 39–45.
8. Loktev D. A., Loktev A. A. Development of a user interface for an integrated system of video monitoring based on ontologies // Contemporary Engineering Sciences. 2015. T. 8. № 20. С. 789–797.
9. Loktev A. A. Dynamic contact of a spherical indenter and a prestressed orthotropic Uflyand-Mindlin plate // Acta Mechanica. 2011. T. 222. № 1–2. — С. 17–25.
10. Loktev A. A., Korolev V. V., Poddaeva O. I., Chernikov I. Y. U. Mathematical modeling of antenna-mast structures with aerodynamic effects // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vladivostok, 2018. С. 032018.
11. Локтев, А. А. Ударное взаимодействие твердого тела и упругой ортотропной пластинки / А. А. Локтев. — Текст: непосредственный // Механика композиционных материалов и конструкций. — 2005. — Т. 11, № 4. — С. 494–508.

12. Математическое моделирование аэродинамического поведения антенномачтовых сооружений при организации связи на железнодорожном транспорте / А.А. Локтев, В.В. Королев, О.И. Поддаева, К.Д. Степанов, И.Ю. Черников. — Текст: непосредственный // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. — 2018. — Т.77, №2. — С. 77–83.

13. Моделирование мостотоннеля для пропуска легкового транспорта через объекты инфраструктуры / А.А. Локтев, В.П. Сычёв, О.И. Поддаева, А.В. Потапов, Г.Н. Талашкин. — Текст: непосредственный // Наука и техника транспорта. — 2017. — № 1. — С. 73–78.

14. Loktev A., Korolev V., Shishkina I., Illarionova L., Loktev D., Gridasova E. Perspective constructions of bridge crossings on transport lines // Advances in Intelligent Systems and Computing (см. в книгах). 2020. T. 1116 AISC. — С. 209–218.

15. Разработка систем информационного моделирования для управления объектами инфраструктуры железнодорожного транспорта на протяжении жизненного цикла / В.Н. Дмитриев, О.В. Дружинина, А.А. Локтев, Т.Н. Шеронова. — Текст: непосредственный // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. — 2020. — № 10. — С. 20–26.

16. Локтев, А.А. Решение задачи ударного взаимодействия твердого тела и сферической оболочки лучевым методом / А.А. Локтев, Д.А. Локтев. — Текст: непосредственный // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Физика. Математика. — 2007. — № 2. — С. 128–135.

17. Локтев, Д.А. Измерение расстояния до движущегося объекта с помощью комплексной системы видеомониторинга / Д.А. Локтев, А.Н. Алфимцев. — Текст: непосредственный // Инженерный журнал: наука и инновации. — 2013. — № 11(23). — С.4.

18. Повышение информативности оценки содержания железнодорожного пути / В.П. Сычёв, А.А. Локтев, Д.А. Локтев, В.В. Виноградов. — Текст: непосредственный // Мир транспорта. — 2017. — Т.15. №2(69). — С. 20–31.

19. Loktev A., Korolev V., Shishkina I., Chernova L., Geluh P., Savin A., Loktev D. Modeling of railway track sections on approaches to constructive works and selection of track parameters for its normal functioning // Advances in Intelligent Systems and Computing (см. в книгах). — 2020. — Т.982. — С. 325–336.

ИССЛЕДОВАНИЕ ХОДОВЫХ КАЧЕСТВ ВНОВЬ СОЗДАВАЕМЫХ ВАГОНОВ СО СНИЖЕННЫМ ЗНАЧЕНИЕМ МАССЫ ТАРЫ ПУТЕМ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ СОСТАВА



О.Ю. Кривич



И.К. Сергеев

В статье обоснован наиболее оптимальный способ увеличения грузоподъемности вагонов; выделены ключевые параметры, влияющие на безопасность эксплуатации данных вагонов и уточнен порядок их допуска к перевозочному процессу.

Ключевые слова: применение новых материалов, снижение массы тары, ходовые качества вагона, динамика вагона

EDN: JRGVXC

Современное состояние транспортной системы нашей страны располагает потенциалом, который необходимо раскрывать для увеличения провозной способности железных дорог. Для осуществления данной задачи существует несколько подходов. Один из широко используемых как в нашей стране, так и за рубежом — это увеличение осевой нагрузки нетяговых единиц подвижного состава. Данный метод подразумевает под собой замену ходовых частей вагонов, несет в себе колоссальные капитальные затраты на усовершенствование верхнего строения пути, способного воспринимать большие нагрузки, на которые изначально не была рассчитана его конструкция. Другим же методом увеличения провозной способности выступает снижение массы тары вагонов. Это позволит

увеличить массу груза нетто без увеличения негативных воздействий на верхнее строение пути. Наиболее актуальным такой подход является для специализированных вагонов и, в частности, цистерн, перевозящих грузы высокой плотности. На такой вид подвижного состава наложены ограничения именно по осевой нагрузке, хотя геометрические параметры позволяют в довольно большой степени увеличивать как линейные размеры вагона, так и диаметр котла.

На данный момент активно ведутся исследования по использованию в конструкции вагонов композитных материалов, а именно стеклопластика. Данный материал обладает плотностью в 4,5 раза меньшей плотности стали, а также, не несет ущерба в прочностных качествах. Кроме того, в эксплуатации находятся

Кривич Ольга Юрьевна, кандидат технических наук, доцент, начальник Учебного отдела учебно-методического многофункционального центра Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: повышение эффективности технологической подготовки вагоноремонтного производства, оценка потребительских свойств продукции железнодорожного транспорта. Автор 54 научных работ.

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

Емельянов Олег Юрьевич, аспирант кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» Института транспортной техники и систем управления Российского университета транспорта (ИТТСУ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: прочность подвижного состава, легковесные материалы. Автор семи научных работ.

цистерны с котлом из алюминия. Ярким представителем таких цистерн является модель 15-6901. При сравнении характеристик данной модели с цистернами моделей 15-157, 15-1226, 15-1406 можно отчетливо видеть, что вагон с котлом из алюминия обладает увеличенным полезным перевозимым объемом груза без изменения таких параметров как масса тары вагона и его осевая нагрузка. Кроме того, такие материалы как стеклопластик и алюминий обладают антикоррозионными свойствами и не предполагают нанесение устойчивых к агрессивным средам покрытий на внутреннюю поверхность, что неизбежно положительно сказывается на экономических показателях, увеличивая срок службы котлов из данных материалов и снижая издержки по их содержанию.

При проектировании единиц подвижного состава важнейшим критерием является соответствие характеристик разработанной конструкции требованиям Норм для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) [1]. При реализации вышеописанного метода развития конструкции нетяговых единиц подвижного состава, наиболее изменяемыми параметрами являются масса вагона и его линейные размеры. Данные характеристики являются важнейшими аргументами в функциях расчета коэффициентов устойчивости вагона от вкатывания гребня колеса на головку рельса (1); от опрокидывания вагона под действием продольных сжимающих и растягивающих сил в составе поезда внутрь или наружу кривой соответственно (2).

$$K_{yc} = \frac{\operatorname{tg} \beta - \mu}{1 + \operatorname{tg} \beta \mu} \cdot \frac{P_{B1}}{P_B} \geq [K_{yc}], \quad (1)$$

где β — угол между касательной к поверхности гребня колеса и горизонтально;

μ — коэффициент трения взаимодействующих поверхностей (колеса и рельса);

P_{B1} — вертикальная составляющая нагрузки на набегающее колесо;

P_B — горизонтальная составляющая динамического давления колеса на головку рельса;

$[K_{yc}]$ — допустимый запас устойчивости вагона от вкатывания, который равняется 1,4.

$$K_{yc} = \frac{P_{ст}}{P_{дин}} \geq [K_{yc}], \quad (2)$$

где $P_{ст}$ — статическая вертикальная сила давления колеса на рельс, в которой учитывается обезгрузка при действии вертикальных составляющих продольных сил, приходящихся на автосцепки;

$P_{дин}$ — динамическая вертикальная сила давления колеса на рельс, в которой учитывается обезгрузка при действии вышеперечисленных сил;

$[K_{yc}]$ — допустимый запас устойчивости вагона от опрокидывания ($[K_{yc}] = 1,3$ при проверке опрокидывания наружу кривой; $[K_{yc}] = 1,2$ при проверке опрокидывания внутрь кривой).

В значениях параметров P_{B1} , $P_{ст}$, $P_{дин}$ ключевую роль играют значения массы тары вагона, расположение его центра тяжести и его геометрические параметры, что показывают формулы (3–5).

$$P_{B1} = 2Q_{ш} \left(\frac{b_1 - a_2}{L} (1 - K_{дв}) - \frac{b_1}{L} K_{дг} \right) + H_p \frac{R}{L} + q_{кп} \frac{b_1 - a_2}{L}, \quad (3)$$

$$P_{ст} = \frac{G_B - 2P_N^B}{2n}, \quad (4)$$

$$P_{дин} = (F_K h_{ц} + n_T F_T h_{цт} + F_{вк} h_{вк} + h_T F_{вт} h_{вт} + 2P_N^n h_a + G_K \Delta_K + n_T G_T \Delta_T) / (n2S). \quad (5)$$

В формуле (3) аргумент $Q_{ш}$ — это вес обрессоренных частей вагона, приходящихся на одну шейку оси, что напрямую зависит от массы тары. Формула (4) включает в себя значение P_N^B , а это вертикальная составляющая продольной силы, действующая на кузов вагона через автосцепку, которая в свою очередь зависит как от величины продольной силы, так и от расположения центров тяжести различных элементов конструкции вагона, что также влияет на значение параметра $P_{дин}$ (5).

Кроме того, при расчете значения вертикальной составляющей продольной силы, которая действует на кузов вагона через автосцепку, используется установленное в [1] значение расчетной величины продольной силы, для которого и производится проверка соответствия требованиям безопасности. Значение этой силы нормировано и приводится для различной осности вагона, порожнего или груженого его состояния, а также для ситуации сжатия или растяжения его продольными силами.

Ввиду изменения параметров массы и геометрических размеров вагона, разработанная его конструкция может не соответствовать предъявляемым критериям по [1]. Вследствие этого будет запрещена эксплуатация такого вагона на общей сети железных дорог. Учитывая серьезную экономическую эффективность от внедрения таких специализированных вагонов, целесообразно накладывать на них дополнительные ограничения по эксплуатации при несоответствии их характеристик требованиям [1] и допускать к перевозочному процессу.

Специализированные вагоны как правило закрепляются за конкретным маршрутом, а не эксплуати-

руются на всей сети железных дорог. В случае, если на маршруте, за которым закреплен конкретный вагон или состав вагонов, отсутствуют критические для данного состава элементы пути (кривые малых радиусов, сильные переломы продольного профиля пути), то следование состава по такому маршруту не выходит за рамки безопасной эксплуатации.

Для исследования динамических воздействий, возникающих в составе поезда при его следовании по конкретному маршруту разработана программа, получающая на входе общие параметры исследуемого процесса (рис. 1), типы вагонов в поезде и их характеристики (рис. 2) и параметры профиля пути (рис. 3).

С помощью данной программы не составляет труда оперативно смоделировать процесс движения заданного состава по конкретному маршруту. В ходе моделирования рассчитываются продольные силовые воздействия единиц подвижного состава друг на друга. На рис. 4 приведена форма вывода результатов моделирования продольных сил в составе из сорока цистерн, движущихся по некоторому профилю пути.

Как следует из вышесказанного, расчетные значения продольных сил для подсчета выражений (1–5) могут быть определены с использованием максимумов графика продольных сил реакций состава. Следовательно, в этом случае при расчете можно не пользоваться их нормативными значениями, приведенными в [1]. Таким образом, зная максимальные значения динамических сил, возникающих в составе при его движении по конкретному профилю пути, целесообразно подвергнуть пересчету коэффициенты, влияющие на безопасность движения. В случае их соответствия нормируемым значениям по требова-

Рис. 1. Форма ввода общих параметров процесса

ниям безопасности, такой вагон следует использовать в перевозочном процессе, наложив на него при этом соответствующие ограничения, которые могут выражаться в допуске только к конкретному маршруту, использовании только в составе однотипных вагонов, в ограничениях по параметрам пути. В противном же случае необходима доработка разработанной конструкции, которая может заключаться, например, в изменении центра тяжести таких вагонов с облегченными кузовами, в установке шкворней замкового типа, в замене типа поглощающего аппарата или запрете их [вагонов] к эксплуатации. 

Формирование состава							
Тип вагона	Загрузка	Тара	Масса тележ.	Момент или Высота ц.т.	База вагона	Длина конс.	
т	т	т	т*кв.м	м	м	м	
Платформа 70	21	9,6	1000	1,3	9,72	1,5	
Полувагон 78	22	9,6	1000	1,8	8,65	1,5	
Цистерна 4-57	23	9,6	1000	1,93	7,8	1	

Сформирован состав из 40 вагонов

№ п/п	Тип вагона	Загрузка	Тара	Масса тележ.	Момент или Высота ц.т.	База	Консоль	Поглощ.	Кол-во ваг.
	т	т	т	т*кв.м	м	м	м	аппарат	шт.
1	Платформа 70	21	9,6	1000	1,3	9,72	1,5	73-ZW	40

Удалить строку

Выбор поглощающего аппарата

- 73-ZW
- 73-ZW-Y2
- P-2П
- P-5П
- Ш-2-В
- Ш-6-ТО-4
- Ш-1-ТМ
- ПФ-4
- ПМК-110А
- АГО-120М

Количество однотипных вагонов

Рис. 2. Форма ввода параметров вагонов состава

Профиль пути

Укажите число участков пути

№ участка, -	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Окончание участка	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000
Градиент, -	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Рис. 3. Форма ввода параметров профиля пути



Рис. 4. Форма вывода результатов моделирования

Литература

1. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). — Москва: ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996. — 317 с. — Текст: непосредственный.
2. Емельянов, О.Ю. Развитие транспортной системы и экономики путём качественного преобразования конструкции подвижного состава / О.Ю. Емельянов, А.И. Быков. — Текст: непосредственный // Материалы молодежного научного форума студентов и аспирантов транспортных вузов с международным участием «Актуальные аспекты и приоритетные направления развития транспортной отрасли». — Москва: Перо, 2019. — С. 284–287. — ISBN 978-5-00150-796-3.
3. Сергеев, И.К. К вопросу о методиках оценки некоторых динамических параметров подвижного состава при высокоскоростном движении / И.К. Сергеев, О.Ю. Емельянов, Д.В. Ковин. — Текст: электронный // Меридиан. — 2020. — №2. — С. 465–467. — URL: <http://www.meridian-journal.ru/site/article?id=2-669&pdf=1> (дата обращения: 01.10.2021).

ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩАЯ СИСТЕМА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ БАЛЛАСТА, РЕЛЬСОВ И ШПАЛ НА ОСНОВЕ МОДЕРНИЗИРУЕМОГО СПЕЦИАЛЬНОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА



В.П. Сычев



А.А. Локтев

Обосновывается и приводится техническое решение по созданию информационно - управляющей системы перемещения балласта, рельсов и шпал на основе эксплуатируемого специального подвижного состава. Даны требования к его модернизации с целью их применимости в этой системе.

Ключевые слова: информационно-измерительная система, балласт, рельсы, шпалы, железнодорожный путь

EDN: HRVEZE

При выполнении работ по текущему содержанию и ремонтам пути требуется выполнять большой объем работ по выгрузке и укладке балласта в путь. Выявленные отклонения от норм содержания рельсовой колеи устраняются, причем для этих целей используется балласт, который либо подсыпают в места отклонений, либо предварительно вырезают. Оптимальное расходование балласта является одной из приоритетных задач путевого хозяйства [1;2]. Проводить оптимизацию расходования балласта при использовании ныне эксплуатируемого специального подвижного состава (СПС) затруднительно. В

общем виде технология технического обслуживания железнодорожного пути может быть разделена на следующие взаимоувязанные операции: измерение геометрических очертаний рельсовой нити, перемещение рельсовых нитей и/или шпал в горизонтальной и вертикальной плоскостях, выправка и рихтовка, регулировка стыковых зазоров подъемка рельсовой нити: подсыпка или уборка излишнего балласта с поверхности балластной призмы и из-под подошвы рельсов, восстановление формы (оправка) балластной призмы, «прогροхотка» щебня в местах выплесков и т.п.

Сычев Вячеслав Петрович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Транспортное строительство» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: создание новых технологий и технических средств для повышения эффективности технического обслуживания железнодорожного пути. Автор 155 научных работ. Имеет 20 патентов на изобретения.

Локтев Алексей Алексеевич, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой «Транспортное строительство» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: механика деформированного тела, моделирование объектов транспортной инфраструктуры, железнодорожный путь, реконструкция объектов исторического и архитектурного наследия. Автор 187 научных работ, в том числе трех монографий.

Сычев Петр Вячеславович, кандидат технических наук, начальник отдела ООО «ВАГОНПУТЬМАШ». Область научных интересов: математическое моделирование и автоматизация технологических процессов и технических средств преимущественно для технического обслуживания железнодорожного пути. Автор 55 научных работ. Имеет 10 патентов на изобретения.

Цель исследования

Автоматизация процессов восстановления рельсовой колеи до нормативных значений ее содержания; создание информационно-управляющей системы перемещения балласта, рельсов и шпал первого этапа на основе модернизации эксплуатируемых технических средств.

Методы исследования

Выбор направлений и тенденций создания систем сплошного контроля рельсовой колеи на основе проводимого анализа отечественных и зарубежных средств диагностики показал, что наиболее используемыми ОАО «РЖД» являются следующие технические средства: путеизмерительные тележки; вагоны-путеизмерители типа КВЛ-П и ЦНИИ-4 разных модификаций; дефектоскопно-путеизмерительные автотрисы; диагностические комплексы контроля инфраструктуры «ЭРА» и «ИНТЕГРАЛ»; автоматические путеизмерительные модули на подвижном составе и др. [3–5]. Все эти средства оценивают геометрические отклонения рельсовой колеи в сечениях железнодорожного пути. Нормы содержания железнодорожного пути устанавливают допускаемые отступления геометрических параметров рельсовой колеи от нулевой линии. Превышение отступлений выше установленной нормы считают неисправностью железнодорожного пути, которая подлежит плановому или немедленному устранению.

Технологический процесс по устранению выявленных неисправностей пути в плане, продольном профиле и по уровню заключается в перемещении рельсовых нитей по уровню и в плане (выправка, рихтовка, подъемка) и подсыпке на путь или удалении с пути балласта с использованием соответствующих устройств, грузовых вагонов по перемещению балласта и путевых машин, в частности, выправочно-рихтовочных машин типа ВПР.

На рис. 1 приведены геометрические очертания рельсовых нитей, измеряемые перечисленными выше

техническими средствами. На рис. 1,а приведена запись очертаний рельсовой колеи по уровню с пороговыми значениями норм содержания 20, 40 и 60 мм относительно нулевой линии, соответствующие второй, третьей и четвертой степеням отступлений. На рис. 1,б дана стилизованная запись $A(L)$ случайного процесса очертаний рельсовых нитей по уровню с нелинейным преобразованием $A \rightarrow 1(A-C)$ с детектором по C , соответствующим одному из степеней отступлений от норм содержания пути. Проведенный анализ технических возможностей вагонов-путеизмерителей, эксплуатируемых на железных дорогах России показывает, что наиболее подготовлен к автоматизации вагон-путеизмеритель ВПС ЦНИИ 4 [6;7]. Перемещение балласта, выгрузка и распределение на пути осуществляется с помощью специального подвижного состава, хоппер-дозаторов. Анализ их эксплуатации показал, что хоппер-дозаторы модели ЦНИИ ДВЗ М неприменимы для решения задачи автоматизации процессов распределения балласта по причине отсутствия возможности порционной выгрузки. Хоппер-дозатор модели ВПМ 770 пригоден для применения в системе автоматизации технического обслуживания [8].

Выправочно-подбивочно-отделочные работы на железных дорогах России выполняются машинами отечественного, зарубежного или совместного производства: ВПР-02 М, ВПРС-02, ВПРС-03: ВПРС-05, ВПР-04, Unimat, ПМА-1, ПМА-С, «Duomatic 09-32 CSM», «Dynamic Stophexpress 09-3X» и др. Распределение балласта осуществляется специальными вагонами грузового типа, преимущественно хоппер-дозаторами. На этих машинах установлены микропроцессорные системы управления (МС выправки), рассчитывающие стрелы изгиба рельсовой колеи по известным [9;10] алгоритмам, реализованным программным обеспечением. Наиболее известные и применяемые в алгоритмах методы расчета выправки кривых: метод разности эвольвент и метод последовательных приближений, который наиболее применим

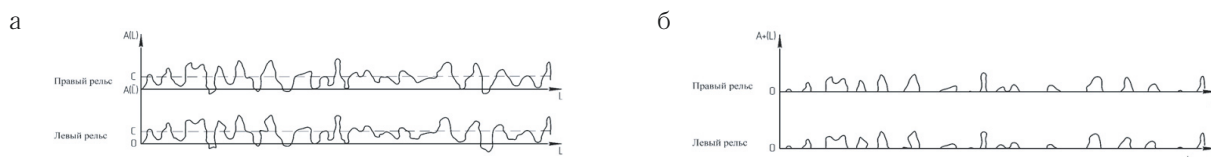


Рис. 1. Геометрические очертания рельсовых нитей

на практике. Метод последовательных приближений заключается в том, что при сдвиге пути в точке n стрела в этой точке изменяется на величину сдвижки, а в соседних точках $n-1$ и $n+1$ — на половину величины сдвижки в точке n .

Зависимость величин рассчитываемых стрел F_n в точке n от реально измеренных стрел f_n в точке n и сдвигов в смежных точках C_{n-1} , C_{n+1}

$$F_n = f_n + C_n - \frac{C_{n-1} + C_{n+1}}{2}. \quad (1)$$

Алгоритм следующий: в каждом сечении пути рассчитываются величины смещения в вертикальной и горизонтальной плоскости и сравниваются со значениями стрелы изгиба, установленными проектом.

МС выправки пути применяется при измерении фактического положения пути в плане, продольном и поперечном профиле; в расчетах координат эксплуатируемого пути в плане и профиле со стрелами изгиба асимметричных хорд СПС; при оптимизации пути в плане с учетом требований и ограничений в том числе по условиям эксплуатации; при управлении выправочно-подбивочно-риховочными работами с постановкой пути в заданное положение в плане, профилю в системе технического обслуживания и ремонтов железнодорожного пути; формированию и сопровождению баз данных по плану и профилю пути, оценку возвышения наружного рельса, фактических и допускаемых скоростей движения при паспортизации железнодорожного пути и обмену данными с другими подсистемами АСУ путевого хозяйства на разных уровнях управления. К числу недостатков можно отнести применение метода сглаживания, который снижает точность выправки.

Для устранения этого недостатка применяется следующий алгоритм. Измеряются стрелы изгиба (прогиба) пути относительно неподвижных координат, а выправку пути проводят по результату сравнения этого положения пути в пространстве, измерения стрел изгиба (прогиба) пути и возвышения одного рельса относительно другого. Информация накапливается на всем протяжении измеряемого участка пути, подлежащего выправке, а затем расчетным путем определяется положение пути в пространстве относительно неподвижных координат (начала и конца работы СПС).

Система линейных уравнений сглаженных значений выглядит следующим образом [9; 11].

$$q_1 = [1 - a/s] y_0 + y_1 - ay_3/s$$

$$q_2 = [1 - a/s] y_1 + y_2 - ay_4/s$$

$$\dots\dots\dots (2)$$

$$q_i = [1 - a/s] y_{i-1} + y_i - ay_{i+2}/s$$

$$\dots\dots\dots$$

$$q_n = [1 - a/s] y_{n-1} + y_n - ay_{n+2}/s,$$

где q_i — сглаженные значения стрелы в i -й точке; y_i — ордината неровности пути в i -й точке; y_{i-1} — ордината неровности пути, измеренная от задней концевой тележки; y_{i+2} — ордината неровности пути, измеренная от передней концевой тележки.

Ординаты вычисляются решением дифференциального уравнения:

$$\pm \frac{\frac{d^2 y}{dx^2}}{\sqrt{1 + \left[\frac{dy}{dx} \right]^2}} = \frac{M(x)}{EJ}, \quad (3)$$

где x — текущее значение координаты; y — ордината неровности в точке « x »; $M(x)$ — изгибающий момент в точке « x »; EJ — жесткость путевой решетки.

Зависимость результатов решения от фактического положения пути в этом случае отсутствует.

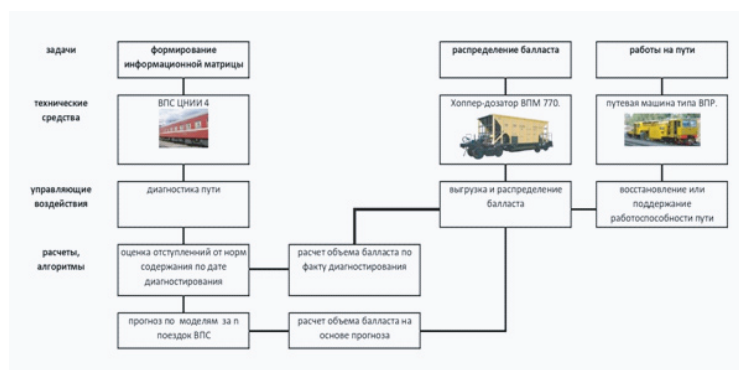
Таким образом, при использовании описанного выше алгоритма стандартная микропроцессорная система, устанавливаемая на выправочно-подбивочно-риховочные машины, может быть применена для автоматизации распределения балласта и перемещения рельсов.

На основе имеющихся на железных дорогах технических средств предлагается создать информационно-управляющую систему распределения и перемещения балласта, шпал и рельсов (ИУС) и сформировать первоочередные задачи ИУС, которые в схематичном виде представлены на рис. 2.

Результаты исследования

Разработаны требования к техническому обеспечению системы.

Система состоит из блоков управления рабочими органами (БУ), управляемыми по радиоканалу [12]. На каждом СПС установлены стационарные БУ, причем руководителю работ, обслуживающему СПС дополнительно выдаются переносной (ППУ) и дополнительный пульты управления (ДПУ). Конструкция системы обеспечивает ее работоспособность в условиях радиопомех от контактной сети в радиусе 300 м. БУ принимает радиосигналы от ППУ и ДПУ и управляет соответствующими электромагнитными клапанами, установленными на СПС. К БУ подключается датчик ГЛОНАСС, от которого сигнал о координатах



*Рис. 2. Первочередные задачи ИУС
перемещения балласта, шпал и рельсов*

СПС передается на ДПУ. Для электропитания БУ и ДПУ применяются типовые аккумуляторные батареи (АКБ) напряжением 24 В.

Обеспечивается возможность управления с ППУ как одной СПС, так и одновременно несколькими, задействованными в технологическом процессе ремонта пути. ДПУ подключается к персональному компьютеру (ПК) для компьютеризованного управления открытием клапанов и оснащен выносной антенной для двусторонней связи с БУ. Число одновременно управляемых единиц СПС — до 20.

Таким образом, ИУС содержит ряд функциональных модулей: измерение состояния железнодорожного пути (на базе ВПС ЦНИИ 4); распределение балласта на пути (хоппер-дозатор ВПМ 770); управление воздействием на путь путевыми машинами, реализующими комплексы технологических задач. К ним относятся: восстановления балластной призмы, постановка пути в проектное положение, замена загрязненного балласта на чистый, устранения отступлений от норм содержания рельсовой колес, замены шпал, изменение радиуса кривой, смещение рельсовых нитей, и т.д. К числу таких модулей можно отнести: модуль выработки управляющих воздействий на перемещение балласта железнодорожного пути; модуль выработки управляющих воздействий на перемещение рельсовых нитей и шпал; модуль, определяющий местоположение системы и формирующий цифровую карту участка железнодорожного пути.

ИУС содержит вычислительный комплекс, связанный каналами информационного обмена с системой обратной связи с производственными модулями: модулем измерения геометрических очертаний балластной призмы и системой информационно-управляемых блоков. Назначение этих блоков: преобразование сигналов от измерительных механизмов и сравнение результатов измерений, превышающих

пороговые значения и их ранжирование по числовым и качественным критериям; формирование информационной матрицы неисправностей пути и их местоположения, подлежащих немедленному и плановому устранению путем перемещения рельсовых нитей, шпал и балласта и матрицы неисправностей, расчет величин перемещений рельсовых нитей и шпал, объема перемещаемого балласта. Блоки двусторонне связаны между собой через коммутатор и блоками выработки управляющих воздействий на механизмы модуля перемещения балласта и управляющих воздействий на механизмы модуля перемещения рельсовых нитей и шпал, контроля измененного положения рельсовых нитей и перемещенного объема балласта на соответствие заданным значениям нормативно-справочной информации. Коммутатор выполнен как перекрестный переключатель с диодными ограничителями. Перемещение рельсовых нитей осуществляется совместно со шпалами, на которые рельсовые нити опираются, а модуль перемещения балласта содержит механизмы и устройства выгрузки и укладки балласта на железнодорожный путь, рыхления, уплотнения балласта, удаления балласта с железнодорожного пути.

В настоящее время производственные модули установлены на трех видах СПС, эксплуатируемых по своему функциональному назначению (путеизмерительная станция ВПС, хоппер-дозатор ВПМ 770 и путевая машина типа ВПР). Однако в перспективе производственные модули будут установлены на одну раму одного транспортного средства с разделением их по функциональному назначению, а именно: измерение, перемещение балласта, перемещение рельсов и шпал.

Блоки работают автономно, а выполнение технологических операций осуществляется с разделением времени. БУ соединены с пультом, позволяющим дис-

танционно управлять производственными модулями. Каждый из производственных модулей состоит из нескольких устройств, объединенных общим интерфейсом, например, модуль перемещения балласта состоит из устройств: выгрузки и укладки балласта на путь, удаления излишков балласта с пути, вырезки загрязненного балласта.

На рис. 3 приведена блок-схема ИУС.

ИУС работает следующим образом. Измерительный модуль 3 осуществляет измерение геометрических очертаний рельсовых нитей, как показано на рис. 4а, например по уровню. На рис. 4,б даны результаты измерений после работы ИУС. На рис. 4 нулевая линия положения рельсовых нитей 0, а C_1 и C_2 — пороговые значения, устанавливаемые нормативными документами как отступления от норм содержания рельсовой колеи. V_1 и V_2 , Π_1 и Π_2 — выбросы за

эталонные значения, которые подлежат плановому или немедленному устранению и считаются неисправностями пути, отфильтрованные по видам технологических операций по удалению излишков балласта, так называемой вырезки балласта V_1 и V_2 и подсыпке балласта Π_1 и Π_2 для приведения состояние пути к эталонным значениям [13–15].

Объем подсыпаемого или вырезаемого балласта рассчитывается, как произведение площади криволинейного участка (см. рис. 4), превышающего пороговые значения V_i и Π_i на длине неровности пути, соответствующей расстоянию между шпалами с экспериментально полученными коэффициентами. Датчик местоположения 1 связан блоком формирования цифровой карты контролируемого железнодорожного пути 2 и конструктивно выполнен в виде активных антенн, установленных на производственные модули,

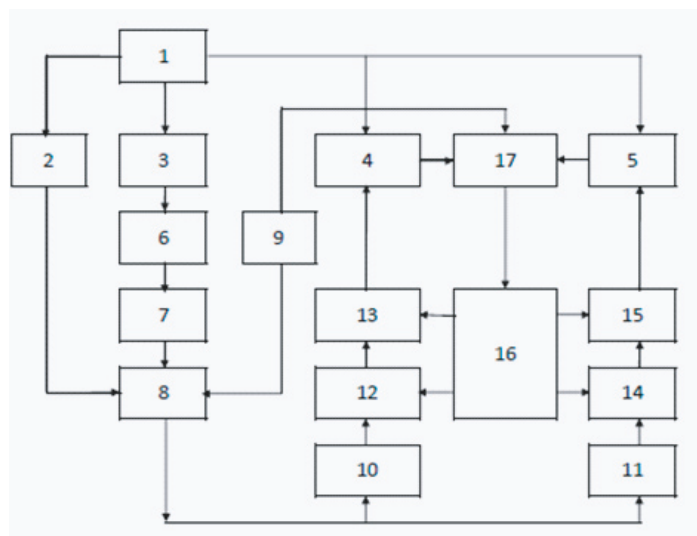


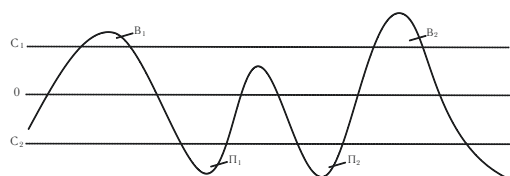
Рис. 3. Блок-схема ИУС:

1 – датчик местоположения; 2 – блок цифровой карты контролируемого железнодорожного пути; 3 – измерительный модуль; 4 – модуль выработки управляющих воздействий по перемещению рельсов и шпал; 5 – модуль выработки управляющих воздействий по перемещению балласта; 6 – блок преобразования сигналов от механизмов измерения; 7 – блок сравнения измеренных величин с задаваемыми пороговыми значениями; 8 – блок формирования матрицы измеренных величин, превышающих пороговые значения (неисправности пути) и выбора технологической операции для обеспечения возможности их устранения; 9 – блок формирования и поддержания нормативно-справочной и задаваемой информации; 10 – блок формирования плана и объема работ по устранению неисправностей пути перемещением рельсовых нитей с последующей досыпкой балласта; 11 – блок формирования плана и объема работ по устранению неисправностей пути перемещением рельсовых нитей с предварительной вырезкой балласта; 12 – блок расчета перемещений рельсовых нитей и/или шпал, необходимых для устранения неисправностей пути; 13 – блок управления перемещениями рельсов и шпал; 14 – блок расчета объема балласта для устранения неисправностей пути и закрепления пути в новом положении; 15 – блок управления перемещением балласта; 16 – коммутатор (перекрестный переключатель); 17 – блок контроля на соответствие установленным критериям измененного положения рельсовых нитей и оптимального объема перемещаемого балласта

а выходы антенн подключены к датчикам измерения очертаний рельсовых нитей, установленных на измерительном модуле 3, при этом обмен информации осуществляется через внешние носители. Модуль выработки управляющих воздействий по перемещению рельсов и шпал 4 перемещает одну или обе рельсовые нити вместе со шпалами при замене одной шпалы, старой на новую, при изменении радиуса кривой, уклона пути и т.д. Модуль по перемещению балласта 5 обеспечивает перемещение балласта из кузова хоппер-дозатора в железнодорожный путь или с железнодорожного пути при выполнении операции по удалению загрязненного балласта. Блок преобразования сигналов от механизмов измерения 6 преобразует аналоговые сигналы от механических устройств и датчиков, установленных на элементах подвижного состава, в цифровую форму. Блок 7 сравнивает измеренные величины с пороговыми значениями, задаваемыми в блоке 9 и принятыми в ИУС в качестве эталонных. Блок 8 формирует матрицу величин, превышающих пороговые значения, которые подлежат устранению подсыпкой или вырезкой балласта. Формирование матрицы возможно при неполной информации, например, сбое в работе механизмов измерения. В этом случае матрица формируется с предварительным цензурированием исходной информации [16–18], получаемой из блока 7 и данных из блока 9 как совокупности упорядоченных данных о технических характеристиках устройства измеряемых участков пути, элементов его конструкции, эксплуатационных характеристиках измеряемых участков пути, нормативных или задаваемых оператором, требуемых по условиям эксплуатации значений отступлений от геометрических параметров железнодорожного пути, выполненных работах в период между измерениями, прочей справочной информации, необходимой для адекватной интерпретации данных измерений и оценки состояния пути в соответствии с установленными нормативами.

Сформированные в блоке 8 неисправности пути распределяются по видам технологических операций, необходимых для их устранения. Блок 10 формирования плана и объема работ по устранению неисправностей пути перемещением рельсовых нитей с последующей досыпкой балласта осуществляет подготовку информации для технологической операции по исправлению неисправностей пути с предварительным перемещением рельсовых нитей, а блок 11 формирования плана и объема работ по устранению неисправностей пути перемещением рельсовых нитей с предварительной вырезкой балласта осуществляет подготовку информации для технологической операции по исправлению неисправностей пути с предварительным перемещением балласта. Блок 12 расчета перемещений рельсовых нитей рассчитывает величины этих перемещений, а блок 13 формирует управляющие воздействия по перемещению рельсовых нитей производственным модулем 4. В блоке 14 рассчитывается объем балласта для закрепления перемещаемого пути в заданное положение или вырезки загрязненного балласта с заменой на чистый, а блок 15 управляет этим перемещением. Блоки 12 и 14, 13 и 15 связаны друг с другом через коммутатор 16 и с блоком 17 контроля измененного положения рельсовых нитей на соответствие эталонным значениям из блока 9 и оценку объема балласта потребного для их закрепления. Контроль соответствия нового положения рельсовых нитей после их перемещения модулем 4 на соответствие эталонным значениям из блока 9 осуществляется на основе критериев, установленных получателем услуг по проведению ремонтных работ, введенных в блок 9 например, степень уплотнения балласта, форма балластной призмы, соответствие очертаний рельсовых нитей нормативным значениям и др. Предусмотрена возможность визуального контроля состояния железнодорожного пути после проведенных путевых работ с последующим вмешательством оператора в БУ перемещением балласта и рельсовых нитей, например, через пульт управления.

а



б

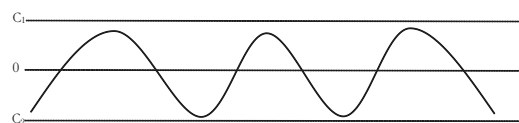


Рис. 4. Результаты измерения положения рельсовых нитей по уровню:
а – до работы ИУС; б – после работы ИУС

Заключение

По результатам исследований получен патент на изобретение [12].

Разработаны технические требования и проектные решения по созданию ИУС на базе эксплуатируемого СПС (ВПС ЦНИИ-4, хоппер-дозатор ВПМ 770 и путевая машина типа ВПР).

Проведен эксперимент по оценке работоспособности ИУС в рамках проведения выправочно-подбивочных работ на одной из железных дорог. Эффект за счет экономии балласта составил почти 50% от расхода балласта при его распределении традиционным способом [19].

Разработаны технические предложения по установке ИУС на одну раму одного транспортного средства, с разделением их по функциональному назначению, а именно: измерение, перемещение балласта, перемещение рельсов и шпал. 

Литература

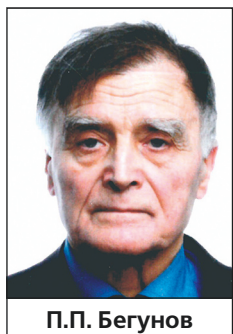
1. Технические условия на работы по ремонту и планово-предупредительной выправке пути: ЦПТ-53 / ОАО «РЖД». — Москва: ИКЦ «Академкнига», 2004. — 183 с. — Текст: непосредственный.
2. Инструкция по текущему содержанию железнодорожного пути. Распоряжение ОАО «РЖД» от 14.11.2016 г. № 2288 р с изменениями от 19.10.2021 № 2246/р.
3. Кулешов, П.Н. Скоростные путеобследовательские станции ЦНИИ-4 / П.Н.Кулешов. — Текст: непосредственный // Наука и транспорт. Модернизация железнодорожного транспорта. — 2013. — №2 (6). — С. 32–33.
4. Совершенствование методов и средств диагностики пути / Б.В. Зензинов. — Текст: непосредственный // Железнодорожный транспорт на современном этапе: Сборник трудов ученых ОАО «ВНИИЖТ». 70 лет аспирантуре ОАО «ВНИИЖТ»; редактор: Б.М. Липидус, Г.В. Гогричиани. — Москва: ОАО «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта», 2014. — С. 227–239.
5. Научно-исследовательский отчет АО «ВНИИЖТ». Шифр работы: 2.042.Р, договор № 1033/12/371, этап 1.
6. Руководство по эксплуатации вагона-путеобследовательской станции ЦНИИ-4МД. — Москва: ПИК ПРОГРЕСС, 2002.
7. Мазов, Ю.Н. Ресурсосберегающая технология контроля пути мобильными средствами диагностики / Ю.Н. Мазов, В.И. Шишкин, В.П. Сычев. — Текст: непосредственный // Путь и путевое хозяйство. — 2018. — №7. — С. 7–9.
8. Сычев, В.П. Современные и перспективные конструкции хоппер-дозаторов / В.П. Сычев. — Текст: непосредственный // Путь и путевое хозяйство. — 2010. — №4. — С. 17–19.
9. Петуховский, С.В. Оптимизация сдвигов при рихтовке железнодорожного пути: специальность 05.22.06: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Петуховский Сергей Вячеславович. — Москва, 2003. — 129 с. — Текст: непосредственный.
10. Качанов А.Я., Самме Г.В., Сычев В.П. Автоматизация работ по выправке и рихтовке железнодорожного пути в системе его технического обслуживания // Депонированная рукопись ВИНТИ № 528-В2007 16.05.2007.
11. Петуховский, С.В. Расчет кривизны рельсовой нити по стрелам несимметричной измерительной хорды / С.В. Петуховский. — Текст: непосредственный // Известия Петербургского университета путей сообщения. — 2018. — Т.15, №1. — С. 82–89.
12. Патент №273826 Российская Федерация. Информационно-управляющая система перемещения рельсов, шпал и балласта для обеспечения работоспособности железнодорожного пути по заданным критериям : № 2020112391 от 26.03. 2020 / П.В. Сычев.
13. Тихонов, В.И. Выбросы траекторий случайных процессов / В.И. Тихонов, В.И. Хименко; Отв. ред. В.И. Сифоров; АН СССР, Ин-т радиотехники и электроники. — Москва: Наука, 1987. — 304. — Текст: непосредственный.
14. Сычев, В.П. Методы оценивания железнодорожного пути характеристиками случайных процессов / В.П. Сычев. — Текст: непосредственный // Наука и техника транспорта. — 2007. — №3. — С. 84–88.

15. Loktev A.A., Sychev P.V., Dmitriev V.G., Egorova O.V., Komkov V.A., Boytsov B.V. Analysis of methods for restoring the density distribution of random variables of assessing the condition of the railroad track according to the indicated values of the track recording car Asia Life Sciences. 2019. Т. 28. №1. С. 111–124.
16. РД50-690-89. Руководящий документ по стандартизации. Методические указания. Надежность в технике. Методы оценки показателей надежности по экспериментальным данным. — взамен ГОСТ 27.201-81; ГОСТ 27.502-83; ГОСТ 27.503-81; ГОСТ 27.504-84: утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 30.10.89 №3259: дата введения 1991-01-01. — Москва: Издательство стандартов, 1990. — 132 с. — Текст: непосредственный.
17. Loktev A.A., Stepanov R.N., Gridasova E.A., Sycheva A.V. Simulation of the railway under dynamic loading. Part 2. Splicing method of the wave and contact solutions// Contemporary Engineering Sciences. 2015Т. 8. №21. —С. 955–962.
18. О нормативно-техническом обеспечении диагностики и мониторинга объектов путевой инфраструктуры/ А.Б.Косарев, А.В. Макаров, Б.Н. Зензинов, В.О. Певзнер. —Текст: непосредственный.// Путь и путевое хозяйство. —2015. —№4. —С. 28–29.
19. Сычев, П.В. Автоматизация дозированной выгрузки щебня/ П.В. Сычев, А.Н. Юдин. —Текст: непосредственный // Путь и путевое хозяйство. —2020. —№3. —С. 23–25.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ МЕТОД ВОДОПОДГОТОВКИ ПРИМЕНительно К ОБЪЕКТАМ ТРАНСПОРТА



М.Н. Торопов



П.П. Бегунов

Проанализирован разработанный учеными-железнодорожниками энергетический метод водоподготовки (ЭМВ) применительно к объектам транспорта. Приведена укрупненная технико-экономическая оценка его применения на обработанных в 2004–2019 годах объектах теплоснабжения и водоохлаждения ОАО «РЖД» и других отраслей.

Ключевые слова: энергетический метод водоподготовки (ЭМВ), энергент, защитная пленка, скорость коррозии, коррозионность воды

EDN: EMRWID

Экологично справиться с перечисленными в статье [1] задачами в рамках единой технологии на сегодняшний момент под силу только энергетическому методу водоподготовки [2].

Суть метода состоит во вводе в систему одним циклом на срок до семи лет химически нейтральных составов (энергентов), разрешенных для применения в питьевой воде и прошедших активацию в зависимости от состояния объекта (водно-химический режим, коррозионность среды, ее склонность к накипеобразованию, степень износа). Следует отметить, что про-

цесс активации энергента уникален. Практически мы научились регулировать уровень энергии, вводимой в систему.

Проводятся обширные исследования по изучению механизма воздействия энергента на водную среду и отложения. В частности, установлено, что за счет перемещения дислокаций в кристаллической решетке энергента образуется электрическое поле, которое накладывается на двойной электрический слой границ фаз (жидкость — поверхность), меняя направленность физико-химических процессов на границе раздела.

Торопов Михаил Николаевич, кандидат технических наук, заведующий лабораторией кафедры «Электропоезда и локомотивы» Института транспортной техники и систем управления Российского университета транспорта (ИТТСУ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: прочность и надежность конструкций, улучшение качества воды. Автор более 150 научных работ.

Бегунов Пётр Петрович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Водоснабжение, водоотведение и гидравлика» Петербургского университета путей сообщения Императора Александра I (ПГУПС). Область научных интересов: очистка воды, ее обеззараживание через активацию, реконструкция и модернизация сооружений (водоснабжения и канализации), сетей (водоснабжения, канализации и теплоснабжения). Автор более 100 научных работ.

Перков Иван Евгеньевич, технический эксперт АО «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (АО «ВНИИЖТ»). Область научных интересов: энергоэффективность и повышение ресурса объектов водотеплоснабжения железнодорожного транспорта. Автор более 10 научных работ.

Селиванов Александр Сергеевич, старший преподаватель кафедры «Теплоэнергетика железнодорожного транспорта» Института транспортной техники и систем управления Российского университета транспорта (ИТТСУ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: системы тепло- и водоснабжения, водно-химический режим источников теплоты, тепловых сетей, систем теплоснабжения и водоснабжения, водоподготовка. Автор более 30 научных работ.

Васильев Николай Викторович, инженер-теплоэнергетик Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: водоподготовка и применение экологически чистых методов для уменьшения скорости коррозии в морской и пресной воде на затопленных конструкциях. Автор одной научной работы.

В отличие от многих традиционных методов отсутствует залповый выброс разрушенных отложений. После применения ЭМВ они состоят в основном из мелкодисперсных, легкоудаляемых из системы фракций. Это позволяет не останавливать технологический процесс работы любого оборудования во время применения ЭМВ, бережно выводя разрушенные отложения из системы и соблюдая при этом экологические и санитарные требования [3].

На поверхности образуется тонкая и прочная пленка, состоящая из комплексного окисла ряда металлов (рис. 1). Физико-механические свойства ее (в частности, теплопроводность, электропроводность) соответствуют таковым у основного металла. Пленку можно получить и на новом объекте.

Для сравнения на рис. 2 приведен внешний вид объектов до применения ЭМВ.

Метод применим на широком спектре конструкционных материалов: черные и цветные металлы и сплавы, нержавеющие и легированные стали, пластик, керамика, резина и т.д.

Образование пленки при ЭМВ происходит практически сразу под поверхностью накипно-коррозионных отложений (рис. 3). Затем удаляется рыхлый поверхностный слой. Начинается удаление плотного пристеночного слоя. Обнажается уже образовавшаяся защитная пленка. В отличие от пластика или другого

покрытия, не уменьшается проходное сечение трубы, не меняется теплопроводность. Возможно обработать сварные стыки и стенки трубы за один прием [4].

При этом химический состав транспортируемой по системе исходной воды не влияет на получаемый результат — на улучшение качества воды в системе и приведение его в соответствие с санитарно-эпидемиологическими нормами (табл. 1).

Следует иметь в виду, что максимальные значения параметров используемой воды в некоторых случаях превышали предельно допустимые в 8–10 раз. Максимально зафиксированная скорость коррозии (2,14 мм/год) превышала аварийную скорость коррозии (0,2 мм/год) более чем в 10 раз.

При этом сроки наблюдения за обработанными объектами составляли от 3 до 9 лет. Так, менялась коррозионность воды и внешний вид систем теплоснабжения одного из московских вокзалов в течение 9 лет после ЭМВ (рис. 4).

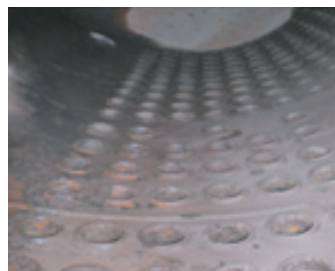
Скорость коррозии от 0,54 мм/год, при явном наличии микробиологической составляющей, в течение двух лет снизилась до 0,062 мм/год; трех лет — до 0,028 мм/год; девяти лет — до 0,0019 мм/год. Динамика содержания железа общего в системе теплоснабжения одного из депо ОАО «РЖД» представлена на рис. 5.

К примеру содержание взвешенных частиц при применении ЭМВ снижалось с 37 мг/л до нуля.

а



б



в



Рис. 1. Состояние водяных трактов котельных через 6–8 месяцев после обработки энергетическим методом:

а – фрагмент нижнего барабана котла через 6 месяцев после обработки (депо Шарья);

б – общий вид верхнего барабана (депо Горький-Московский, ранжирный парк);

в – состояние экономайзера и нижнего барабана котла после обработки (депо Свердловск)

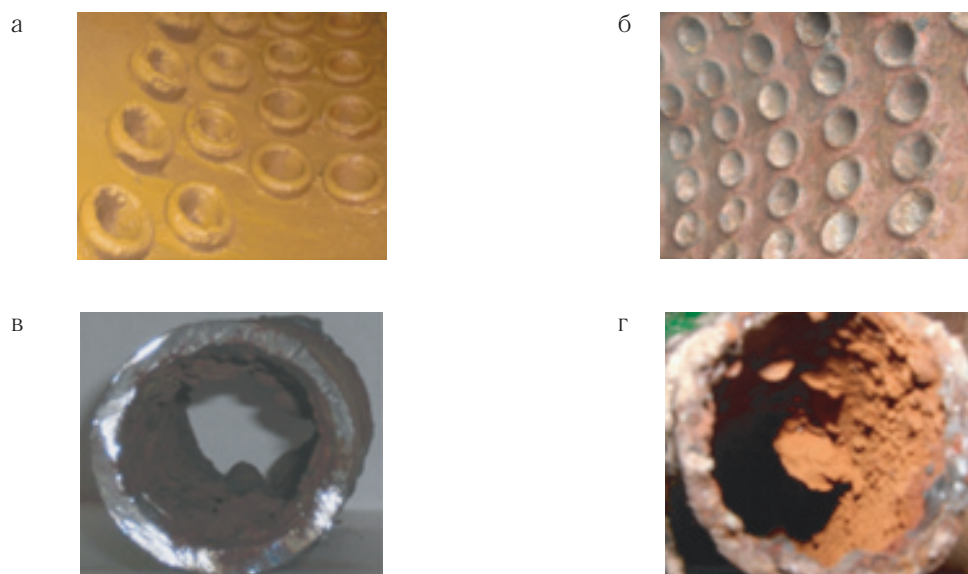


Рис. 2. Состояние внутренних поверхностей барабанов котлов и трубопроводов до ЭМВ: а – депо Новороссийск (толщина отложений – 5 мм); б – депо Шарья (толщина отложений – 2,5 мм); в – участок Горький-Московский (толщина отложений – 3–6 мм); г – депо Москва-3 (толщина отложений – 3–4 мм)



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

Также приведены в соответствии с нормативными документами величины жесткости, щелочности, содержание хлоридов, сульфатов, солесодержание.

Что касается коррозионности используемой воды, то она определялась даже визуально по виду степени прозрачности воды (обычной, осмотической, осмотической с энергентом) с погруженными в нее образцами для замера скорости коррозии. Жидкость была

представлена из систем заправки тепловозов водой в сервисном локомотивном депо Тюмень (рис. 6).

Отчетливо видно, как коррозионно осмотическая вода, применяемая для заправки систем водоохлаждения, тепловозов и как резко уменьшается ее коррозионность после добавления энергента.

В 2005–2006 годах по договору НИОКР ОАО «РЖД» с МГУПС (МИИТ) проводились работы

Таблица 1

**Некоторые физико-химические параметры
обрабатываемой ЭМВ исходной воды (до обработки)**

Солесодержание, мг/л	От 100 до 10500
Жесткость, мг-экв./л	От 0,2 до 11,7
Щелочность, мг-экв./л	От 0,7 до 10,0
Отношение карбонатов к бикарбонатам при pH>8,4, %	От 0 до 20
Содержание железа, мг/л	От 0 до 11,4
Водородный показатель, pH	От 6,2 до 11,0
Скорость коррозии (глубина проникновения), мм/год	От 0,1 до 2,14
Интенсивность накипеобразования, г/м ² в год	От 190 до 2860

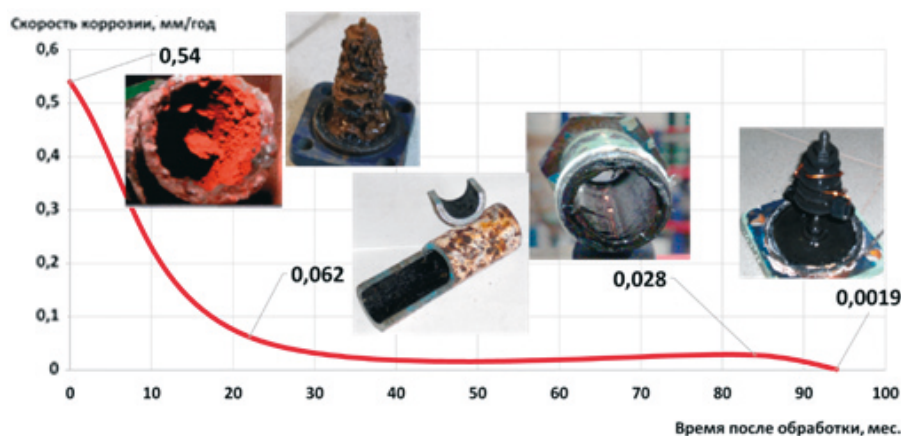


Рис. 4. Динамика изменения внешнего вида элементов тепловой сети и скорости коррозии в ней в результате применения ЭМВ (срок наблюдения 95 месяцев после обработки)



Рис. 5. Изменение содержания железа общего в результате применения ЭМВ



Рис. 6. Сравнительная коррозионность воды: осмотической (1), водопроводной (2) и осмотической с энергентом (3)

по исследованию технологического, экологического и экономического эффектов от применения технологии на объектах стационарной теплоэнергетики, ремонтных предприятиях (системы охлаждения промышленного оборудования) и подвижном составе (системы водотеплоснабжения и калориферные ветви пассажирских вагонов и системы охлаждения дизелей тепловозов). Этому предшествовало разработка и утверждение нормативной документации Минтранса РФ для теплоэнергетики и технического задания на обработку систем водотеплоснабжения и калориферных ветвей пассажирских вагонов с применением ЭМВ.

Получены положительные результаты и заключения ВНИИЖТ и ВНИИЖГ, Росгортехнадзора. В частности, ВНИИЖТ дал положительную оценку технологии в ее сравнении с традиционными методами. Одно из предложений ВНИИЖТа — организация поточной обработки систем водотеплоснабжения пассажирских вагонов на базе ремонтных предприятий.

Тогда же в 2005–2006 гг. проведена эксплуатационная проверка применения метода на системах водоохлаждения дизелей локомотивов приписки депо Люблино Московской железной дороги.

По результатам проведенных работ состоялось расширенное заседание президиума главных инженеров ОАО «РЖД» с целью реализации технологии на системах водотеплоснабжения железнодорожного узла: скважины, пассажирские вагоны и системы заправки их водой, объекты стационарной теплоэнергетики, локомотивы, а также системы водоохлаждения

промышленного оборудования. Совет дал положительную оценку проводимым работам, что послужило поводом для серийного внедрения ЭМВ в отрасли.

Укрупненная технико-экономическая оценка результатов применения ЭМВ на обработанных в 2004–2019 гг. объектах тепловодоснабжения и водоохлаждения ОАО «РЖД» и других отраслях

С 2004 по 2019 гг. обработано более 1000 км тепловых и водопроводных сетей, системы водотеплоснабжения более 40 ремонтных предприятий, более 200 водяных и паровых котлов, систем водотеплоснабжения и калориферных ветвей порядка 1200 пассажирских вагонов внутрироссийского и международного сообщений (рис. 7), системы охлаждения промышленного оборудования, теплоснабжения судов (рис. 8,9).

Обрабатываемые вагоны условно были разбиты на четыре группы. первая группа — срок эксплуатации от 0 до 4 лет; вторая группа — срок эксплуатации от 5 до 12 лет; третья группа — сезонные вагоны; четвертая группа — вагоны типа RIC, в основном фирмы Siemens, системы отопления которых работали на низкотемпературной жидкости.

Для каждой группы предусматривалось выполнение определенных технологических задач. Так, для первой группы — это увеличение ресурса эксплуатации, улучшение качества воды. Для второй группы — увеличение ресурса эксплуатации, улучшение качества воды и уменьшение расхода топливноэнергетического



Рис. 7. Поточная обработка систем водотеплоснабжения пассажирских вагонов в эксплуатационном депо



Рис. 8. Обработка ЭМВ водяного тракта котельной корабля Персей №821439 (26.05.2014 года)



Рис. 9. Изменение состояния водяного тракта котельной судна и некоторых параметров ВХР через 12 месяцев после обработки

ресурса (ТЭР). Для третьей группы — очистка системы водотеплоснабжения от коррозионных и солевых отложений и консервация систем на период отстоя. Для четвертой группы — создание стойкой защитной пленки при работе на низкотемпературной жидкости.

Во всех случаях параметры водно-химического режима (ВХР), коррозионность и интенсивность накипеобразования приведены в соответствие нормативным документам. Значительно снижены скорость коррозии (в 40–280 раз), затраты ТЭР (9–20%), теплоты (10–15%). Значительно продлен ресурс эксплуатации. Также наблюдалось уменьшение выбросов вредных веществ в атмосферу в 1,5–2,5 раза и кратное уменьшение содержания вредных компонентов в сточных водах.

О важности этих факторов свидетельствует утвержденная государственная программа «Охрана окружающей среды на период до 2030 года» [5].

При обработке системы не выводились из эксплуатации. Указанные задачи выполнялись экологично, с улучшением качества воды в рамках соблюдения санитарных норм без нарушения целостности материалов и превышения ПДК в сточных водах в рамках единой технологии. Был достигнут положительный технологический эффект, выраженный:

- в бережной очистке систем, изготовленных из различных материалов (черные и цветные металлы и сплавы, пластик, резина, керамика и т.д.), от соленоскопико-коррозионных и прочих отложений, независимо от их прочностных характеристик и толщины;

- удалении отложений из системы в виде мелкодисперсных фракций (скорость удаления разрушенных отложений из системы задается расчетным путем с целью не забить систему и обеспечить экологическую безопасность потребителя);

- образовании на поверхности металлоконструкций прочной защитной пленки, предотвращающей адгезию разнообразных отложений, электрохимическую коррозию и биокоррозию, а также утечку воды через небольшие свищи;

- отказе от неэкологичной химической водоподготовки, проводимой для защиты конструкций;

- одноразовой обработке, защищающей конструкции от коррозии и отложений в течение не менее 5–7 лет;

- увеличении срока эксплуатации объекта;

При этом температура теплоносителя и его фазовое состояние не влияют на защитные свойства энергента, вводимого в систему.

Максимальный экономический эффект достигается за счет улучшения качества воды в процессе обработки, а именно при уменьшении ее склонности к накипеобразованию и коррозионной активности. Такой водой (без специальных присадок) целесообразно заполнять секции водоохлаждения. Это значительно удешевит технологию содержания водяных секций при получении 100% положительного результата.

Что касается систем охлаждения дизелей локомотивов, в 2006 г. выходит распоряжение Дирекции тяги и бюджетирования (ЦТ) о выделении 15 тепловозов для проведения работ с применением ЭМВ в локомотивном депо Ртищево Юго-Восточной железной

дороги. Но параллельно появляется и обращение ЦТ в Департамент планирования. В нем сравнивались технико-экономические показатели Инкорт 8МЗ и ЭМВ. По мнению авторов, Инкорт 8МЗ работает до жесткости 4 мг-экв./л, а ЭМВ — до 0,6 мг-экв./л. Хотя, как это следует из табл. 1, химический состав воды для ЭМВ не является определяющим, в частности, ЭМВ работает при любой жесткости воды.

И, наконец, сравнивалась цена. Инкорт 8МЗ — 16 тыс. руб. ежегодно на тепловоз, а ЭМВ — 59,7 тыс. руб. Но при этом не указывается на какой срок. А это приведенные затраты на однократную обработку на срок до 7 лет. И получается (табл. 2), что ЭМВ в два раза дешевле Инкорт 8МЗ даже при применении (при необходимости) фильтров-циклонов.

Выводы

1. Разработан и внедрен в отрасли энергетический метод водоподготовки, позволяющий проводить экологичную энергоэффективную антикоррозионную и антиадгезионную обработку конструкций систем водотеплоснабжения и водоохлаждения с приведением качества воды в соответствие с нормативными документами.

2. В рамках единой технологии осуществляется одноразовая обработка на срок 5–7 лет без выведения систем из эксплуатации.

3. Метод применим для любых конструкционных материалов, различных теплоносителей и охладителей, открытых и закрытых систем при проведении эксплуатационного сопровождения объекта, а также при депоковом и капитальном ремонтах. 

Таблица 2

Сравнительные технико-экономические данные применения Инкорт 8МЗ и ЭМВ

Метод	Периодичность применения	Максимально возможная жесткость воды без умягчения	Взаимодействие с конструкционными материалами	Годовые затраты на применение, руб.
Инкорт 8МЗ	Ежегодно	До 4 мг-экв/л	Взаимодействует	16000
Энергетический метод	Один раз в 5–7 лет	Более 9 мг-экв/л	Инертен	7860/6860*

*В числителе указаны годовые затраты с применением фильтров-циклонов, в знаменателе — без них.

Литература

1. Торопов, М.Н. Так ли безопасны ингибиторные комплексы для систем водоохлаждения дизелей тепловозов? / М.Н. Торопов, А.С. Селиванов, Н.В. Васильев, П.П. Бегунов, И.Е. Перков. — Текст: непосредственный // Наука и техника транспорта. — 2022. — № 1. — С. 11–18.
2. Некоторые технико-экономические аспекты применения энергетического метода водоподготовки в системах водотеплоснабжения / М.Н. Торопов, П.П. Бегунов, А.С. Селиванов, Н.В. Васильев, И.Е. Перков. — Текст: электронный // Инженерные системы — АВОК Северо-Запад. — 2021. — № 1.
3. Торопов, М.Н. Комплексный подход к приведению качества питьевой и технической воды в соответствие санитарно-эпидемиологическим нормам / М.Н. Торопов. — Текст: непосредственный. Сантехника, отопление кондиционирование. — 2006. — № 7. — С. 32–34.
4. Продоус, О.А. Гидравлический потенциал стальных и чугунных металлополимерных труб для систем водоснабжения / О.А. Продоус, В.В. Ивашенко. — Текст: электронный // Инженерные системы — АВОК Северо-Запад. — 2019. — № 3. — С. 60–62.
5. Коваленко, А.В. Экологические приоритеты котельного оборудования в России. Реальность и перспективы / А.В. Коваленко, Д.А. Шкапов, Е.Л. Палей. — Текст: электронный // Инженерные системы — АВОК Северо-Запад. — 2019. — № 4. — С. 40–47.

ОБ ОЦЕНКЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ПРОЦЕССА ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ К ВОЗДЕЙСТВИЮ ДЕСТАБИЛИЗИРУЮЩИХ ФАКТОРОВ



А.В. Горелик



А.Н. Малых

Рассмотрен вопрос оценки чувствительности процесса технической эксплуатации систем железнодорожной автоматики и телемеханики. Приведены наиболее значимые факторные и результативные показатели, применяемые для анализа чувствительности основных производственных процессов в хозяйстве автоматики и телемеханики.

Ключевые слова: железнодорожная автоматика и телемеханика, оценка чувствительности, критерии чувствительности

EDN: APCNWW

Известно [1;2], что устойчивость работы железнодорожного транспорта является одним из основных условий его эффективного функционирования.

Уточним определение устойчивости перевозочного процесса, приведенного в [2]. Устойчивость перевозочного процесса — способность сохранять (восстанавливать) основные параметры перевозочного процесса в заданных пределах (объем перевозок, пропускная способность железной дороги и т.п.) после прекращения воздействия внешних и внутренних дестабилизирующих факторов, вызвавших отклоне-

ния этих параметров. К внешним дестабилизирующим факторам относятся направленные злоумышленные действия при несанкционированном вмешательстве посторонних лиц, стихийные бедствия, техногенные аварии и др. К внутренним дестабилизирующим факторам относятся отказы технических средств объектов инфраструктуры, ошибки в программном обеспечении, ошибки персонала и др.

Главным критерием для оценки степени устойчивости перевозочного процесса на железных дорогах является время его восстановления (возвращение параметров перевозочного процесса в заданные гра-

Горелик Александр Владимирович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Системы управления транспортной инфраструктурой» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: эффективность функционирования и технической эксплуатации систем железнодорожной автоматики и телемеханики. Автор 350 научных и методических работ, в том числе трех монографий и четырех учебников. Имеет 61 патент на изобретения.

Малых Алексей Николаевич, ассистент кафедры «Системы управления транспортной инфраструктурой» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: функциональная надежность и технологическая эффективность систем железнодорожной автоматики и телемеханики. Автор восьми научных работ.

Неваров Павел Анатольевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Системы управления транспортной инфраструктурой» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: надежность и эффективность функционирования объектов транспортной инфраструктуры. Автор 73 научных работ.

Щедрина Татьяна Сергеевна, аспирант кафедры «Системы управления транспортной инфраструктурой» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: влияние транспортной инфраструктуры на пропускную способность железнодорожных линий.

ницы) после прекращения воздействия дестабилизирующих факторов. Соответственно, чем быстрее перевозочный процесс возвращается в исходное состояние после прекращения воздействия дестабилизирующих факторов, тем выше его устойчивость.

В [3] приведен обзор различных моделей, рассматривающих устойчивость некоторых транспортных процессов, а также предложена методика определения устойчивости и чувствительности графика движения поездов.

По аналогии с теорией автоматического регулирования и управления, рассмотрим понятие чувствительности транспортных технологических процессов к воздействию различных дестабилизирующих факторов. Согласно [4], под чувствительностью системы автоматического управления понимается свойство системы изменять свои выходные характеристики (показатели качества) при отклонении тех или иных параметров от своих номинальных (расчетных) значений. В рассматриваемом авторами случае, под чувствительностью транспортного технологического процесса к воздействию некоторого фактора (внешнего и внутреннего) будем понимать свойство технологического процесса, заключающееся в изменении показателей качества (эффективности) данного процесса при отклонении степени воздействия данного фактора на технологический процесс от некоторого расчетного значения.

Согласно дереву [5], основным производственным процессом в хозяйстве железнодорожной автоматики и телемеханики является содержание технических средств железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ), который включает в себя следующие подпроцессы:

- техническая эксплуатация средств ЖАТ;
- капитальный ремонт технических средств ЖАТ;
- обновление (модернизация) технических средств ЖАТ.

В качестве основного показателя эффективности, на основе которого следует оценивать чувствительность технологического процесса содержания технических средств ЖАТ и его отдельных подпроцессов, целесообразно выбрать уровень риска функционирования объектов ЖАТ [6], так как этот показатель наиболее полно характеризует влияние процесса функционирования объекта ЖАТ на перевозочный процесс в целом.

Степень воздействия различных факторов, влияющих на рассматриваемый технологический процесс, оценивается рядом количественных показателей, которые будем называть факторными показателями.

Уровень риска функционирования систем ЖАТ, как показатель качества технологического процесса, определяется в зависимости от конкретных значений показателей функциональной надежности объектов ЖАТ [6;7]:

- потеря поездо-часов по объекту ЖАТ T_3 ;
- частоты отказов 1 и 2 категории объекта ЖАТ n_3 .

Эти показатели назовем результативными показателями, значения которых непосредственно определяют уровень риска функционирования систем ЖАТ. В свою очередь, значения этих показателей зависят от многочисленных факторов, степень влияния которых определяется значениями соответствующих факторных показателей.

Степень влияния изменения значений факторных показателей на изменение величины результативных показателей следует оценивать при помощи известных статистических методов (регрессивного анализа, корреляционного анализа), либо на основе метода экспертных оценок. Примеры такой оценки приведены в [8]. Перечень наиболее значимых факторных и результативных показателей, применяемых для анализа чувствительности основных процессов в хозяйстве автоматики и телемеханики, приведен в табл. 1.

Качественным критерием чувствительности процесса технической эксплуатации является результат сравнения фактического или прогнозного и соответствующего уровня риска функционирования объекта ЖАТ и уровня риска функционирования объекта ЖАТ при изменении значений одного или нескольких факторных показателей, влияющих на чувствительность данного процесса. В том случае, если уровень риска функционирования объекта ЖАТ качественно не изменяется, то процесс признается нечувствительным к изменению соответствующих факторных показателей. Пример качественной оценки чувствительности производственного процесса технической эксплуатации объекта ЖАТ к влиянию дестабилизирующих факторов представлен в табл. 2.

Следует отметить, что в табл. 2 оценивается степень влияния дестабилизирующих факторов, усиление которых предполагает негативные последствия для технологического процесса (сокращение численности работников, увеличение потребной пропускной способности, увеличение объема выполняемых работ и т.д.). В этом случае при «недопустимом» фактическом (расчетном) уровне риска функционирования объекта ЖАТ оценка чувствительности технологического процесса не производится. При анализе чувствительности технологического процесса к воздействию факторов, изменение значений которых предполагает

Таблица 1

**Перечень факторных и результативных показателей
для анализа процессов технического содержания средств ЖАТ**

№ п/п	Факторный показатель X	Результативный показатель Y
Вторичные показатели		
1	Время до восстановления объекта ЖАТ $T_{в}$, ч	Потери поезд-часов по объекту ЖАТ $T_{з}$, поезд-час
2	Интенсивность инцидентов объекта ЖАТ $\lambda_{и}$, 1/ч	Частота отказов 1 и 2 категории объекта ЖАТ $n_{з}$, 1/ч
Первичные показатели		
3	Потребная пропускная способность $N_{п}$, пар поездов в сутки	Интенсивность инцидентов объекта ЖАТ $\lambda_{и}$, 1/ч
4	Объем работ V , тех. ед.	Время до восстановления объекта ЖАТ $T_{в}$, ч
5	Интенсивность отказов 1 и 2 категории для участка железной дороги $\lambda_{12}^{уч}$, 1/ч	Интенсивность инцидентов объекта ЖАТ $\lambda_{и}$, 1/ч
6	Интенсивность инцидентов для участка железной дороги $\lambda_{и}^{уч}$, 1/ч	Интенсивность инцидентов объекта ЖАТ $\lambda_{и}$, 1/ч
7	Количество работников n , чел.	Время до восстановления объекта ЖАТ $T_{в}$, ч

Таблица 2

**Пример оценки чувствительности технической эксплуатации объекта ЖАТ
к влиянию дестабилизирующих факторов**

Фактический или прогнозный уровень риска функционирования объекта ЖАТ	Фактический или прогнозный уровень риска функционирования объекта ЖАТ с учетом изменения одного или нескольких факторных показателей, влияющих на чувствительность процесса технической эксплуатации объекта ЖАТ	Оценка чувствительности процесса технической эксплуатации объекта ЖАТ ¹
Нежелательный	Недопустимый	Чувствительный
Нежелательный	Нежелательный	Нечувствительный
Нежелательный	Допустимый	Нечувствительный
Нежелательный	Не принимаемый в расчет	Нечувствительный
Допустимый	Недопустимый	Чувствительный
Допустимый	Нежелательный	Чувствительный
Допустимый	Допустимый	Нечувствительный
Допустимый	Не принимаемый в расчет	Нечувствительный
Не принимаемый в расчет	Недопустимый	Чувствительный
Не принимаемый в расчет	Нежелательный	Чувствительный
Не принимаемый в расчет	Допустимый	Чувствительный
Не принимаемый в расчет	Не принимаемый в расчет	Нечувствительный

¹ При увеличении степени влияния дестабилизирующих факторов

положительный эффект, оценка чувствительности, выделенная курсивом в табл. 2, изменяется на противоположную. При этом не производится оценка чувствительности технологического процесса при «не принимаемом в расчет» фактическом (расчетном) уровне риска функционирования объекта ЖАТ.

При оценке чувствительности транспортных технологических процессов к определенным отклонениям значений факторных показателей от заданных значений необходимо определить минимальную величину этих отклонений, используемую при анализе. В технике чувствительность обычно рассматривается как способность объекта реагировать определенным образом на определенное малое воздействие [9]. В нашем случае при определении минимального отклонения для значений каждого факторного показателя следует приводить качественное обоснование. Например, для финансовых ресурсов минимальным отклонением размера инвестиций может служить объем денежных средств, необходимых и достаточных для осуществления закупки единицы оборудования или привлечения одного работника для выполнения минимального объема работ. В любом случае, данный вопрос требует отдельного детального рассмотрения.

Оценка чувствительности основных технологических процессов хозяйства автоматики и телемеханики может производиться комплексно для процесса технической эксплуатации с учетом влияния на него процессов капитального ремонта и обновления (модер-

низации) технических средств ЖАТ как отдельных дестабилизирующих факторов.

Основными этапами процедуры оценки чувствительности процесса технической эксплуатации объектов ЖАТ являются:

- анализ целесообразности оценки чувствительности технологического процесса в зависимости от фактического уровня риска функционирования рассматриваемого объекта ЖАТ;
- выбор в качестве критерия оценки значения фактического или прогнозного уровня риска;
- оценка чувствительности технологического процесса к «малому» отклонению значений одного или нескольких факторных показателей.

Более подробный аналогичный алгоритм оценки устойчивости рассматриваемого технологического процесса приведен в [10].

Оценка чувствительности технологического процесса содержания технических средств ЖАТ позволяет:

- повысить эффективность распределения материальных, трудовых и финансовых ресурсов, необходимых для функционирования структурных подразделений хозяйства автоматики и телемеханики;
- повысить эффективность управленческих решений при реализации организационно-технических мероприятий, направленных на снижение экономических и технических рисков функционирования систем ЖАТ. 

Литература

1. Российская Федерация. Законы. О железнодорожном транспорте в Российской Федерации: Федеральный закон от 10.01.2003 № 17-ФЗ: принят Государственной Думой 24 декабря 2002 года; одобрен Советом Федерации 27 декабря 2002 года. — Москва, 2003. — 30 с. — Текст: непосредственный.
2. Шевченко, А.И. Оценка устойчивости перевозочного процесса / А.И. Шевченко. — Текст: непосредственный // Мир транспорта. — 2013. — № 1. — С. 136–143.
3. Горелик, В.Ю. Модель диспетчерского управления для анализа устойчивости графика движения поездов / В.Ю. Горелик. — Текст: непосредственный // Наука и техника транспорта. — 2003. — № 1. — С. 35–37.
4. Основы автоматического регулирования и управления: учебное пособие для вузов / Под ред. В.М. Пономарева, А.П. Литвинова. — Москва: Высшая школа, 1974. — 439 с. — Текст: непосредственный.
5. Положение о системе ведения хозяйства автоматики и телемеханики: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 14 декабря 2015 № 2920р. — Текст: электронный: справочно-правовая система / АСПИЖТ.
6. Методология управления рисками в хозяйстве автоматики и телемеханики / А.Е. Ерж, А.В. Горелик, Д.В. Солдатов, А.В. Орлов. — Текст: непосредственный // Автоматика, связь, информатика. — 2017. — № 7. — С. 2–6.

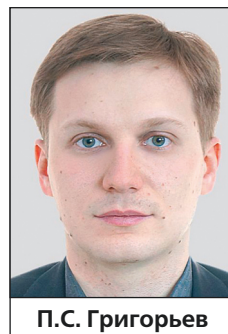
7. Принципы управления качеством функционирования инфраструктуры в хозяйстве автоматики и телемеханики / В.В. Аношкин, А.В. Горелик, А.В. Орлов [и др.]. – Текст: непосредственный // Железнодорожный транспорт. – 2018. – №9. – С. 55–61.
8. Статистическая оценка ресурса стрелочных электроприводов / А.В. Горелик, В.С. Дорохов, А.В. Орлов, Ю.С. Смагин. Текст: непосредственный // Современные наукоемкие технологии. – 2019. – №9. – С. 58–63.
9. Горохов, П.К. Толковый словарь по радиоэлектронике: Основные термины: Ок. 6000 терминов / П.К. Горохов. – Москва: Русский язык, 1993. – 254 с. – Текст: непосредственный.
10. Методика мониторинга устойчивости процессов хозяйства автоматики и телемеханики: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 28 февраля 2022. Текст: электронный: справочно-правовая система / АСПИЖТ.

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ КОТЛА ЦИСТЕРНЫ НА ОСНОВЕ ВАРИАЦИОННОГО ПРИНЦИПА ЛАГРАНЖА

Статья посвящена разработке методики оценки устойчивости оболочки котла железнодорожной цистерны при действии наружного избыточного давления вследствие вакуума внутри котла. Методика основана на применении моментной теории оболочек, вариационного принципа Лагранжа, аппроксимации перемещений в виде двойных рядов Фурье, а также матричных операций.

Ключевые слова: железнодорожная цистерна, котел, оболочка вращения, потеря устойчивости, моментная теория оболочек, ряд Фурье

EDN: ANRELI



П.С. Григорьев



С.В. Беспалько

Устойчивость котлов представляет собой важную проблему при возможном действии сжимающих напряжений. Это относится и к котлам железнодорожных цистерн, у которых в эксплуатации могут иметь место подобные режимы [15;16]. Для криогенных цистерн, имеющих двойной котел с вакуумированием межкотлового пространства, наружное атмосферное давление становится возможной причиной потери устойчивости. Кроме того, в универсальных цистернах, вследствие перепадов температуры, при герметично закрытой горловине также может возникать вакуум внутри котла, приводящий к избыточному внешнему давлению.

Сама же потеря устойчивости представляет опасность тем, что приводит к радикальному изменению формы оболочки, делая котел неработоспособным. На рис. 1 показаны примеры последствий аварийных ситуаций, связанных с потерей устойчивости [1–3].

Потеря устойчивости представляет собой скачкообразный переход в альтернативное напряженно-деформированное состояние, которое при достижении сжимающими напряжениями некоторого критического значения, выше которого новое состояние становится энергетически более выгодным [17;20].

В статье рассматривается применение вариационного принципа Лагранжа, в котором учитывается

Григорьев Павел Сергеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электропоезда и локомотивы» Института транспортной техники и систем управления Российского университета транспорта (ИТТСУ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: механика деформируемого твердого тела, математическое моделирование, динамика и прочность подвижного состава. Автор 15 научных работ.

Беспалько Сергей Валерьевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» Института транспортной техники и систем управления Российского университета транспорта (ИТТСУ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: строительная механика вагонов, динамика вагона, вопросы безопасности перевозки опасных грузов. Автор 62 научных работ.

Коржин Сергей Николаевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» Института транспортной техники и систем управления Российского университета транспорта (ИТТСУ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: технология ремонта ходовых частей нетягового подвижного состава железных дорог, повышение износоустойчивости и оптимизация профиля катания железнодорожных колес, динамика и прочность подвижного состава. Автор 15 научных работ.



Рис. 1. Последствия потери устойчивости котла цистерны

дополнительная потенциальная энергия в критическом состоянии. Эта энергия равна работе дополнительных изгибающих моментов на деформациях изменения кривизны вследствие появления неосесимметричного деформированного состояния.

Материалы и методы

Расчет базируется на следующих допущениях. Котел цистерны представляется в виде цилиндрической оболочки с днищами в виде абсолютно жестких в своей плоскости мембран. Пренебрегаем конструктивными нерегулярностями оболочки. Используется моментная теория оболочек [4]. Материал считается сплошным и однородным.

Принята цилиндрическая система координат $O\xi\beta\eta$, с началом O на срединной поверхности оболочки в концевом сечении цилиндра. $O\xi$ — продольная координата; $O\beta$ — угловая координата в окружном направлении; $O\eta$ — радиальная координата с положительными значениями снаружи оболочки. Перемещения по направлениям координатных осей обозначаются следующим образом: u — продольное; v — тангенциальное; w — радиальное.

Запишем геометрические (1) и физические (2) соотношения моментной теории оболочек в матричной форме:

$$\bar{\varepsilon} = [d] \cdot \bar{W}, \quad (1)$$

$$\bar{N} = [B] \cdot \bar{\varepsilon}, \quad (2)$$

где $\bar{\varepsilon} = \{\varepsilon_1; \varepsilon_2; \omega; x_1; x_2; \tau\}$ — вектор деформаций; $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ — деформации растяжения-сжатия вдоль осей $O\xi$ и $O\beta$ соответственно; ω — деформация сдвига; x_1, x_2 — деформации изменения кривизны в плоскостях $O\xi\eta$ и $O\beta\eta$ соответственно; τ — деформация кручения;

$\bar{W} = \{u; v; w\}$ — вектор перемещений;

$$[d]^T = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial \xi} & 0 & \frac{\partial}{R \partial \beta} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\partial}{R \partial \beta} & \frac{\partial}{\partial \xi} & 0 & \frac{1}{R^2} \frac{\partial}{\partial \beta} & \frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial \xi} \\ 0 & \frac{1}{R} & 0 & -\frac{\partial^2}{\partial \xi^2} & -\frac{\partial^2}{R^2 \partial \beta^2} & -\frac{\partial^2}{R \partial \beta \partial \xi} \end{bmatrix} -$$

матрица-оператор;

$\bar{N} = \{N_1, N_2, 2S, M_1, M_2, 2H\}$ — вектор внутренних усилий; N_1, N_2 — усилия растяжения-сжатия в направлении $O\xi$ и $O\beta$ соответственно; S — сдвигающие усилия; M_1, M_2 — изгибающие моменты в плоскостях $O\xi\eta$ и $O\beta\eta$ соответственно; H — крутящие моменты; E — модуль упругости; μ — коэффициент Пуассона;

$$[B] = \begin{bmatrix} B & B\mu & 0 & 0 & 0 & 0 \\ B\mu & B & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2B_c & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & D & D\mu & 0 \\ 0 & 0 & 0 & D\mu & D & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2D_c \end{bmatrix} - \text{матрица цилиндрических жесткостей};$$

$$B = \frac{Eh}{1-\mu^2}; B_c = \frac{Eh}{2(1+\mu)}; D = \frac{Eh^3}{12(1-\mu^2)}; D_c = \frac{Eh^3}{12(1+\mu)}; h - \text{толщина.}$$

Сдвигающие усилия и крутящие моменты выступают попарно, что учитывается коэффициентом «2» в векторе усилий. Граничные условия и симметрия оболочки учитываются выбором соответствующих функций формы для перемещений.

Уравнения равновесия, дополняющие геометрические и физические соотношения, составляются на основе принципа Лагранжа [5–7]. Для этого определяются дополнительная потенциальная энергия (3) деформации оболочки (по сравнению с исходным осесимметричным состоянием) и работа внешних сил (4) при потере устойчивости.

$$\Pi = \frac{1}{2} \int_0^l \int_0^{2\pi} \vec{\varepsilon}^T \vec{N} R d\beta d\xi, \quad (3)$$

$$A = \frac{1}{2} \int_0^l \int_0^{2\pi} P_{cr} \vec{W}^T [E_w] \vec{N}^{*T} \vec{\varepsilon} R d\beta d\xi, \quad (4)$$

где l – длина цилиндрической части котла; P_{cr} – наружное избыточное давление; $\vec{N}^* = \left\{ 0; 0; 0; -\frac{R}{2}; R; 0 \right\}$ – вектор начальных усилий, вызванных единичным наружным избыточным давлением до потери устойчивости (то

есть при осесимметричной деформации); $[E_w] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$ – матрица преобразования, выделяющая из вектора

перемещений одно радиальное перемещение w (u и v обнуляются).

Введем аппроксимацию перемещений в виде двойных рядов Фурье. Выбор типа тригонометрической функции определяется характером изменения перемещения, в том числе условиями симметрии. Представим аппроксимацию в матричной форме:

$$\vec{W} = \sum_{m=2}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} [\Phi] \cdot \vec{w}_{mn}, \quad (5)$$

$$\text{где } [\Phi] = \begin{bmatrix} \cos m\beta \cos \frac{n\pi\xi}{l} & 0 & 0 \\ 0 & \sin m\beta \sin \frac{n\pi\xi}{l} & 0 \\ 0 & 0 & \cos m\beta \sin \frac{n\pi\xi}{l} \end{bmatrix} - \text{матрица функций формы; } \vec{w}_{mn} = \{u_{mn}; v_{mn}; w_{mn}\} - \text{век-}$$

тор амплитуд перемещений, соответствующих гармоникам m (по окружности) и n (вдоль оси котла).

Следует отметить, что моментная теория оболочек описывает самоуравновешенное в поперечных сечениях напряженно-деформированное состояние (НДС). При этом гармоника $m=0$ описывает осесимметричную деформацию и учитывается в настоящем расчете только при определении усилий N_1^* , N_2^* . Гармоника $m=1$ исключается потому, что описывает несамоуравновешенное по сечению НДС, которое не учитывается расчетом котла на основе теории стержней.

Подставим в выражения для потенциальной энергии (3) и работы (4) геометрические (1) и физические (2) соотношения и учтем принятую аппроксимацию (5).

$$P = \frac{1}{2} \sum_{m=2}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \bar{\omega}_{mn}^T \left(\int_0^l \int_0^{2\pi} [\Phi]^T [d]^T [B] [d] [\Phi] R d\beta d\xi \right) \bar{\omega}_{mn}, \quad (6)$$

$$A = \frac{1}{2} P_{cr} \sum_{m=2}^{\infty} \sum_{n=1}^{\infty} \bar{\omega}_{mn}^T \left(\int_0^l \int_0^{2\pi} [\Phi]^T [E_{\omega}] \bar{N}^{*T} [d] [\Phi] R d\beta d\xi \right) \bar{\omega}_{mn}. \quad (7)$$

В результате потенциальная энергия и работа выразятся через амплитуды гармоник перемещений.

В соответствии с принципом Лагранжа, условием равновесия выступает минимум полной энергии (сумма потенциальной энергии и работы внешних сил). Условие минимума в данном случае имеет вид:

$$\frac{\partial P}{\partial \bar{\omega}_{mn}} - \frac{\partial A}{\partial \bar{\omega}_{mn}} = 0. \quad (8)$$

При интегрировании выражений (6) и (7) имеет место ортогональность тригонометрических функций, в результате чего система распадается по отдельным парам гармоник m и n , т.е. для каждой комбинации значений гармоник расчет можно вести независимо.

В результате приходим к следующей системе уравнений, описывающих условие потери устойчивости:

$$([r_{mn}] - P_{cr} [r_{mn}^*]) \bar{\omega}_{mn} = \vec{0}, \quad (9)$$

где $[r_{mn}]$ — матрица жесткости:

$$[r_{mn}] = \int_0^l \int_0^{2\pi} [\Phi]^T [d]^T [B] [d] [\Phi] R d\beta d\xi, \quad (10)$$

$[r_{mn}^*]$ — дополнительная матрица жесткости:

$$[r_{mn}^*] = \int_0^l \int_0^{2\pi} [\Phi]^T [E_{\omega}] \bar{N}^{*T} [d] [\Phi] R d\beta d\xi. \quad (11)$$

Матрицы третьего порядка (10) и (11) симметричны относительно главной диагонали и имеют вид:

$$[r_{mn}] = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{12} & r_{22} & r_{23} \\ r_{13} & r_{23} & r_{33} \end{bmatrix}; [r_{mn}^*] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & r_{23}^* \\ 0 & r_{23}^* & r_{33}^* \end{bmatrix}.$$

Матричное уравнение (9) описывает общую проблему собственных значений. Нетривиальному решению соответствует условие, что определитель системы равен нулю (что выражает частную проблему собственных значений):

$$|[r_{mn}] - P_{cr} [r_{mn}^*]| = 0. \quad (12)$$

Если раскрыть распределитель, можно получить алгебраическое уравнение относительно P_{cr} , которое в связи со структурой матрицы $[r_{mn}^*]$ принимает вид квадратного уравнения с коэффициентами:

$$\begin{cases} a = -r_{11} r_{23}^{*2}; \\ b = (r_{12}^2 - r_{11} r_{22}) r_{33}^* + 2(r_{11} r_{23} - r_{12} r_{13}) r_{23}^*; \\ c = r_{11} (r_{22} r_{33} - r_{23}^2) + 2r_{12} r_{13} r_{23} - r_{12}^2 r_{33} - r_{13}^2 r_{22}. \end{cases} \quad (13)$$

Дискриминант при всех комбинациях m и n оказался положительным, что говорит о наличии двух собственных значений P_{cr} , о различии которых будет сказано ниже. Каждому собственному значению соответствует собственный вектор $\bar{\omega}_{mn}$, который можно найти, подставив в уравнение (9) данное собственное значение и решив систему алгебраических уравнений. Полученный вектор амплитуд перемещений определяет форму потери устойчивости котла для данного давления.

Результаты

Была выполнена проверка разработанной методики путем сравнения получаемых результатов с результатами, полученными ранее на основе метода конечных элементов (МКЭ) [8;19]. Рассчитывалась устойчивость наружного котла криогенной цистерны без шпангоутов со следующими параметрами цилиндрической части: $R=1,504$ м; $l=12,22$ м. Были рассчитаны два варианта материала оболочки: сталь 09Г2С ($E=2,1 \cdot 10^5$ МПа; $\mu=0,3$) и алюминиевый сплав АМг5 ($E=7,3 \cdot 10^4$ МПа; $\mu=0,33$). Варьировалась также толщина h . Результаты сведены в табл. 1.

Было проведено также исследование устойчивости оболочки котла нефтебензиновой цистерны со следующими параметрами: $R=1,7$ м; $l=17,5$ м; $h=10$ мм; $E=2,1 \cdot 10^5$ МПа; $\mu=0,3$. Определены критические значения наружного давления и формы потери устойчивости. Результаты расчетов выборочно приведены в табл. 2 так, что для каждого n выбран вариант с наименьшим P_{cr} .

Определялись также формы потери устойчивости по собственным векторам системы уравнений (9). На рис. 2 приведен пример формы деформации после потери устойчивости при наименьшем критическом давлении 0,0477 МПа ($m=3$; $n=1$). Наружная кривая соответствует предельно возможной деформации перед смыканием оболочки к оси, а внутренняя кривая — промежуточному состоянию.

Выводы и обсуждение

Оценка достоверности предложенной методики показала удовлетворительное соответствие результатов при сравнении с полученными ранее результатами (см. табл. 1).

Расчеты критических значений наружного давления показали (см. табл. 2), что наименьшее критическое значение наружного давления составляет 0,0477 МПа (при $m=3$; $n=1$). Столь низкая величина давления объясняется выбором геометрических характеристик оболочки (длины, радиуса, толщины), очевидно, не сообщающих оболочке достаточной жесткости. Обычно выбор радиуса и длины производится из соображений повышения объема котла цистерны и с целью обеспечения устойчивости не изменяется. Для повышения критического значения давления рекомендуется увеличивать толщину оболочки и подкреплять ее шпангоутами.

Таблица 1

Проверка разработанной методики

Вариант	Минимальное P_{cr} , МПа		Относительное расхождение, %
	Расчет МКЭ	Предлагаемая методика	
09Г2С; $h=8$ мм	0,05121	0,05009	2,2
09Г2С; $h=12$ мм	0,2476	0,26878	8,6
АМг5; $h=12$ мм	0,05226	0,05440	4,1
АМг5; $h=18$ мм	0,1345	0,12888	4,2

Таблица 2

Критические значения наружного давления

m	n	P_{cr1} , МПа	P_{cr2} , ГПа
3	1	0,0477	–43,3
4	2	0,1020	–80,9
5	3	0,1498	–129,2
6	4	0,1963	–188,2
7	5	0,2470	–257,9
7	6	0,3008	–257,5
8	7	0,3453	–337,9
8	8	0,4023	–338,0
9	9	0,4452	–429,2

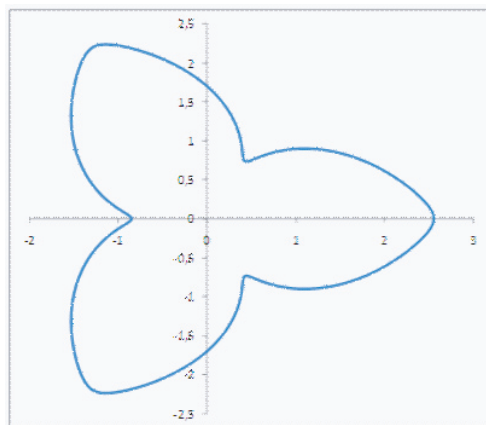


Рис. 2. Пример формы потери устойчивости

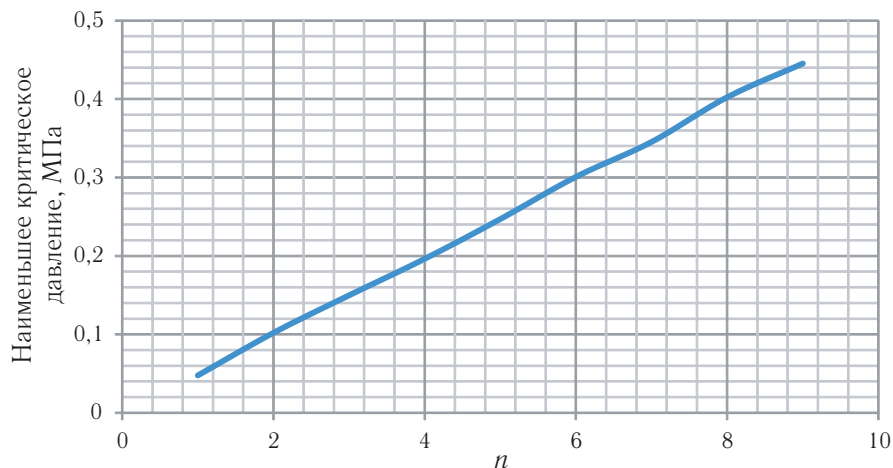


Рис. 3. Зависимость наименьшего критического давления от номера гармоники по длине

Анализируя зависимость наименьшего критического давления от номера гармоники n (по длине оболочки), можно констатировать практически пропорциональную зависимость (см. рис. 3). То есть наиболее вероятная форма потери устойчивости имеет одну волну.

Зависимость наиболее вероятной формы потери устойчивости в поперечном сечении от номера гармоники по длине приведена на рис. 4.

В целом из диаграммы видна тенденция к повышению порядка гармоники (усложнению формы) по окружности при увеличении числа полуволин по длине. Это подтверждают многочисленные данные из литературных источников о формах потери устойчивости цилиндрических оболочек [10–14].

Следует остановиться на упомянутом выше факте о появлении дополнительного решения квадратного уравнения при определении собственных значений. Эти значения приведены в 4-м столбце табл. 2. Как видно, все они отрицательны, т.е. соответствуют внутреннему, а не наружному давлению. Кроме того, это очень большие значения, которые не могут быть реализованы. Вместе с тем, уместно поставить вопрос: имеют ли эти решения физический смысл? При ответе на это вопрос можно учесть следующие соображения.

Появление двух корней вызвано наличием побочных элементов в дополнительной матрице жесткости, что, в свою очередь, вытекает из уравнений моментной теории оболочек, т.е. это решение обоснованно.

Следует отметить, что в упрощенном варианте теории оболочек [18;20] деформация изменения кривизны в плоскости направляющей не зависит от тангенциального перемещения, в результате чего все побочные эле-

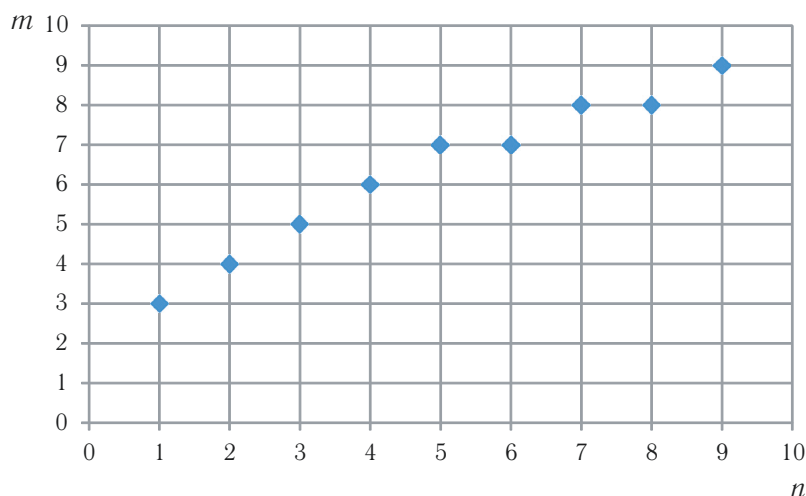


Рис. 4. Зависимость номера гармоники по окружности от номера гармоники по длине

менты матрицы равны нулю. При применении этого варианта теории «основные» значения критического давления практически совпадают с приведенными в 3-м столбце табл. 2, а «побочные» решения отсутствуют.

Авторы полагают, что «побочные» решения имеют физический смысл, но только в определенных идеализированных условиях и в рамках принятых при расчете допущений. Принятая аппроксимация формы перемещений в принципе допускает сближение концевых сечений (теоретически ограниченное длиной котла), значительные радиальные перемещения оболочки, геометрически ограниченные величиной радиуса (см. рис. 2).

Таким образом, можно заключить, что данное «побочное» решение в виде огромного внутреннего давления имеет физический смысл, но на практике не может реализоваться по нескольким причинам, основными из которых представляются следующие:

- таких давлений на Земле в принципе не существует;
- до достижения такого давления произойдет потеря прочности (разрушение) оболочки.

В целом по результатам проведенного исследования можно заключить следующее.

1. Предложена методика оценки устойчивости цилиндрической оболочки на основе моментной теории оболочек и принципа Лагранжа.

2. Достоверность получаемых результатов подтверждена сравнением с ранее полученными результатами расчетов с применением МКЭ. Наибольшее относительное расхождение составило 8,6%, что говорит об удовлетворительном соответствии.

3. Проведено исследование критических значений наружного давления при варьировании номерами гармоник аппроксимации перемещений.

4. Разработанная методика в виде алгебраических формул позволяет достаточно эффективно оценивать критические значения наружного давления на этапе проектирования вагонов-цистерн и выбирать соответствующие конструктивные решения.



Литература

1. URL: https://img.lrytas.lt/show_foto/?f=4&id=1879491&s=20 (дата обращения 27.05.2022).
2. URL: <https://asremavad.com/wp-content/uploads/2019/04/vacuum-mythbusters-tanker.jpg> (дата обращения 27.05.2022).
3. URL: <https://zen.yandex.ru/media/carbontechnology/pochemu-shlopyvaetsia-cisterna-5d62ac1f04af1-f00aeac2200> (дата обращения 27.05.2022).
4. Филин, А.П. Элементы теории оболочек: учебное пособие / А.П. Филин, проф., д-р техн. наук; Ленингр. ин-т инженеров ж.-д. транспорта им. акад. В.Н. Образцова. — Ленинград: Стройиздат. Ленингр. отд-ние, 1970. — 207 с. — Текст: непосредственный.

5. Вибрации в технике: справочник: в 6 т. / Ред. совет В.Н. Челомей [и др.]. — Москва: Машиностроение. Т.1: Колебания линейных систем / И.И. Артоболевский, А.Н. Боголюбов, В.В. Болотин [и др.]; Под ред. В.В. Болотина. — 1978. — 352 с. — Текст: непосредственный.
6. Клаф, Р. Динамика сооружений / Р. Клаф, Дж. Пензиен: пер. с англ. — М.: Стройиздат, 1979. — 320 с. — Перевод изд.: *Dinamics of Structures* / Ray W. Clough, Joseph Penzien. — New York, 1975. — Текст: непосредственный.
7. Лойцянский, Л.Г. Курс теоретической механики : учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности 010500 «Механика»: [в 2 т.] / Л.Г. Лойцянский, А.И. Лурье. — Изд. 7-е, испр. и доп. — Москва: Дрофа. Т.2: Динамика. — 2006. — 719 с. — Текст: непосредственный.
8. Беспалько, С.В. Разработка и анализ моделей повреждающих воздействий на котлы цистерн для перевозки криогенных продуктов : специальность: 05 .22.07: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Беспалько Сергей Валерьевич; МИИТ. — Москва, 2000. — 427 с. — Текст: непосредственный.
9. Bepalko S., Grigorev P., Ibodulloev Sh., Turajonov K., Numonov A.: Mathematical model of oscillations of a railway tank car with partial filling under shunting collision. 2020 IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 883 (2020) 012134 <https://doi.org/10.1088/1757-899X/883/1/012134>.
10. Bepalko S., Grigorev P., Ruzmatov M., Ibodulloev Sh.: A study method for possible breakdown of boiler tank for dangerous good in an emergence collision. E3S Web Conf., 224(2020) 01045 <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202022401045>.
11. Grigoriev P.S., Ibodulloev Sh.R., Poyonov V.B.: An approach for estimating critical temperatures of buckling of shallow cylindrical shell. (2019) J:Technical science and innovation. <https://doi.org/10.51346/tstu-01.19.2.-77-0029>.
12. Michael Ebie Onyia, Galerkin-Vlasov Variational Method for the Elastic Buckling Analysis of SSCF and SSSS Rectangular Plates / Michael Ebie Onyia, Eghosa. O. Rowland-Lato, Charles Chinwuba Ike // International Journal of Engineering Research and Technology. ISSN 0974-3154, Volume 13, Number 6 (2020), pp. 1137—1146.
13. Lopatin AV, Morozov EV., Approximate buckling analysis of the CCFF orthotropic plates subjected to in-plane loading, International Journal of Mechanical Sciences, 2015; 85: 38—44.
14. Григорьев, П.С. Определение критических температур потери устойчивости пологих цилиндрических оболочек / П.С. Григорьев, С.В. Беспалько, В.В. Гончаров. — Текст: непосредственный // Тепловые процессы в технике. — 2021. — Т.13, №7. — С. 324—328.
15. Котуранов, В.Н. Определение внутренних усилий в цилиндрической части оболочки котла цистерны. Большегрузные восьмиосные вагоны / В.Н. Котуранов. — Москва: Транспорт, 1968. — 288 с. — Текст: непосредственный.
16. Конструирование и расчет вагонов: Учеб. для студентов вузов ж.-д. транспорта / В.В. Лукин, Л.А. Шадур, В.Н. Котуранов и [др.]; Под ред. В.В. Лукина. — Москва, 2000. — 726 с. — Текст: непосредственный.
17. Тимошенко, С.П. Устойчивость стержней, пластин и оболочек / С.П. Тимошенко: избр. работы под ред. Э.И. Григолюка. — Москва: Наука, 1971. — 807 с. — Текст: непосредственный.
18. Власов, В.З. Избранные труды: В 3 т. Т.1. Очерк научной деятельности. Общая теория оболочек. Статьи. — Издание подготовлено комиссией по изданию трудов В.З. Власова. — Москва: Издательство Академии наук СССР, 1962. — 1964. — 528 с. — Текст: непосредственный.
19. Дяченко, И.А. Сравнительный анализ теорий и конечно-элементных моделей расчета свободных колебаний цилиндрических оболочек / И.А. Дяченко, А.А. Миронов, Ю.М. Свердлик. — Текст: непосредственный // Транспортные системы. — 2011. — №3(13). — С. 63—55.
20. Платонов, В.В. Устойчивость и колебания цилиндрической оболочки при осевом сжатии в неклассической постановке / В.В. Платонов. — Текст: непосредственный // Вестник СПбГУ. — 2011. — Сер.1. — Вып. 1. — С. 132—137.
21. Altenbach, H., Eremeyev, V.A. (Eds). Shelllike Structures: Non-classical Theories and Applications. Advanced Structured Materials. Volume 15, DOI: 10.1007/978-3-642-21855-2. Springer, Berlin et al. 2011, 761 p.

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПЕРЕВАЛЬНОЙ ЧАСТИ СОРТИРОВОЧНОЙ ГОРКИ

Анализируются основные факторы, влияющие на проектирование перевальной части сортировочной горки и степень их влияния на положение точки отрыва отцепа от состава при его расформировании. Даны рекомендации по определению основных параметров горки.

Ключевые слова: перевальная часть сортировочной горки, радиусы вертикальных кривых надвигной и спускной частей горки

EDN: JBLBVG



Л.Н. Иванкова



А.В. Подорожкина

Перерабатывающая способность сортировочных устройств зависит не только от реализуемой средней скорости роспуска, но и от ходовых свойств отцепов. «Отрыв» отцепа от состава происходит в тот момент, когда суммарное сопротивление движению становится равным приведенному уклону, на котором располагается вагон. Положению точек отрыва зависит от большого количества факторов:

- ходовых свойств отцепов;
- конструкции перевальной части горки (разности сопрягаемых уклонов, соотношения радиусов вертикальных кривых);
- погодных и климатических факторов;
- начальной скорости роспуска.

Данной проблеме посвящен ряд исследований [1–3]. Однако некоторые аспекты требуют уточнения и разъяснения.

Для определения проектной мощности горки обычно устанавливают расчетные интервалы на вершине горки. При этом в качестве расчетных бегунов принимают вагоны легкой категории (порожние крытые или полувагоны) и тяжелой или очень тяжелой категории (груженные полувагоны). Скорости скатывания и основные удельные сопротивления определены эмпирическим путем и указаны в нормативных документах.

В соответствии с [4] нормы основного удельного сопротивления движению могут изменяться в зави-

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

Подорожкина Алла Валентиновна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Управление транспортными процессами» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: вопросы совершенствования технологии работы железнодорожных станций и участков, организации движения поездов и пассажирских перевозок, информационные технологии в процессе управления перевозками. Автор 35 научных работ.

Буракова Анжелика Васильевна, старший преподаватель кафедры «Социально-гуманитарные, естественно-научные и общепрофессиональные дисциплины» филиала Ростовского государственного университета путей сообщения (РГУПС) в г. Воронеж. Область научных интересов: совершенствование технологии перевозочного процесса, современные технологии работы станций и узлов, математическое моделирование транспортных процессов. Автор 21 научной работы.

симости от состояния ходовых частей вагонов на 2,5–3,0 кгс/тс.

В момент разъединения автосцепок на горбе горки возникает большое удельное сопротивление, которое достигает 20 кгс/тс [5]. Эта величина также существенно влияет на момент начала разделения вагонов.

В качестве точек отрыва вагонов от состава зачастую принимают условную вершину горки — точку пересечения горизонтальной разделительной площадки и скоростного уклона. Однако в этом случае при определении времени движения вагона появляется погрешность, которая может оказать влияние на расчет расстояния до первой разделительной стрелки, весомерного и других участков. Все это вовсе не учитывают при расчетах интервала на вершине горки и скорости роспуска. В результате на практике интервал образуется произвольно, а скорость роспуска снижают против расчетной. Иногда для исключения вагонов отцепов на спускной части горки приходится даже останавливать роспуск состава. В связи с этим величина начального интервала между вагонами может быть уточнена, если учесть точки отрыва каждого из двух отцепов, следующих друг за другом. Для этого воспользуемся формулой

$$t_0 = \frac{l_1 + l_2 \pm 2\Delta l}{2v_0}, \quad (1)$$

где l_1, l_2 — длины вагонов (по осям автосцепок);

Δl — разность координат положений отцепов в тот момент, когда последующий отцеп отрывается от состава;

v_0 — скорость роспуска.

Положение точки отрыва одиночного вагона от состава (рисунок) можно определить из соотношения

$$\frac{x^2}{2R_c} - \left(b - x - \frac{i_n R_n}{2000} \right) i_n 10^{-3} = b \Sigma \omega 10^{-3}, \quad (2)$$

где x — положение первой оси следующего отцепа в момент отсоединения от расформируемого состава;

b — колесная база вагона;

i_n — уклон элемента надвигной части сортировочной горки, ‰;

R_n — радиус вертикальной кривой надвигной части горки, м;

R_c — радиус вертикальной кривой спускной части горки, м;

$\Sigma \omega$ — суммарное удельное сопротивление движению отцепа при отсоединении от расформируемого состава, кгс/тс.

После преобразований получим следующее выражение:

$$x = R_c i_n 10^{-3} \left[-1 + \sqrt{1 + \frac{2000b \left(1 + \frac{\Sigma \omega}{i_n} \right) - R_n}{R_c i_n}} \right]. \quad (3)$$

Координата положения центра тяжести отцепа определяется по формуле

$$P = x - \frac{b}{2}. \quad (4)$$

С помощью рисунка можно проиллюстрировать приведенные теоретические выкладки. Из этой схемы можно видеть, что фактическая точка отрыва отцепа

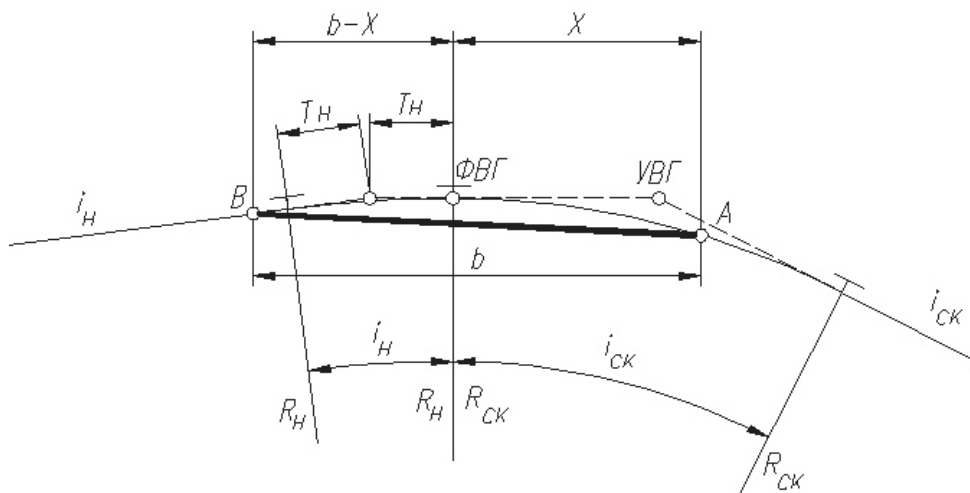


Рисунок. Определение положения центра тяжести отцепа при отсоединении от расформируемого состава

от состава находится несколько дальше условной вершины горки. Однако для отцепов с небольшим суммарным удельным сопротивлением она может смещаться и даже располагаться до фактической вершины горки.

По вышеприведенным формулам были произведены расчеты, в которых варьировались значения удельных сопротивлений движению. При этом радиусы подвижной части варьировались от 300 до 400 м, а радиусы спускной части — от 250 до 350 м. Менялась также крутизна уклона подвижной части [1;6].

Анализ результатов расчета показывает.

1. Точка отрыва отцепа может иметь различное положение. Это зависит от суммарного удельного сопротивления движению. В том числе, для отцепов с небольшим удельным сопротивлением точка отрыва может находиться и перед фактической вершиной горки.

2. Уклон подвижной части должен быть таким, чтобы в пределах существующих нормативов [4] обеспечивал надежное сжатие автосцепок вагонов, т.е. как можно более крутым.

3. Если одновременно с увеличением крутизны уклона подвижной части уменьшать радиус вертикальной кривой спускной части, то разность координат отцепов, которые отсоединяются от формируемого состава, также уменьшается. Это

сглаживает неравномерность интервалов между скатывающимися отцепами. Тем самым увеличиваются возможности по повышению скорости роспуска, а, следовательно и перерабатывающей способности горки.

4. Менее существенное влияние на интервалы между скатывающимися отцепами оказывает радиус вертикальной кривой подвижной части горки.

Выводы

Проектирование перевальной части горки является сложной инженерной задачей, эффективность которой зависит от большого числа факторов, поэтому решать ее надо в комплексе. Авторы считают, что при разработке таких проектов следует выдерживать следующие параметры:

- наиболее крутые уклоны подвижной части (при безусловном соблюдении допускаемой разницы сопрягаемых уклонов подвижной и спускной частей);

- наиболее крутые уклоны скоростного участка при его наименьшей допускаемой длине;

- наименьшие допустимые радиусы вертикальной кривой на спускной части горки.

Моделирование процесса скатывания одновагонных отцепов подтвердило справедливость изложенных выше рекомендаций [7]. 

Литература

1. Иванкова, Л.Н. Влияние основных параметров профиля подвижной и спускной частей сортировочной горки на перерабатывающую способность / Л.Н. Иванкова, И.С. Бондаренко. — Текст: непосредственный // Наука и техника транспорта. — 2012. — №4. — С.42–46.
2. Осипов, Д.В. Влияние продольного профиля перевальной части сортировочной горки на перерабатывающую способность / Д.В. Осипов, А.А. Климов. — Текст: непосредственный // Транспорт Урала. — 2016. — №4(51). — С. 71–76.
3. Осипов, Д.В. Определение условия отрыва одновагонных отцепов от состава на перевальной части сортировочной горки / Д.В. Осипов. — Текст: непосредственный // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. — 2019. — Т.1. — С. 76–81.
4. СП 225.1326000.2014. Свод правил. Станционные здания, сооружения и устройства: издание официальное: утверждены Приказом Минтранса России от 02.12.2014. №331. — Москва: Минтранс, 2014. — 133 с. — Текст: непосредственный.
5. Пособие по применению Правил и норм проектирования сортировочных устройств / Ю.А. Муха, Л.Б. Тишков, В.П. Шейкин и [др.]. — Текст: непосредственный. — Москва: Транспорт, 1994. — 220 с. — Текст: непосредственный.
6. Иванкова, Л.Н. Проектирование сортировочных устройств в современных условиях / Л.Н. Иванкова, А.Н. Иванов, А.Н. Кузнецова. — Текст: непосредственный // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. — 2021. — №1(69). — С. 121–126.
7. Буракова, А.В. Исследование скорости выхода отцепов из тормозных позиций на основе моделирования процесса роспуска составов / А.В. Буракова, Л.Н. Иванкова, А.Н. Иванов. — Текст: непосредственный // Актуальные проблемы и перспективы развития транспорта, промышленности и экономики России (ТРАНСПРОМЭК – 2021). Труды научно-практической конференции. — Воронеж, 2021. — С. 146–150.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВИДОВ ПРИГОРОДНОГО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА ЗА СЧЕТ СООРУЖЕНИЯ ТПУ НА КОНЕЧНЫХ СТАНЦИЯХ МОСКОВСКИХ ЦЕНТРАЛЬНЫХ ДИАМЕТРОВ



Ю.О. Пазойский



Н.В. Попова

Развитие транспорта в Московском железнодорожном узле требует новых решений, в том числе сооружения транспортно-пересадочных узлов (ТПУ) на конечных станциях центральных диаметров и введения челночно-тактового графика движения, что создаст условия для увеличения пассажиропотоков на участке и повысит привлекательность пригородного железнодорожного транспорта.

Ключевые слова: Московский железнодорожный узел, транспортно-пересадочный узел, Московские центральные диаметры

EDN: LBVMRJ

На пригородные перевозки приходится около 80% от всего перевозимого пассажиропотока. За год пригородными поездами перевозятся почти 1 млрд 200 млн пассажиров.

Наиболее загруженным является Московский железнодорожный узел, где расположено около 700 пунктов зарождения и погашения пригородных пассажиропотоков. Основными пассажиронапряженными направлениями являются: Ярославское (21%), Казанское (15%) и Горьковское (13%), осваивающие почти 50% от суммарного объема перевозок [5].

Развитие железнодорожного транспорта в Москве и Московской области позволит привлечь значительно больший поток пассажиров, разгрузить автомобильные артерии города и уменьшить нагрузку на метрополитен.

Одним из важнейших проектов развития железнодорожного транспорта выступает проект организации диаметального движения поездов.

Введение в эксплуатацию Московских центральных диаметров (МЦД-1 и МЦД-2) позволило сократить время в пути в среднем на 40%, реализовать удобный график с наименьшими межпоездными интервалами, что привело к улучшению использования инфраструктуры и создало условия для дополнительного объема пассажиропотока на железнодорожном транспорте.

Проект МЦД строится на развитии радиальных железнодорожных направлений, переустройства путевого развития, строительства соединительных линий. Все это позволит организовать пригородно-городское движение электропоездов по диаметральным маршрутам.

Пазойский Юрий Ошарович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Железнодорожные станции и транспортные узлы» Института управления и цифровых технологий Российского университета транспорта (ИУЦТ РУТ (МИИТ)), почетный работник транспорта Российской Федерации, почетный железнодорожник. Область научных интересов: пассажирские перевозки на железнодорожном транспорте, совершенствование работы станционных процессов. Автор более 150 научных работ.

Попова Надежда Владимировна, аспирант кафедры «Железнодорожные станции и транспортные узлы», инженер Учебного отдела Института управления и цифровых технологий Российского университета транспорта (ИУЦТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: транспорт, пассажирский транспорт, пригородные перевозки, транспортные узлы, станции. Автор 10 научных работ.

К 2025 г. планируется реализация пяти диаметральных маршрутов в рамках проекта МЦД, в том числе:

- МЦД-1 Лобня—Одинцово — соединяет Белорусское направление с Савеловским [6];
- МЦД-2 Нахабино—Подольск — соединяет Курское направление с Рижским [7];
- МЦД-3 Зеленоград—Раменское — соединит Ленинградское направление с Казанским [8];
- МЦД-4 Апрелевка—Железнодорожная — соединит Киевское направление с Горьковским [9];
- МЦД-5 Домодедово—Пушкино — соединит Ярославское направление с Павелецким [10].

Введение диаметральных маршрутов играет важную роль для развития Московского железнодорожного узла. Организация движения на диаметральных маршрутах требует совершенствования технологии и развития инфраструктуры.

После введения диаметральных маршрутов возникает новая проблема, заключающаяся в разработке технологии их взаимодействия с участками обращения обычных пригородных электропоездов.

Так, до введения МЦД-1 величина пассажиропотока на участке Москва-Савеловская—Одинцово составляла около 195 млн чел. в год (рис. 1).

Величина пассажиропотока на участке от станции Москва Белорусская — Лобня составляла около 188 млн чел. в год (рис. 2) [5].

До строительства МЦД-2 величина пассажиропотока на участке Москва-Савеловская—Подольск составляла около 162 млн чел. в год (рис. 3) [5].

До строительства МЦД-2 величина пассажиропотока на участке Ржевская—Нахабино составляла около 164 млн чел. в год (рис. 4) [5].

Анализ изменения величины пассажиропотоков за 10 лет (рис. 5—8), на участках (Москва-Савеловская—Одинцово, Москва Белорусская—Лобня, Москва-Савеловская—Подольск и Ржевская—Нахабино), после введения МЦД-1 и МЦД-2 показывает, что величина пассажиропотоков увеличилась в среднем на 4%. Таким образом можно спрогнозировать величины пассажиропотоков на участках после введения МЦД-4 и МЦД-5.

Станцией перелома густоты пассажиропотока является станция Железнодорожная (рис. 9), после проследования которой густота пассажиропотока уменьшится почти на 80%. Поэтому для совершенствования взаимодействия диаметров с эксплуатацией обычных пригородных поездов необходимо разработать новые технологические решения по освоению пассажиропотоков на участке.

На конечных станциях диаметральных маршрутов при переломе густоты пассажиропотока наиболее

эффективным технологическим решением предлагается сооружение ТПУ. Это поможет привлечь большее число пассажиров на железнодорожный транспорт, распределить пассажиропотоки на станциях и улучшить доступность всех видов транспорта для пассажиров, одновременно с введением тактово-челночного графика движения поездов, как на диаметре, так и на участке обращения обычных пригородных поездов с увязкой этих поездов на конечных станциях диаметрального маршрута [4].

Взаимодействие диаметральных маршрутов с пригородными поездами на конечной станции маршрута можно осуществить, например, по следующей технологической схеме (рис. 10).

Технология работы конечных станций диаметрального маршрута и обычных пригородных электропоездов может быть описана следующим образом.

На станцию «N» (см. рис. 10) одновременно прибывают поезд МЦД и пригородный электропоезд «2». Пассажиры, прибывшие в поезде «2» осуществляют кроссплатформенную пересадку и могут отправиться дальше на Москву уже поездом МЦД или воспользоваться тоннелями и переходами на станции для выхода в город.

Поезда МЦД прибывающие на конечные станции диаметрального маршрута из Москвы, принимаются на тупиковый путь. Поезд «Иволга» состоит из 11 вагонов. После прибытия поезда на конечную станцию выполняется высадка пассажиров на платформу 2. Пассажиры, прибывшие в поезде МЦД могут осуществить пересадку на другие виды транспорта, воспользовавшись тоннелями и переходами, устраиваемыми на станции. Пассажиры, следующие далее, могут продолжить движение в обычных пригородных электропоездах, осуществив кроссплатформенную пересадку в уже ожидающий их поезд «1». После выполнения всех необходимых технических операций поезд «1» может отправиться в Подмоскovie.

Поезд «2» после освобождения пути поездом «1» переставляется через тупик под посадку на путь и ожидает прибытия нового поезда МЦД.

Поезд МЦД после высадки пассажиров и выполнения всех технических операций с ним, осуществляет посадку пассажиров, прибывших поездом «2» и после смены кабины локомотивной бригадой отправляется в обратном направлении на Москву.

Для выполнения данной технологии на станциях требуется реконструкция и проектирование пассажирских платформ, путей, устройств СЦБ и связи, контактной сети, строительство дополнительных переходов и развязок.

Применение технологии кроссплатформенной пересадки на конечных станциях МЦД-4 при тактово-челночном графике движения

Рассмотрим применение технологии на станциях МЦД-4.

Поезда будут следовать от станции Железнодорожная до станции Апрелевка. Для пассажиров, живущих за пределами этих станций, существует необходимость устройства пересадки пассажиров как на поезда, следующие далее, так и на прочие виды транспорта (рис. 11). Введение пересадочных узлов на пограничных станциях МЦД осуществит взаимодействие диаметральных маршрутов с обычными пригородными электропоездами [2].

Организацию работы ТПУ на станции Апрелевка можно осуществить с помощью технологии кроссплатформенной пересадки (рис. 12).

Между платформами пассажирам предлагается перемещаться по надземному переходу. Существенным плюсом кроссплатформенных пересадок для пассажиров является отсутствие необходимости искать нужную платформу, что уменьшает время нахождения пассажиров на станции.

Для обслуживания пассажиров на станции имеется четыре высоких пассажирских платформы длиной 280 и шириной 9 м, которые расположены возле путей I, III, V, 6, 7.

Электропоезда (экспресс), которые не совершают оборот на станции Апрелевка, принимаются на путь 6, если они следуют из Москвы, и на путь V у платформы 4, если они следуют на Москву, после чего они следуют далее [2].

Поезда МЦД-4 прибывают на путь III, высаживают пассажиров на платформу 3, производят смену кабины машиниста, выполняют посадку пассажиров с платформы 2 и отправляются в обратном направлении.

Обычные пригородные электропоезда со станции Селятино прибывают на путь 4 у платформы 2, где высаживают пассажиров. После этого через тупик 9 происходит смена направления и заезд на путь I у платформы 3, где производится посадка пассажиров из поездов МЦД. После проведения всех технологических операций поезд отправляется в сторону станции Селятино.

Оборот поездов из Москвы производится дежурной бригадой, в то время как поездная бригада проводит осмотр внутреннего помещения вагонов и меняет кабину.

Применение технологии кроссплатформенной пересадки на конечной станции МЦД-5 при тактово-челночном графике движения

Величина изменения пассажиропотоков на участке от станции Москва-Ярославская до станции Балакирево показана на рис. 13.

Рассмотрим применение технологии на конечной станции МЦД-5 «Пушкино» (рис. 14).

Устройство ТПУ на станции Пушкино также позволит пассажирам, живущим на более дальних станциях комфортно и удобно пересаживаться на поезда МЦД-5.

На станции Пушкино потребуется убрать III главный путь длиной 454 м от стрелки 36 до стрелки 63. На месте разобранного пути необходимо построить высокую платформу длиной 262 м, шириной 7 м, уложить стрелочные переводы 84, 86, 67, а также для оборота пригородных электропоездов, курсирующих на участке Пушкино-Александров, требуется уложить оборотный тупик № 14 длиной 355 м [1].

Технология работы пригородных электропоездов на станции Пушкино с кроссплатформенной пересадкой будет организована по следующему принципу: электропоезд, прибывающий из Москвы, принимается на 6 станционный путь, одновременно с посадкой-высадкой пассажиров происходит смена кабины машиниста локомотивной бригадой, и поезд через расчетный тактовый интервал, равный 10 минутам, отправляется обратно в Москву. Одновременно с прибытием электропоезда из Москвы, на 4 станционный путь прибывает электропоезд из Александрова, а на пути II БП находится электропоезд, который через расчетный тактовый интервал, равный 10 минутам, отправится на станцию Александров. Пассажиры, прибывшие на электропоезде из Москвы, производят высадку на платформу 2, находящуюся между 6 и II БП путями станции. Те пассажиры, для которых станция Пушкино является конечной, спускаются в подземный переход и выходят в город, другие же осуществляют кроссплатформенную пересадку на электропоезд, следующий в Александров.

Пассажиры электропоезда, прибывшие из Александрова, осуществляют высадку на платформу 3, которая находится между 4 и 6 путями станции. Те пассажиры, для которых станция Пушкино является конечной, спускаются в подземный переход и выходят в город, другие же осуществляют кроссплатформенную пересадку на электропоезд, следующий в Москву. Электропоезд, прибывший из Александрова, после высадки пассажиров и смены кабины машиниста резервной бригадой, переставляется через оборот-

ный тупик № 14 на путь II БП и состав отправляется на станцию Александров.

Для осуществления наиболее эффективной работы ТПУ на станциях Пушкино и Апрелевка, потребуется корректировка графика движения обычных пригородных электропоездов.

График движения поездов на участках

Челночно-тактовый график движения поездов, на участках поможет улучшить привлекательность железнодорожного транспорта для пассажиров.

Для рассматриваемых участков Москва-Киевская—Апрелевка и Апрелевка—Калуга-1, Москва—Пушкино и Александров—Пушкино применение технологии кроссплатформенной пересадки на конечных станциях МЦД приводит к изменению технологии работы участка с вводом челночно-тактового графика движения поездов [3].

Технологию работы участка при челночно-тактовом графике движения на примере участка Москва-Киевская—Апрелевка и Апрелевка—Калуга-1, можно описать следующим образом: электропоезда МЦД-4 и пригородные электропоезда, отправлением со станции Москва-Пассажирская-Киевская следуют до станции Апрелевка после чего оборачиваются. Интервал между поездами составит 5 минут. Приоритет отдается поездам МЦД-4, так как они охватывают большее число остановочных пунктов. Число пар поездов МЦД-4 и пригородных с Киевского вокзала будет соотноситься как 2 к 1. Между Селятино и Апрелевкой курсируют «челноки» с интервалом 20 минут.

Преимуществом данного варианта является отсутствие необходимости пассажиру знать расписание, так как интервал отправления уменьшается, и максимальное время ожидания составит 5 мин.

Организация челночного тактового движения поездов на участках Москва—Пушкино и Александров—Пушкино будет иметь ряд преимуществ для пассажиров:

- пассажирам, которые едут из города или в город не нужно знать расписание, так как интервалы между поездами постоянны и невелики;
- пассажиры могут добраться до необходимого остановочного пункта на любом электропоезде, так как электропоезда останавливаются на всех промежуточных пунктах. Пассажиры могут доехать любым электропоездом до станции Пушкино, сделать пересадку на электропоезд, который следует до станции Александров и попасть на свой остановочный пункт;
- время ожидания электропоезда пассажирами с «дальних» зон существенно сокращается по сравнению с зонным графиком движения.

Все преимущества такого движения приводят к синергетическому эффекту транспорта, так как привлекается дополнительный объем пассажиропотока с других, альтернативных видов транспорта, в большей степени, с автомобильного.

Можно сделать вывод, что применение челночно-тактового движения поездов привлекательно для пассажиров. В настоящее время на участке Москва-Ярославская—Александров организованно зонное движение поездов. Зачастую пассажирам приходится ожидать своего поезда от 40 минут, а иногда около

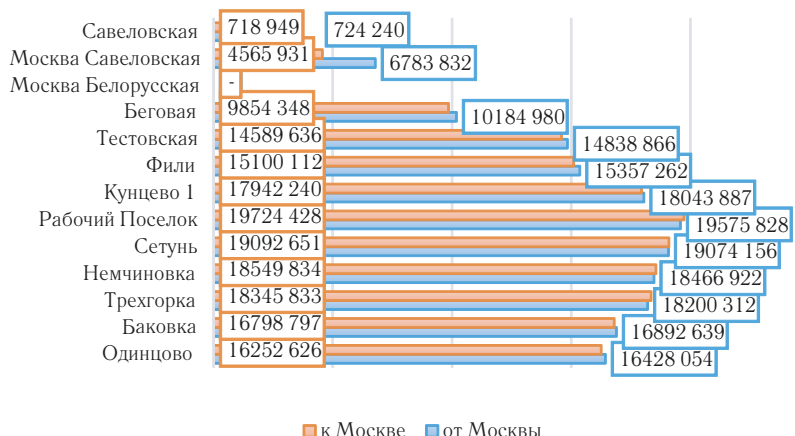


Рис. 1. Диаграмма пассажиропотока на участке Савеловская-Москва Савеловская, Москва Белорусская—Одинцово до введения МЦД-1

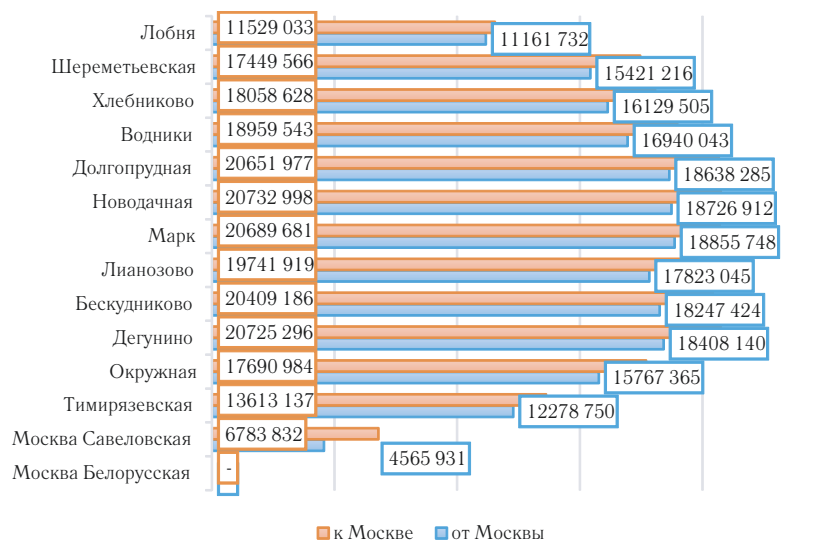


Рис. 2. Диаграмма пассажиропотока на участке Москва Белорусская–Лобня до введения МЦД-1

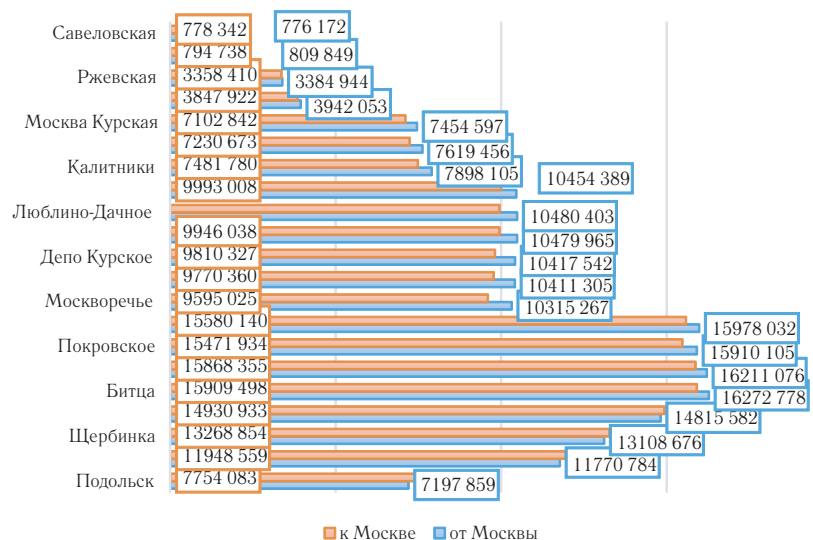


Рис. 3. Диаграмма пассажиропотока на участке Савеловская–Подольск до введения МЦД-2

часа, что снижает привлекательность железнодорожного транспорта для пассажиров.

Выводы

Введение ТПУ на станциях стыкования МЦД и обычных пригородных электропоездов, а также введение челночно-тактового графика движения на участке, позволит решить ряд проблем железнодорожного транспорта, возникающих из-за устаревшей инфраструктуры и технологий.

В условиях постоянно-развивающегося города и растущей конкуренции во всех сферах экономики, развитие транспорта также требует постоянной модернизации. Железнодорожный транспорт имеет большое значение для экономики страны, его усовершенствование и внедрение новых технологий позволит железнодорожному транспорту всегда пользоваться огромным спросом у пассажиров.



Ю.О. Пазойский, Н.В. Попова

**«ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВИДОВ ПРИГОРОДНОГО
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА ЗА СЧЕТ СООРУЖЕНИЯ ТПУ НА КОНЕЧНЫХ
СТАНЦИЯХ МОСКОВСКИХ ЦЕНТРАЛЬНЫХ ДИАМЕТРОВ»**

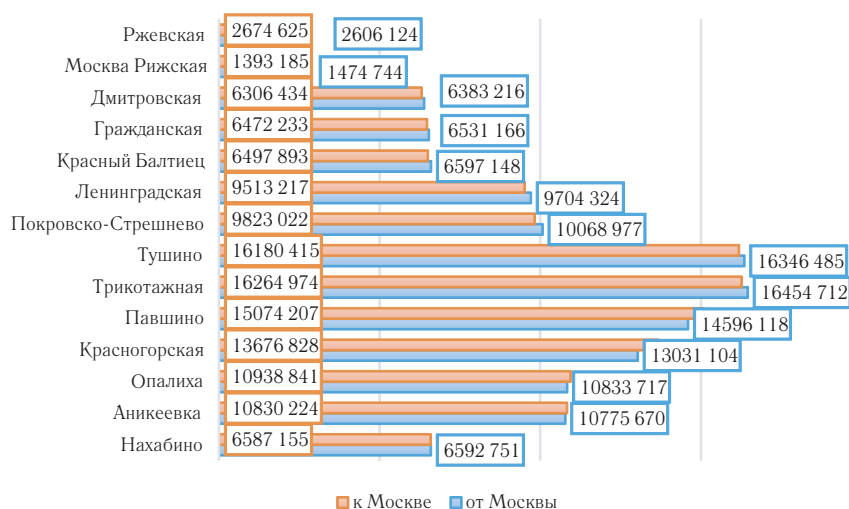


Рис. 4. Диаграмма пассажиропотока на участке Ржевская–Нахабино до введения МЦД-2

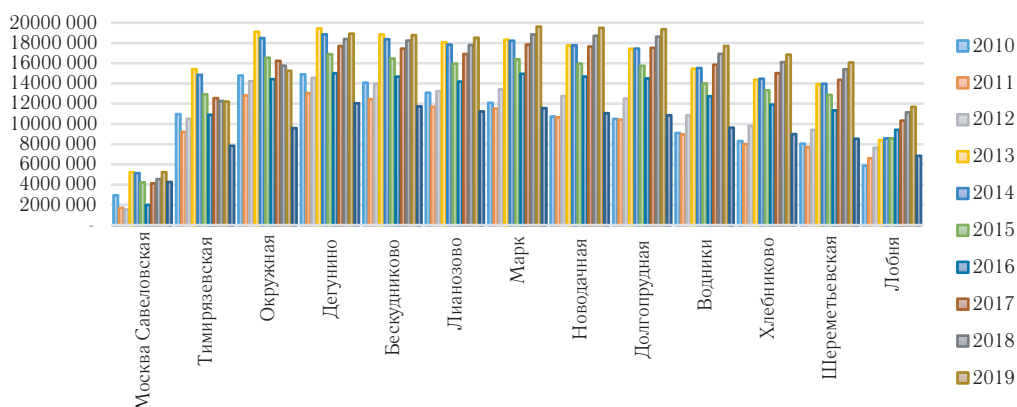


Рис. 5. Диаграмма изменения величин пассажиропотока за 10 лет на участке МЦД-1 – Москва-Савеловская–Лобня

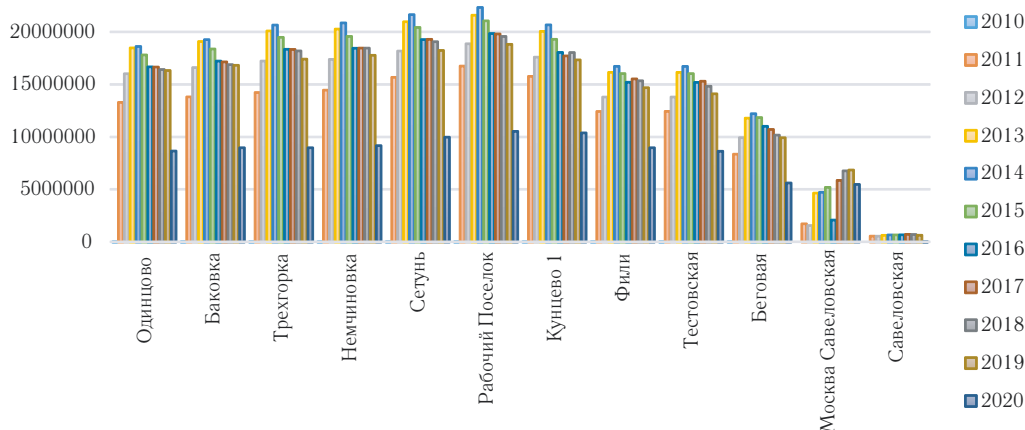


Рис. 6. Диаграмма изменения величин пассажиропотока за 10 лет на участке МЦД-1 – Одинцово –Москва-Савеловская

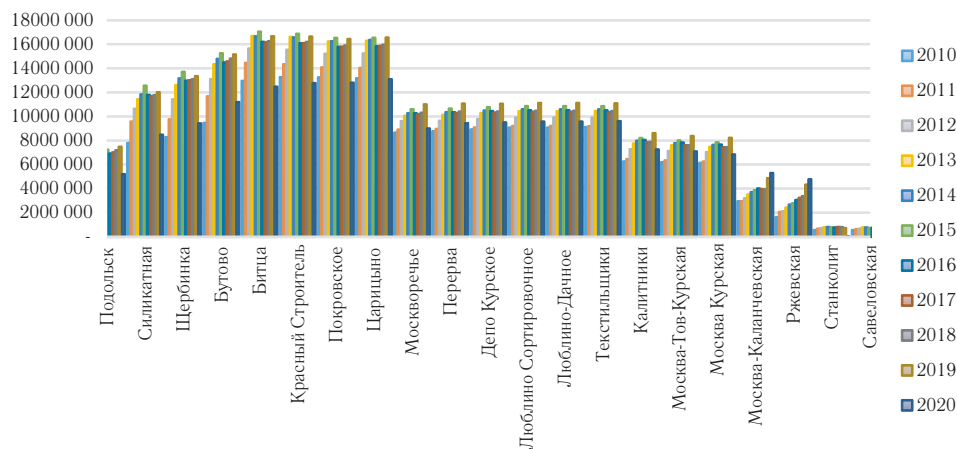


Рис. 7. Диаграмма изменения величины пассажиропотока за 10 лет на участке МЦД-2–Подольск–Москва–Савеловская

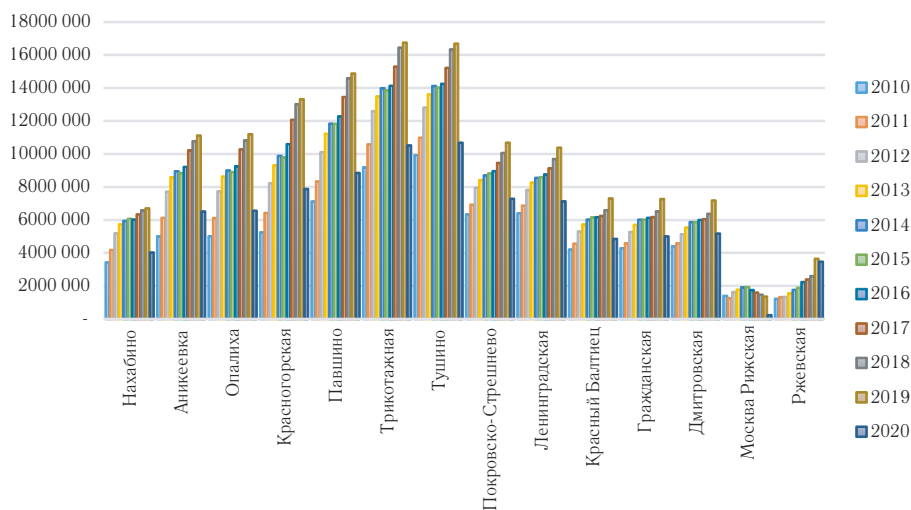


Рис. 8. Диаграмма изменения величины пассажиропотока за 10 лет на участке МЦД-2–Нахабино–Ржевская

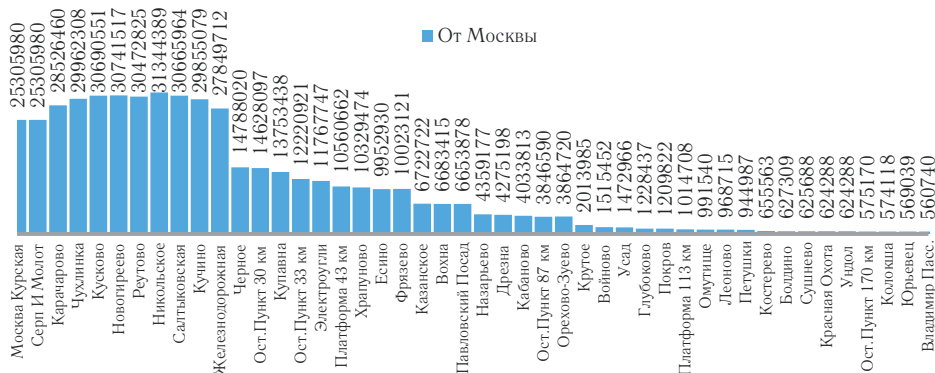


Рис. 9. Диаграмма изменения величины пассажиропотока на участке Москва Курская–Владимир- Пассажирский

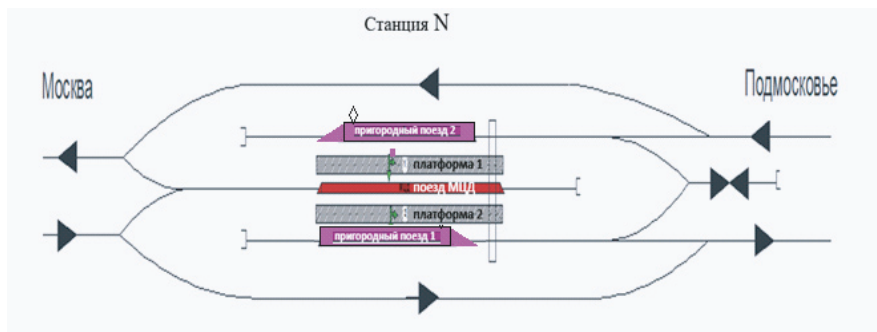


Рис. 10. Технологическая схема работы конечной станции диаметрального маршрута с кроссплатформенной пересадкой пассажиров

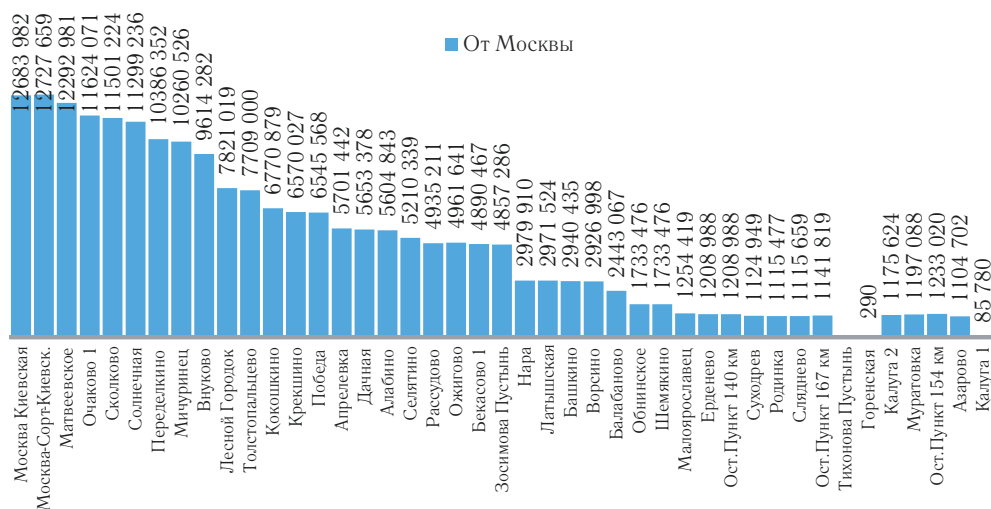


Рис. 11. Диаграмма изменения величины пассажиропотока на участке Москва Киевская–Калуга 1

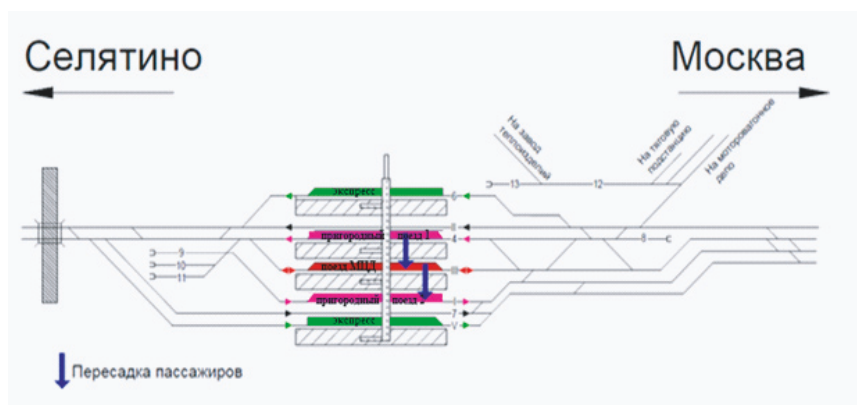


Рис. 12. Технологическая схема работы железнодорожной станции Апрелевка с кроссплатформенной пересадкой пассажиров

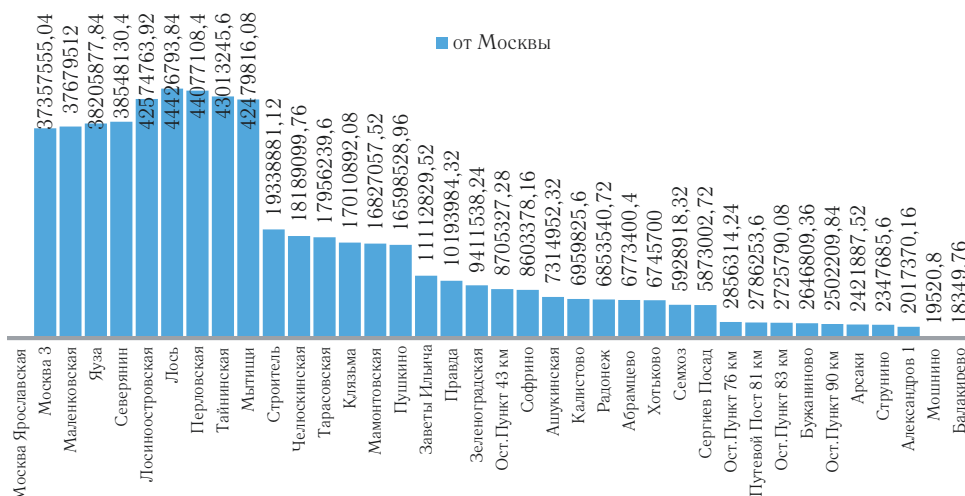


Рис. 13. Диаграмма изменения величины пассажиропотока на участке Москва-Ярославская до станции Балакирево

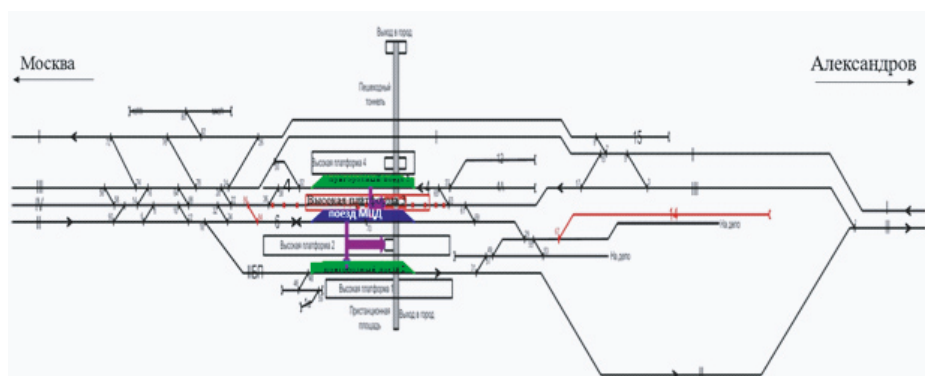


Рис. 14. Технологическая схема работы железнодорожной станции Пушкино с кроссплатформенной пересадкой пассажиров

Литература

1. Техническо-распорядительный акт железнодорожной станции Пушкино Московской железной дороги – филиала ОАО «РЖД». – Текст: непосредственный.
2. Техническо-распорядительный акт железнодорожной станции Апрелевка Московской железной дороги – филиала ОАО «РЖД». – Текст: непосредственный.
3. Пазойский, Ю.О. Пассажирские перевозки на железнодорожном транспорте (примеры, задачи, модели, методы и решения): учебное пособие / Ю.О. Пазойский, В.Г. Шубко, С.П. Вакуленко. – Москва: ФГБОУ «Учебно-методический центр на железнодорожном транспорте», 2016. – 364 с. – Текст: непосредственный.
4. Евреенова, Н.Ю. Выбор параметров транспортно-пересадочных узлов, формируемых с участием железнодорожного транспорта: специальность 05.22.08: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.22.08 / Евреенова Надежда Юрьевна; Моск. гос. ун-т путей сообщ. (МИИТ). – Москва, 2014. – 197 с. – Текст: непосредственный.

5. Концепция развития пригородных перевозок железнодорожным транспортом в Московском транспортном узле // АО «ИЭРТ» совместно с АО «Мосгипротранс» и ООО «Гражданпромпроект» по заказу Центра по развитию Московского транспортного узла ОАО «РЖД» от 28.09.2018 г.

6. МЦД-1: [сайт]. — Обновляется в течение суток. — URL: <https://mcd.mosmetro.ru/mcd-1> (дата обращения: 30.05.2022). — Текст: электронный.

7. МЦД-2: [сайт]. — Обновляется в течение суток. — URL: <https://mcd.mosmetro.ru/mcd-2> (дата обращения: 30.05.2022). — Текст: электронный.

8. МЦД-3: [сайт]. — Обновляется в течение суток. — URL: <https://mcd.mosmetro.ru/mcd-3> (дата обращения: 30.05.2022). — Текст: электронный.

9. МЦД-4: [сайт]. — Обновляется в течение суток. — URL: <https://mcd.mosmetro.ru/mcd-4> (дата обращения: 30.05.2022). — Текст: электронный.

10. МЦД-5: [сайт]. — Обновляется в течение суток. — URL: <https://mcd.mosmetro.ru/mcd-5> (дата обращения: 30.05.2022). — Текст: электронный.

РАСШИРЕННАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ТЯГОВЫХ ПРИВОДОВ ЛОКОМОТИВОВ



А.С. Космодамианский



В.И. Воробьев

Рассмотрена задача развития ранее предложенной классификации тяговых приводов как инструмента поиска новых патентоспособных решений. Предложена расширенная классификация-алгоритм, включающая в себя класс промежуточных решений, а также уровни анализа новых конструктивных решений.

Ключевые слова: проблемы создания новой техники, теория знаний, синтез технических решений, классификация

EDN: EWPAF

В [1] О.В. Измеровым была предложена классификация механической части тяговых приводов локомотивов, представляющая собой дальнейшее развитие идей типологизации технических решений, ранее изложенных им в [2–4]. В отличие от ранее существовавших классификаций тяговых приводов, в частности, наиболее известной классификации, предложенной И.В. Бирюковым в [5], данная классификация была предназначена не только для выявления

закономерностей при создании тяговых приводов и сведения их конструкций в единую логическую систему, но и должна была служить инструментом для синтеза новых конструктивных схем и технических решений приводов. В [4] было доказано, что принципы построения указанной классификации отражают общие закономерности создания машин и был предложен алгоритм построения подобных классификаций для общего случая. В варианте расширенной классификации [1]

Космодамианский Андрей Сергеевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Тяговый подвижной состав» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: автоматизация агрегатов и систем тягового подвижного состава, электрические передачи локомотивов. Автор 425 научных работ, в том числе 26 монографий, одного учебника и 24 учебных пособий. Имеет 127 патентов РФ.

Воробьев Владимир Иванович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Подвижной состав железных дорог» Брянского государственного технического университета (БГТУ). Область научных интересов: электрические передачи локомотивов, тяговый и вспомогательный электроприводы. Автор более 90 научных работ, в том числе 12 монографий. Имеет 80 патентов РФ.

Измеров Олег Васильевич, главный консультант отдела информационных систем хозяйственного управления Администрации губернатора Брянской области и Правительства Брянской области. Область научных интересов: динамика и методы конструирования тяговых приводов рельсового подвижного состава. Автор 82 научных работ, в том числе 20 монографий и десяти учебников. Имеет 90 патентов РФ.

Шевченко Дмитрий Николаевич, аспирант кафедры «Тяговый подвижной состав» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: тяговый электропривод, коэффициент сцепления колеса с рельсом, боксование, противобоксовочные защиты, тяговые свойства локомотива, регулирования сил тяги и торможения. Автор восьми научных работ. Имеет пять патентов РФ.

Николаев Евгений Владимирович, доцент кафедры «Тяговый подвижной состав» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: электрические передачи локомотивов, тяговый и вспомогательный электроприводы. Автор 20 научных работ, в том числе одной монографии. Имеет 10 патентов РФ.

был отражен новый описательный признак конструкции — появление агрегатной компоновки.

За время, прошедшее с момента выхода [1], перед отечественной транспортной промышленностью встали задачи практического создания и производства качественно новых локомотивов, конкурентоспособных на мировом рынке. Так, в 2021 г. АО «Трансмашхолдинг» создан концептуально новый маневровый тепловоз ТЭМ23, разрабатывается грузопассажирский тепловоз; отечественными производителями создаются тепловозы нового поколения для Восточного полигона. Это означает активизацию работ по поиску новых конструктивных решений и в области тягового привода. Помимо этого, отечественными производителями ведется работа в области моторвагонного рельсового подвижного состава, в том числе низкопольного, где нет эмпирически сложившихся представлений о рациональных технических решениях тяговых приводов. Таким образом, возникает необходимость дальнейшего обобщения конструкций приводов и развития классификации. Настоящая статья является попыткой решения данной проблемы.

Результаты анализа и предлагаемая структура классификации

Для систематизации на уровне конструктивных исполнений привода предложено ввести три группы компоновок: простую, интегрированную и агрегатную. Определения интегрированного и агрегатного привода были ранее даны в [6], а в [1] дано определение простой компоновки, как конструктивного решения, при котором техническое решение привода не содержит функциональных узлов в законченном виде. Так, например, в тяговом приводе тепловоза 2ТЭ25К^М нет узла, который можно было бы определить, как функционально законченный осевой редуктор, поскольку валом малого зубчатого колеса служит вал тягового электродвигателя (ТЭД), валом большого зубчатого колеса — ось колесной пары, а функции подшипников выполняют моторно-осевые подшипники.

Данное предложение помогло разрешить логическую коллизию, препятствующую введению в классификацию признака групп интегрированных и агрегатных приводов. В то же время существуют решения приводов, для которых продолжают возникать затруднения при отнесении к разным группам. Так, например, опорно-осевой привод опытного электроваза 2ЭС5 производства ООО «ПК «НЭВЗ» (рис. 1) отличается от простой компоновки только тем, что подшипниковый щит со стороны зубчатой передачи имеет кронштейн с гнездом для моторно-осевого подшипника, вследствие чего малое зубчатое колесо

расположено между моторно-осевыми подшипниками. Корпус редуктора при этом можно выполнить несущим, так как моторно-осевые подшипники размещены в трубе на оси колесной пары.

Таким образом, этот привод может быть отнесен к простой компоновке, поскольку в нем нет функциональных узлов в законченном виде. Вместе с тем опорно-рамный вариант этого привода (IGA) обычно относят к интегрированным, поскольку осевые подшипники в нем размещены в гнездах как на подшипниковом щите ТЭД, так и на корпусе редуктора, являющегося несущим.

Поскольку создание классификации ориентировано на использование в перспективе компьютерного распознавания конструктивных схем на основе объектных моделей технических устройств [7], необходима более строгая формализация процесса принятия решения отнесения привода к той или иной группе. В связи с этим авторами предложено выделить четыре группы конструктивных решений: простая компоновка (не содержащая функциональных узлов в законченном виде), переходная (усложнение простой компоновки ведет к выделению функциональных узлов), интегрированная (функциональные узлы присутствуют в законченном виде, но не могут выполнять свои функции без сборки с другими узлами) и агрегатная (функциональные узлы присутствуют в законченном виде и могут выполнять свои функции без сборки с другими узлами). При этом принадлежность к группе

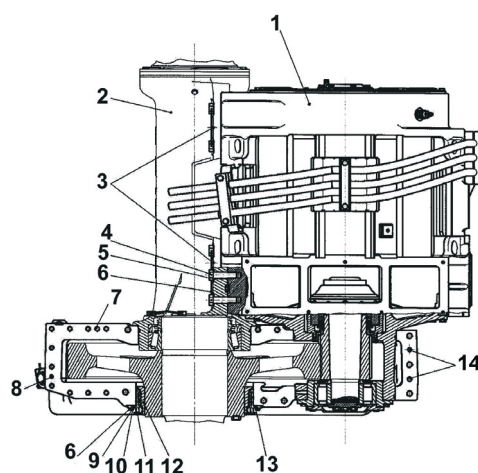


Рис. 1. Тяговый привод опытного электроваза 2ЭС5:
1 – ТЭД с редуктором; 2 – колесная пара с моторно-осевыми подшипниками и зубчатым колесом;
3, 7, 8, 14 – пробки; 4 – болт;
5, 10 – шайбы; 6 – контрольная проволока; 9 – винт;
11 – колпачок; 12 – распорка; 13 – прокладка

частично-интегрированной (переходной) компоновки определяется именно в том случае, когда формальные оценки не позволяют отнести конструкцию к простым или интегрированным приводам.

Пример такой группировки для семейства редукторных приводов, имеющих как частичное опирание масс привода на ось, так и полное опирание масс на раму экипажа (за исключением масс узлов, непосредственно передающих тяговый или тормозной момент на колесную пару) показан на рис. 2. На рис. 2 не показано семейство приводов, где полное обрессоривание достигнуто введением упругих элементов в опоры масс привода на колесную пару, ввиду кинематического сходства с семейством приводов с жесткой опорой на колесную пару.

Как видно из рис. 2, в совокупности решений, относящихся к группе простой компоновки, тяговый редуктор, как функциональный узел, отсутствует. К приводам, изображенным на рис. 2,а относится большинство конструкций опорно-осевого привода грузовых тепловозов, распространенных на Российских и Северо-Американских железных дорогах, рис. 2,б — привод, аналогичный применяемому на пассажирских тепловозах ТЭП70 производства АО «Коломенский завод», привод, изображенный на рис. 2,в реализован в виде экспериментального привода ВНИТИ без передаточного механизма [8].

Образование переходной компоновки производится в результате модификаций простой компоновки, направленных на улучшение работы зубчатой передачи без изменения числа ступеней, типа передачи и т.п. Привод, изображенный на рис. 2,г реализован на отечественном электровозе 2ЭС5 производства ООО «ПК«НЭВЗ», привод, изображенный на рис. 2,д — так называемый привод IGA. Отличие этих приводов заключается в том, что малое зубчатое колесо расположено между моторно-осевыми подшипниками, что позволяет увеличить длину посадки с натягом на валу ТЭД и повысить предельный передаваемый крутящий момент.

Привод без передаточного механизма (рис. 2,е) предложен Л.Н. Решетовым [9]. Благодаря применению промежуточного зубчатого колеса в этой конструкции привода при вертикальном перемещении колесной пары не меняется расстояние между осями зубчатых колес.

Соответственно, для интегрированной компоновки привода можно выделить законченные функциональные узлы, однако при этом один и тот же элемент конструкции может выполнять свои функции одновременно для нескольких функциональных узлов. Так, на рис. 2,ж показана схема тягового привода с опиранием ТЭД на ось и раму тележки, примененного на

электровозе 2ЭС10 производства ООО «Уральские локомотивы», в которой подшипник 6 одновременно выполняет функции как моторно-осевого, так и осевого подшипника редуктора, а левый подшипник 9 — одновременно роторного подшипника и подшипника вала малой шестерни осевого редуктора. Аналогичный принцип используется в приводе GEAFLEX (рис. 2,з) с опиранием масс привода на раму тележки, а также в приводе пассажирского электровоза ЭП20 производства ООО «ПК«НЭВЗ». Интегрированная компоновка возможна также и для привода с разделением масс ТЭД и тяговой передачи. На рис. 2,и показана схема привода по а.с. 79734 [10], в котором ТЭД подвешивается на раме тележки с возможностью продольного перемещения, при этом он связан с колесной парой через подшипники 18, соосные роторным 7 и расположенные снаружи последних. Таким образом, в отличие от схемы Решетова (см. рис. 2,е), в данном приводе сокращены размерные цепи, определяющие межосевое расстояние в зубчатой передаче, что позволяет повысить точность ее изготовления и долговечность.

Агрегатная компоновка для данного ряда конструктивных схем превращается в известную схему с опорно-рамным ТЭД и осевым редуктором, соединенных компенсирующим механизмом. Такая схема применяется на пассажирском электровозе ЭП1 производства ООО «ПК«НЭВЗ», электропоездах и т.п.

Предлагаемый авторами вариант расширенной классификации приводов приведен на рис. 3. Поскольку общие принципы построения классификации, а также примеры образования конструкторских решений для различных конструктивных схем и типов приводов, в том числе для интегрированной и агрегатной компоновки, были ранее подробно изложены авторами в [1–4], рассмотрим отличия предлагаемой классификации от приведенной в [1].

Поскольку алгоритм-классификация, как уже было отмечено выше, является методическим инструментом синтеза новых решений, в нее, помимо включения промежуточного (переходного) типа компоновки, добавлены уровни новых решений и анализа.

Уровень новых решений — это уровень классификации, где ее пользователь размещает созданные им или предприятием патентоспособные конструкции тягового привода. На данном уровне классификации разных пользователей будут различаться, однако, поскольку предлагаемая классификация является прежде всего инструментом для синтеза новых решений, данное различие не только допустимо, но и является необходимым условием работы с классификацией.

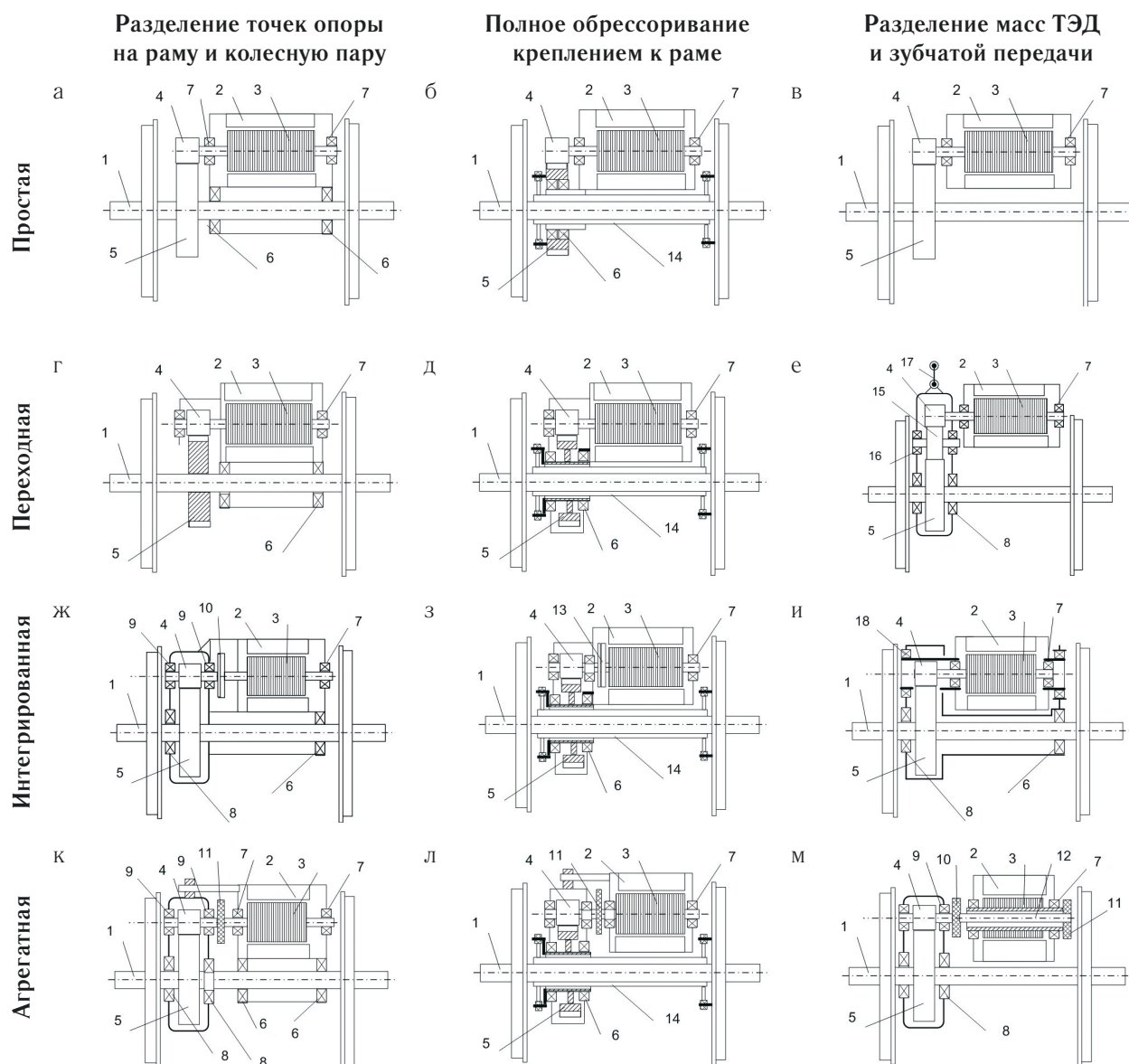
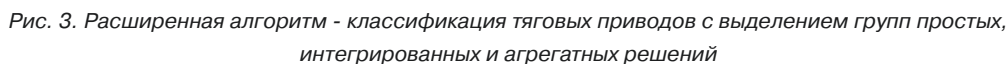


Рис. 2. Матрица групп конструктивных решений для редукторных приводов с частично и полностью обрессоренными массами: 1 – колесная пара; 2 – статор ТЭД; 3 – ротор ТЭД; 4 – малое зубчатое колесо; 5 – большое зубчатое колесо; 6 – моторно-осевой подшипник; 7 – подшипник ротора ТЭД; 8 – осевой подшипник редуктора; 9 – подшипник оси малого зубчатого колеса; 10 – дисковая муфта; 11 – упруго-компенсирующая муфта; 12 – торсионный вал; 13 – мембранная муфта; 14 – полый вал; 15 – промежуточное зубчатое колесо; 16 – подшипник промежуточного зубчатого колеса; 17 – тяга; 18 – подшипник опоры на вал ТЭД

В группе полностью необрессоренных приводов авторами запатентовано мотор-колесо с увеличенным сроком службы подшипников за счет увеличения расстояния между опорами (патент № 196906).

НАУКА И ТЕХНИКА ТРАНСПОРТА



В группе частично обрессоренных редукторных приводов получено по одному патенту на приводы простой и переходной схем (№172438 и 190120). В приводе простой схемы, при жестком опирании ТЭД на ось, крутящий момент амортизируется элементами в колесных центрах, а переходной схемы — за счет соединения большого зубчатого колеса с колесным центром увеличено место под размещение осевого подшипника. Пять патентов получено на приводы интегрированной схемы (№164732, 169062, 176168, 176430 и 190846), улучшение прототипов выражается в упрощении сборки привода, применении двусторонней шевронной передачи, амортизации динамического момента при проезде неровностей пути, предложении новой компоновки с двухдисковым ТЭД и размещением тяговой передачи между дисками. На различные варианты агрегатных приводов получены три патента (№164797, 176845 и 189364).

Для группы с разделением ТЭД и передачи запатентовано два привода (№173559 и 190819), в которых первая ступень передачи размещена на корпусе ТЭД, что позволяет использовать уравновешенный шарнирно-поводковый механизм для связи с осевым редуктором и повысить надежность привода. Для группы частично обрессоренных редукторных приводов с разделением колес передачи запатентован двухступенчатый привод с крупномодульным колесом второй ступени, имеющий меньший износ передачи (патент № 157038).

В группе приводов с полностью обрессоренными массами запатентованы четыре решения. Это опорно-центральный привод с металлическим упругим элементом (патент №177913), опорно-центральный привод интегрированной схемы (патент №166920) а также опорно-рамный привод с ТЭД с осевым магнитным потоком (патент №200670).

Таким образом, можно считать доказанной возможность получения новых патентоспособных решений практически для всех известных конструктивных схем тяговых приводов, включая и те, для которых длительное время не наблюдалось изобретательской активности.

Уровень анализа для алгоритма-классификации включает в себя совокупность создаваемых разработчиком таблиц конструктивных решений, аналогичных приведенной на рис. 1. Это позволяет снять противоречия между иерархической и табличной формами систематизации решений. Если иерархическая часть классификации используется для типологизации всех известных конструктивных решений, то табличная — для выделения групп решений, наиболее интересующих разработчика и ранжированных по двум или нескольким признакам, что позволяет определить

новые возможные области поиска новых решений. С другой стороны, табличная форма упрощает задачу разбиения конструкции на элементы для дальнейшего построения объектных моделей тягового привода [7] и развития автоматического распознавания подобных друг другу технических решений.

В качестве примера использования классификации рассмотрим конструкции привода, предложенные и запатентованные авторами с момента опубликования [1].

Опорно-центральный интегрированный привод

Известные опорно-осевые приводы интегрированного типа (например, привод электровоза ЭП10) не имеют упругих элементов для амортизации ударных моментов при прохождении неровностей пути, что увеличивает расход энергии на тягу из-за роста проскальзывания колеса по рельсу при максимумах динамического момента. Уменьшение наружного диаметра ТЭД в интегрированном приводе ведет к увеличению расстояния между осью колесной пары и корпусом ТЭД. Это дает возможность разместить между корпусом ТЭД и осью колесной пары полый вал, опирающийся на колесные центры колесной пары через упругие элементы. В связи с этим авторами предло-

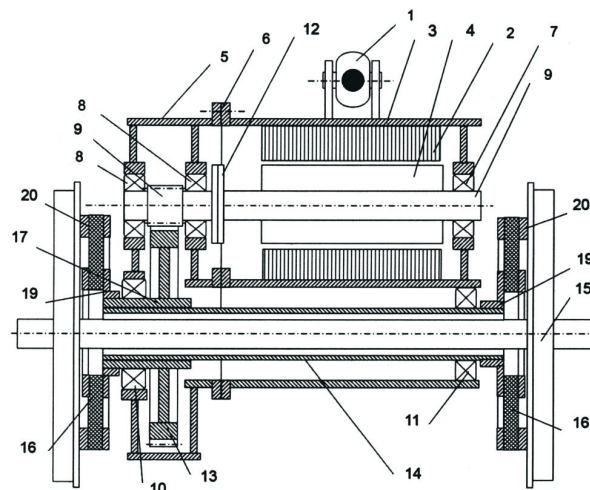


Рис. 4. Опорно-центральный привод интегрированной схемы: 1 – подвеска; 2 – ТЭД; 3 – статор; 4 – ротор; 5 – осевой редуктор; 6 – разъемное соединение; 7 – подшипник ротора; 8 – подшипники вала осевого редуктора; 9 – вал осевого редуктора; 10, 11 – осевые подшипники; 12 – мембранная муфта; 13 – большое зубчатое колесо; 14 – полый вал; 15 – колесная пара; 16 – упругие элементы; 17 – ступица; 18 – секторы упругого элемента; 19 – фланец; 20 – кольцевой выступ

жен тяговый привод интегрированного типа с упругим опиранием на колесную пару (рис. 4).

В предложенном приводе осевой подшипник 10 на стороне редуктора опирается на ступицу 17 большого зубчатого колеса, посаженную с гарантированным натягом на полый вал, что позволяет уменьшить натяг между ступицей и полым валом и, соответственно, толщину полого вала и централь тяговой передачи. Это дает возможность увеличить тяговое усилие по предельному моменту ТЭД. Выполнение упругих элементов в виде плоских резинокордных пластин дает возможность уменьшить их жесткость, снизить динамические моменты в приводе и повысить тяговое усилие по условиям сцепления колеса с рельсом. Это, в совокупности, увеличивает производительность локомотива. На предложенный привод авторами получены патенты на полезные модели [11;12].

Опорно-центральной агрегатный привод

В предложенном О.В. Измеровым приводе агрегатного типа [6], как и в приводе интегрированного типа, можно повысить скорость вращения ТЭД по сравнению с приводами простого и промежуточного типов, потому что, с одной стороны, малая шестерня симметрично расположена между подшипниковыми опорами, что обеспечивает долговечность последних, а, с другой стороны, упруго-компенсационная муфта компенсирует только несоосности, возникающие при сборке привода, благодаря чему частота вращения муфты может быть значительно выше, чем у муфт, которые должны компенсировать перемещение осевого редуктора относительно рамы тележки. Аналогично примеру, рассмотренному выше, упругое опирание на колесную пару можно реализовать и для привода агрегатного типа. Снижение вертикальных ускорений ТЭД за счет обрессоривания также способствует снижению расхода энергии на тягу, поскольку уменьшается изменение динамической составляющей вертикальной нагрузки колеса на рельсы и, соответственно, величины упругого скольжения при минимальном суммарном значении нагрузки. Подобная конструктивная схема, предложенная авторами, представлена на рис. 5. На данный привод получен патент на полезную модель [13].

Тяговый привод с дугостаторным ТЭД

С точки зрения максимальной экономии затрат энергии на тягу наилучшей конструктивной схемой является тяговый привод с полностью обрессоренными массами, поскольку в этом случае минимальны колебания как вертикальной нагрузки на ось, так и

величины крутящего момента в валопроводах привода. Обычно применяемый вариант с полым карданным валом на оси, который требует для своего размещения значительного пространства между корпусом ТЭД и поверхностью оси. Повышение частоты вращения ТЭД снижает долговечность подшипников и зубчатой передачи привода, в связи с чем авторами была предложена принципиально новая конструкция привода с использованием дугостаторного асинхронного ТЭД (рис. 6). Дугостаторный ТЭД имеет статор, состоящий из двухдуговых индукторов, не сомкнутых между собой со стороны оси.

Благодаря этому ТЭД имеет глубокую выемку со стороны оси колесной пары, что позволяет разместить полый карданный вал при большем диаметре ТЭД, чем при обычной конструкции ТЭД с радиальным магнитным потоком. Как показано в [14], дугостаторные ТЭД могут применяться для локомотивной тяги, при этом достоинством дугостаторного ТЭД являются более низкие ударные моменты при аварийных режимах работы полупроводникового преобразователя напряжения. Конструкция защищена патентом на полезную модель [15].

Выводы

1. Установлена необходимость дальнейшего развития ранее предложенной классификации тяговых приводов, как в связи с необходимостью выделения в

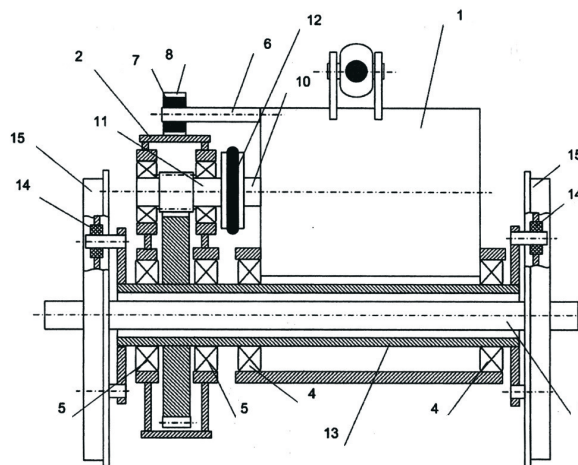


Рис. 5. Опорно-центральной привод агрегатной схемы:
1 – ТЭД; 2 – осевой редуктор; 3 – колесная пара;
4,5 – подшипники; 6 – палец; 7 – сферический шарнир;
8 – ползун; 9 – кронштейн; 10 – вал ТЭД; 11 – вал осевого редуктора; 12 – упруго-компенсационная муфта;
13 – полый вал; 14 – упругие элементы;
15 – колесные центры

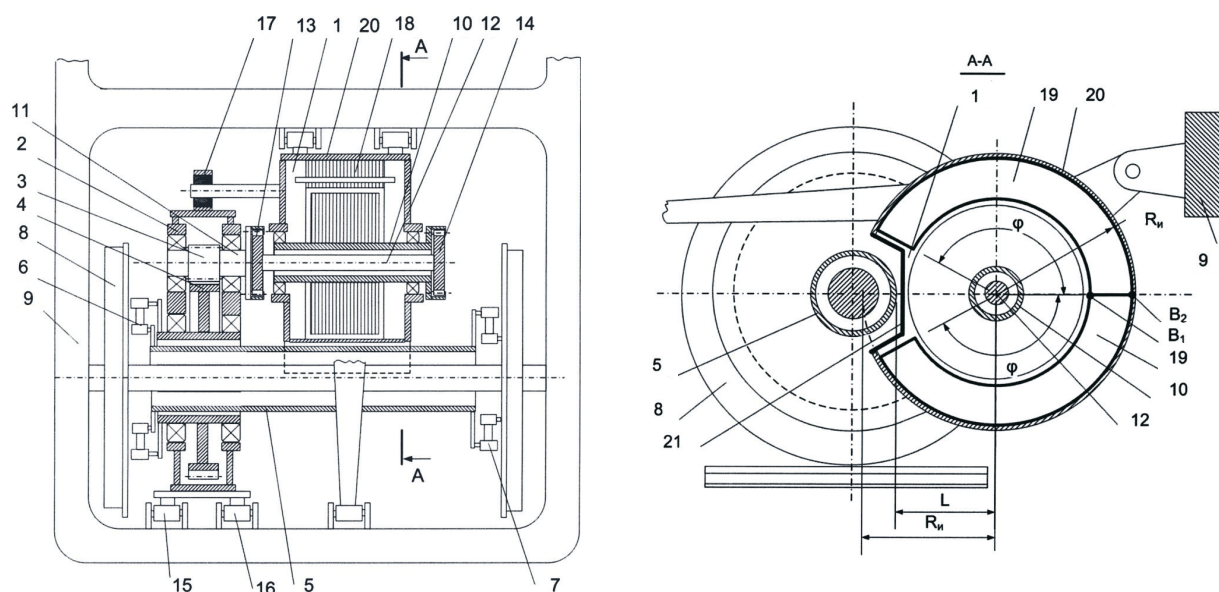


Рис. 6. Тяговый привод с дугостаторным асинхронным ТЭД: 1 – ТЭД; 2 – редуктор; 3, 4 – зубчатые колеса; 5 – полый вал; 6, 7 – муфты; 8 – колесная пара; 9 – рама тележки; 10 – вал ТЭД; 11 – вал редуктора; 12 – торсионный вал; 13, 14 – зубчатые муфты; 15, 16 – опоры редуктора; 17 – подвижное соединение; 18 – статор ТЭД; 19 – дугообразные индукторы; 20 – корпус ТЭД; 21 – кожух

отдельный подкласс компоновки привода, переходной от простой к интегрированной, так и в связи с необходимостью учета в классификации табличных методов представления закономерностей изменения свойств конструкции в зависимости от их компоновки.

2. Предложена таблица (матрица) групп конструктивных решений редукторных тяговых приводов с частично и полностью обрессоренными массами, включающая в себя четыре группы компоновки (простая, промежуточная, интегрированная и агрегатная) и все известные способы частичного обрессоривания масс привода.

3. Дана усовершенствованная классификация тяговых приводов, включающая в себя промежуточный тип компоновки, а также уровни новых решений, рекомендованные разработчиками и уровень анализа с целью выявления признаков для построения объектных моделей привода, позволяющих реализовать автоматический поиск аналогов компоновочных решений.

4. С помощью настоящей классификации авторами представлены новые конструкции тягового привода, позволяющие уменьшить затраты энергии на тягу поездов. Получено четыре патента на полезные модели. 

Литература

1. Развитие классификации механической части тяговых приводов железнодорожных локомотивов / А.С. Космодамианский, В.И. Воробьев, О.В. Измеров, М.И. Капустин, Д.Н. Шевченко. – Текст: непосредственный // Наука и техника транспорта. – 2021. – №2. – С. 63–69.
2. Измеров, О.В. Классификация как инструмент синтеза механической части тяговых приводов железнодорожного подвижного состава / О.В. Измеров, Г.С. Михальченко. – Текст: непосредственный // Мир транспорта и технологических машин. – 2012. – №4 (39). – С. 53–60.
3. Кибернетические аспекты методов синтеза электромеханических систем: монография / О.В. Измеров [и др.]; под ред. академика Академии электротехн. наук Рос. Федерации, д-ра техн. наук, проф. А.С. Космодамианского. – Орел: Госуниверситет - УНПК, 2015. – 234 с. – Текст: непосредственный.

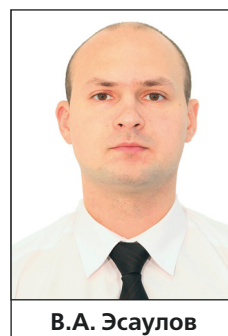
4. Общие принципы классификации механической части тяговых приводов локомотивов / В.И. Воробьев, О.В. Измеров, А.А. Пугачев, Д.А. Бондаренко. — Текст: непосредственный // Совершенствование энергетических машин: сб. науч. тр.; под ред. В.В. Рогалева. — Брянск: БГТУ, 2015. — С. 241–248.
5. Бирюков, И.В. Тяговые передачи электроподвижного состава железных дорог / И.В. Бирюков, А.И. Беляев, Е.К. Рыбников. — Москва: Транспорт, 1986. — 256 с. — Текст: непосредственный.
6. Воробьев, В.И. Агрегатная компоновка тягового привода для тепловоза с повышенной нагрузкой на ось / В.И. Воробьев, О.В. Измеров. — Текст: непосредственный // Совершенствование транспортных машин: сб. науч. тр.; под ред. В.В. Рогалева, В.И. Воробьева. — Брянск: БГТУ, 2019. — С. 42–46.
7. Объектная модель технических решений для проектирования тягового привода колесно-моторного блока / Д.Я. Антипин, М.И. Борзенков, В.И. Воробьев, О.В. Дорофеев, С.Н. Злобин, О.В. Измеров, А.В. Сомотканов. — Текст: непосредственный // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. — 2019. — №6 (338). — С. 118–126.
8. Беляев, А.И. Опорно-рамный тяговый привод / А.И. Беляев, В.А. Кондратов, Л.И. Родова. — Текст: непосредственный // Исследование узлов и агрегатов тепловозов. Труды ВНИТИ. — Коломна, 1980. — Вып. 52. — С. 69–73.
9. Авторское свидетельство №538929 СССР. Тяговый привод локомотива: опубл. 15.12.76, бюлл. №46 / Л.Н. Решетов.
10. Авторское свидетельство № 797934 СССР. Тяговый привод локомотива: опуб. 23.01.81, бюлл. №3 / В.В. Симачев.
11. Патент №203778 Российская Федерация, СПК В61С 9/48 (2021.02). Тяговый привод локомотива / Воробьев В.И., Измеров О.В., Космодамианский А.С., Капустин М.Ю., Стрекалов Н.Н., Сомотканов А.В., Шевченко Д.Н., Корчагин В.О.: опубл.: 21.04.2021, бюлл. №12.
12. Патент №207227 Российская Федерация, СПК В61С 9/38 (2021.05). Тяговый привод локомотива / Воробьев В.И., Измеров О.В., Космодамианский А.С., Пугачев А.А., Капустин М.Ю., Стрекалов Н.Н., Сомотканов А.В., Шевченко Д.Н., Николаев Е.В.: опубл. 18.10.2021, бюлл. №29.
13. Патент №206748 Российская Федерация, СПК В61С 9/38 (2021.08); В61С 9/48 (2021.08). Тяговый привод локомотива / Воробьев В.И., Антипин Д.Я., Измеров О.В., Маслов М.А., Шевченко Д.Н.: опубл. 24.09.2021, бюлл. №27.
14. Ивахин, А.И. Варианты реализации и динамические свойства асинхронного тягового привода локомотивов с дугогасительными электродвигателями / А.И. Ивахин. — Текст: непосредственный // Тяжелое машиностроение. — 2012. — №10. — С. 17–21.
15. Патент №206897 Российская Федерация, СПК В61С 9/00 (2021.08); В61С 9/48 (2021.08). Тяговый привод локомотива / Воробьев В.И., Измеров О.В., Космодамианский А.С., Пугачев А.А., Капустин М.Ю., Стрекалов Н.Н., Сомотканов А.В., Шевченко Д.Н., Николаев Е.В.: Опубл. 30.09.2021, бюлл. №28.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОПУСКА СПАРЕННЫХ ГРУЗОВЫХ ПОЕЗДОВ

Проводится сравнительный анализ технико-экономических характеристик виртуально и жестко сцепленных грузовых поездов, а также объединенных контейнерных поездов. Приводятся рекомендации по совершенствованию процесса пропуска виртуально-сцепленных поездов. Обосновываются сферы и условия применения технологий спаренного пропуска грузовых поездов.

Ключевые слова: виртуально-сцепленный поезд (ВСЦ), технология виртуальной сцепки, технология жесткой сцепки

EDN: PYOIES



В.А. Эсаулов



Б.И. Давыдов

Компактный (сдвоенный) пропуск грузовых поездов служит эффективной мерой по уплотнению потока. До настоящего времени отсутствует однозначная оценка сравнительной эффективности соединенного вождения поездов — жесткого сцепления, объединения контейнерных поездов и пропуска пакета с укороченным межпоездным интервалом по технологии «виртуальная сцепка» [1]. Основным преимуществом способа жесткого сцепления и объединения контейнерных поездов считают экономию нитки графика, что дает значительный выигрыш в периоды, когда требуется увеличить интенсивность потока.

Технология сопряжена с необходимостью формирования поезда на удлинённых путях в течение 30–40 минутного интервала времени. Участковая скорость соединенного поезда, как правило, ниже нормативного значения. Значительным недостатком объединения контейнерных поездов служит снижение маршрутной скорости высокодоходных перевозок. Эффективности рассматриваемой технологии в реальных эксплуатационных условиях, когда возникают отклонения в функционировании участка, удастся добиться при наличии обводных путей или специальных путевых вставок. В противном случае, без правильной регулировки со

Эсаулов Вячеслав Александрович, аспирант кафедры «Организация перевозок и безопасность на транспорте» Дальневосточного государственного университета путей сообщения (ДВГУПС), первый заместитель начальника диспетчерского центра управления перевозками Дальневосточной дирекции управления движением — структурного подразделения Центральной дирекции управления движением — филиала ОАО «РЖД». Область научных интересов: повышение экономической эффективности организации движения грузовых поездов. Автор пяти научных работ.

Давыдов Борис Израильевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматика, телемеханика и связь» Дальневосточного государственного университета путей сообщения (ДВГУПС). Область научных интересов: проблемы управления в транспортной отрасли; моделирование транспортных объектов и процессов. Автор 109 научных работ, в том числе одной монографии. Имеет шесть патентов РФ.

Никитенко Константин Николаевич, главный инженер Дальневосточной дирекции тяги — структурного подразделения Центральной дирекции тяги — филиала ОАО «РЖД». Область научных интересов: повышение энергетической эффективности перевозочного процесса.

Лазарев Александр Геннадьевич, региональный представитель Сибирского отделения Научно-исследовательского и проектно-конструкторского института информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте АО «НИИАС». Область научных интересов: технологии интервального регулирования.

стороны диспетчерского персонала, график движения дестабилизируется и для его восстановления требуется определенный период времени.

Технология соединения двух подвижных единиц в один виртуально-сцепленный поезд (ВСЦ) основана на использовании способа поддержания укороченного межпоездного интервала на основе точной координатной информации [2]. Стандартный режим последовательного отправления поездов исключает потери времени и расходы, необходимые для формирования жесткой сцепки и объединения контейнерных поездов, что является явным преимуществом технологии ВСЦ. Виртуальное сцепление также позволяет избежать проблемы выбора удлиненных путей, что требуется в технологии физического соединения. Существенным преимуществом организации вождения ВСЦ поездов служит минимизация человеческого фактора в вопросах управления движением поездов, и как следствие, движение поездов строго по выделенным ниткам графика.

В настоящей работе представлен сравнительный анализ рассматриваемых технологий с использованием данных, полученных в процессе эксплуатации в пределах Дальневосточной железной дороги. Исследование позволяет обосновать предложения по повышению эффективности организации движения грузовых поездов на грузонапряженном направлении железной дороги, а также сформировать конкретные сферы применения и условия реализации технологий спаривания поездов.

1. Анализ литературных источников

Эффективность технологий сдвоенного пропуска грузовых поездов по участкам магистральных железных дорог исследуется в ряде работ. Показывается, что использование жестко сцепленных поездов позволяет повысить пропускную, провозную способность участков на 10–20%, получить значительный экономический эффект от соблюдения нормативных сроков доставки [3]. Особенно эффективна технология в периоды проведения продолжительных «окон» [4]. В статье [5] автором предложена методика оценки эффективности формирования и пропуска жестко сцепленных поездов на участках и полигонах дорог на основе сравнения экономических эффектов различных сценариев организации поездопотока: формирования, пропуска грузовых поездов графиковой массы или соединенных поездов. В результате определяется экономический эффект от использования технологии физического соединения, делается вывод о преимуществах данной технологии.

В статье [6] оценивается степень повышения эффективности использования пропускной способ-

ности участка посредством снижения межпоездного интервала при вождении ВСЦ поездов. Путем моделирования получен вывод о том, что использование технологии «виртуальная сцепка» на участке Мариинск — Красноярск-Восточный позволяет увеличить пропускную способность на 19% относительно существующего графика. В работе [7] представлены результаты исследований эффективности применения бессветофорной системы регулирования движения поездов, в том числе, с использованием технологии ВСЦ.

В статье [8] исследуется режим разграничения между поездами с позиции обеспечения безопасности движения. Предложена методика определения достаточного интервала с использованием инструментов математического моделирования. Сделан вывод о том, что при существующей системе автоблокировки имеются резервы, использование которых позволяет сократить интервал. Исследование показывает, что при технологии ВСЦ в большинстве случаев можно сближать поезда на расстояние, меньшее 1500 м. При определении номинального интервала сближения, кроме длины тормозного пути, учитываются готовность инфраструктуры и перерабатывающие возможности станций участка. Подобный вывод делается и в работе [2], в которой описан комплексный подход к определению эффективности вождения ВСЦ поездов. Авторами поддерживается мнение о том, что виртуальная сцепка — это только часть комплекса мер по повышению эксплуатационных возможностей сети дорог. Эта технология позволяет получить эффект при реализации ряда дополнительных решений, таких как сокращение продолжительности станционных операций и повышение надежности инфраструктуры.

В ряде исследований, например, в [1;9;10], доказываются, что линейный рост коэффициента использования пропускной способности наблюдается лишь при малой плотности потока поездов. В зоне повышенной плотности, при интервалах менее 10 мин, рост показателя пропуска затормаживается и, в дальнейшем, полностью прекращается. Причиной служит влияние случайных факторов, отклоняющих траектории движения поездов от нормативных. Вероятностное моделирование показывает, что результатом случайных влияний оказывается возникновение двух неграфиковых задержек на 300 км пути при среднем интервале пакетного пропуска, равном 12 мин [11]. Этот эффект препятствует достижению высокой эффективности технологии ВСЦ на реальных железных дорогах.

В статьях [12;13] рассматривается вопрос повышения энергетической эффективности процесса тяги при пропуске поездов в режиме ВСЦ. Исследуются характеристики потребления энергии электровозами

типа ЗЭС5К в режиме «виртуальная сцепка»; делается вывод о возможности снижения удельного расхода электроэнергии на тягу поездов на 5%. Однако существуют ограничения, накладываемые системой электроснабжения на пропуск плотного потока. Так, при пакетном движении тяжелых грузовых поездов с интервалом 8 мин влияние потерь в тяговой сети ведет к понижению напряжения в сети на величину около 1 кВ [14].

2. Анализ качества выполненного движения ВСЦ поездов

Проведен анализ характеристик выполненного движения виртуально-сцепленных поездов. Исследованы данные о динамике межпоездного интервала и времени хода по участку. Рассмотрена статистика по движению поездов по участку Хабаровск-Ружино Дальневосточной железной дороги на протяжении календарного года. В выборку включены 37 пар поездов, следующих в четном направлении. Критериями отбора послужили: факт проследования по всему участку без разъединения, малый интервал отправления (до 10 мин включительно), а также отсутствие неграфиковых остановок на промежуточных станциях в ожидании окончания работ или обгона приоритетными поездами.

На указанном контрольном участке графиком движения предусмотрен норматив времени хода, равный 396 мин. Ни один исследуемый поезд не уложился в график. Среднее значение времени хода пакетов ВСЦ составило 502 мин. Завышение фактического времени хода обусловлено влиянием совокупности случайных

дестабилизирующих факторов. Это влияние усиливается при увеличении интенсивности потока поездов и, как следствие, повышении степени влияния межпоездных конфликтов. Полностью исключить эти факторы путем совершенствования интервального регулирования не представляется возможным по причине стохастической природы транспортного потока, а также ограниченной пропускной способности диспетчерских участков.

С целью выяснения влияния случайных задержек на ВСЦ, изучен характер распределения времен хода для ведущих и ведомых поездов. Гистограммы для опозданий показывают идентичность распределений отклонений от графика по прибытию на конечную станцию участка для указанных групп (рис. 1).

В исследованной выборке минимальное отклонение от графикового момента прибытия для ведущего поезда составило 31 мин, ведомого — 34 мин (в сторону увеличения). Средняя величина отклонения по прибытию ведущего составила 106 мин, среднеквадратическое отклонение — 47 мин. Согласно данным официальной статистики, полученным на этапе подконтрольной эксплуатации технологии ВСЦ, в реальном движении показатель участковой скорости по группе ведущих поездов составил 48,4 км/ч, по группе ведомых — 47,9 км/ч. Эти данные корреспондируют с показателями движения поездов, которые пропускались в искусственно созданных свободных условиях (см. раздел.5).

Анализ скоростных траекторий поездов показывает, что механизмом формирования опозданий является накопление малых отклонений, вызванных естествен-

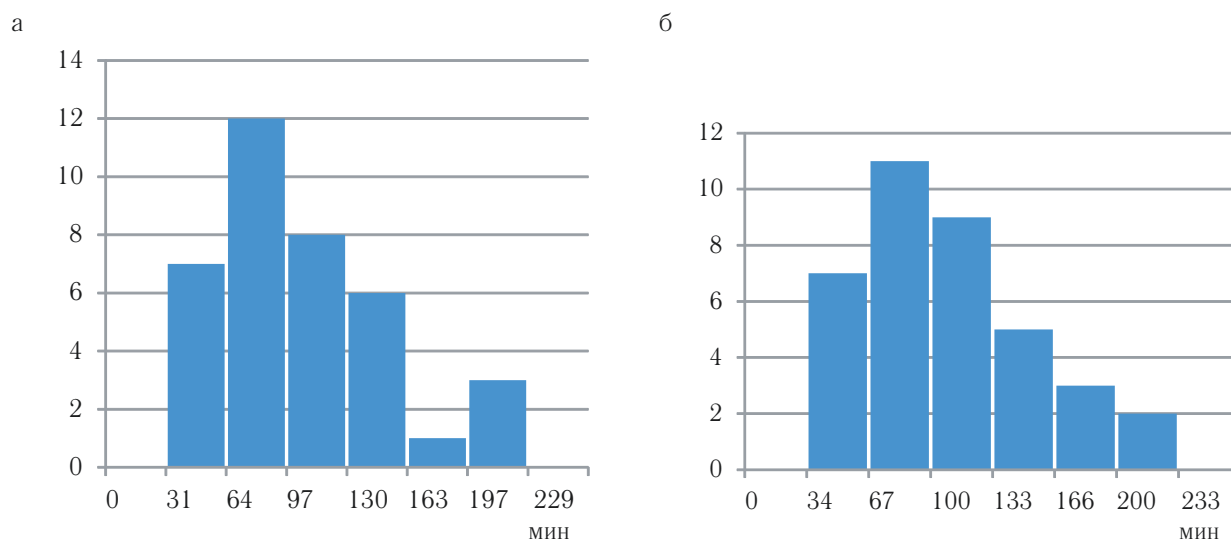


Рис. 1. Гистограммы отклонений от графикового времени прибытия для ведущих (а) и ведомых (б) поездов

ными условиями пропуска поездов. Идентичность вероятностных распределений времени опоздания подтверждает, что движение ведущего и ведомого поездов (в каждой паре ВСЦ) отклоняется от графического единой совокупностью случайных факторов, в частности, движение поездов со скоростями, ниже действующих предупреждений на 10–15%, а также естественное увеличение продолжительности действия ограничения скорости, связанное с замедлением и разгоном. В условиях движения при интенсивном графике использование режима автоведения улучшает ситуацию в малой степени. Отсутствие жесткой синхронизации движения ВСЦ поездов, вызванное дискретностью системы интервального регулирования и особенностями алгоритма управления, приводит к увеличению среднего межпоездного интервала в процессе движения по участку.

Примером служит механизм нарушения связности пары поездов, что вызвано прохождением по элементу пути с ограничением скорости, который иллюстрируется рис. 2. Алгоритм регулирования ВСЦ в процессе подстройки траектории ведомого поезда под динамику ведущего дважды снижает скорость — в интервалах (t'_3, t''_3) и (t''_3, t_y) . В результате межпоездной интервал после прохождения участка ограничения протяженностью 3 км увеличивается до 13 мин.

Статистика, полученная при реальной эксплуатации технологии ВСЦ, подтверждает утверждение о закономерности увеличения межпоездного расстояния вследствие случайных задержек. Данные показывают, что средний интервал по отправлению

сцепленных поездов составляет 8 мин, по прибытию — 13 мин. Учитывая, что графиковый интервал составляет 12 мин и ВСЦ поезда занимают отдельные пути на технических станциях, где производится смена локомотивных бригад, можно заключить, что явного повышения пропускной способности в серии опытных поездок не наблюдается.

Соответственно, актуальными вопросами совершенствования технологии виртуального сцепления поездов являются:

- следование поездов со скоростями, максимально приближенными к действующим ограничениям;
- возможность нагона поездов после выхода из зоны действия инфраструктурного ограничения;
- синхронизация интервала непосредственно при следовании по лимитирующему участку;
- возможность приема ВСЦ поездов на один путь технической станции.

3. Анализ качества выполненного движения при организации жесткого сцепления грузовых поездов

Исследована выборка данных по 56 жесткосцепленным поездам, проследовавшим за тот же период по участку Хабаровск-Ружино. Критерии отбора сцепок аналогичны критериям отбора ВСЦ поездов. Среднее значение времени хода жестко сцепленных поездов составило 504 мин, средняя участковая скорость движения — 49,0 км/ч. Гистограмма распределения отклонений моментов прибытия на конечную станцию участка приведена на рис. 3. Минимальное

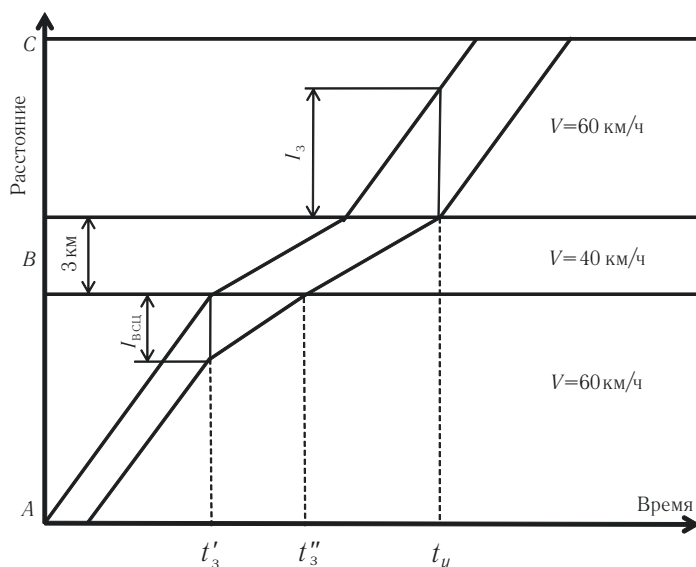


Рис. 2. Динамика межпоездного интервала на участке с ограничением скорости

время отклонения по прибытию на конечную станцию от нормативной нитки для жестко сцепленных поездов составило 28 мин, максимальное — 188 мин. Среднее опоздание равно 108 мин, среднеквадратическое отклонение (СКО) — 40 мин.

Статистика показывает, что основной показатель, характеризующий качество пропуска поездов — среднее время хода по участку, по виртуально и жестко сцепленным поездам отличается незначительно. По совокупности поездов эта величина превышает графиковое время хода на 22%. При этом, СКО по выборке жестко сцепленных поездов существенно ниже аналогичного параметра по виртуально сцепленным пакетам, что свидетельствует о большей стабильности исполненного движения в случае пропуска с физическим соединением.

На основе проведенного анализа можно заключить, что спаренный пропуск поездов в обоих случаях не позволяет компенсировать влияние случайных возмущений и обеспечить регулярное движение грузовых поездов строго по графику. Это является препятствием для повышения интенсивности потока и, следовательно, степени использования пропускной способности.

4. Показатели потребления энергии спаренными поездами

Проведен сравнительный анализ потребления электроэнергии на тягу по группам виртуально и жестко сцепленных поездов. Данные о расходе энергии при проследовании контрольного участка снимались с локомотивных счетчиков. В табл. 1 представлены данные по минимальному, максимальному, среднему потреблению энергии ведущим и ведомым поездами в парах виртуально и жестко сцепленных поездов.

Из рассмотрения данных следует, что отличие в расходе энергии ведущим и ведомым локомотивами в виртуальной сцепке мало. В то же время, потребление локомотивами жестко сцепленных поездов различается в два-три раза, основная нагрузка приходится на ведущий компонент. Это отражает наличие рассогласования кривых тяги при следовании поезда на сложном профиле пути.

Указанный эффект некоторые авторы считают причиной недопустимо большой нагрузки на контактную сеть, которую оказывает жестко сцепленный поезд. Это утверждение не обоснованно, так как расстояние между точками токосъема (около 1 км) значительно меньше длины межподстанционной зоны (для системы тяги переменного тока — 30–40 км). Соответственно, режим работы фидеров тяговых подстанций, питающих зону, в случае жесткой сцепки не имеет никаких особенностей. Кроме того, особенностью вождения жестко сцепленных поездов по сложному профилю является снижение нагрузки на ведущий локомотив после прохождения участка перелома профиля вследствие накопленной кинетической энергии.

Данные по суммарному энергопотреблению сдвоенными поездами представлены в табл. 2. Как видно, потребление парами ВСЦ поездов на 0,4% выше (в среднем), чем жестко сцепленных поездов. С целью повышения объективности приведенных расчетов следует отметить, что в пределах исследуемого участка движения ВСЦ поездов не все машинисты использовали рекуперативное торможение и предусмотренный режим автоведения, поэтому дополнительным способом повышения эффективности использования технологии виртуального сцепления является приведение локомотивного парка к номинальным значениям качественных характеристик.

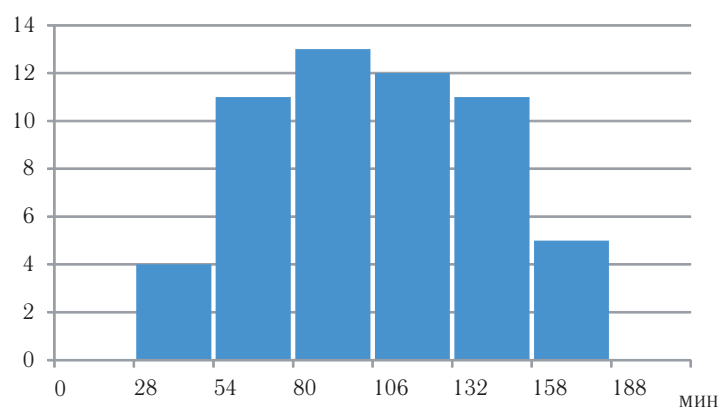


Рис. 3. Гистограмма отклонений от графикового времени прибытия для жестко сцепленных поездов

5. Базовые эксперименты по пропуску сдвоенных поездов

С целью определения опорных показателей, характеризующих движение виртуально и жестко сцепленных поездов, выполнена серия экспериментальных поездок на Дальневосточной железной дороге (март 2021 г.). В процессе натурных испытаний пропускались пакеты из двух однотипных тяжеловесных (норма — 6300 т) поездов по участку Хабаровск-Ружино. В первой серии движение осуществлялось в стандартном режиме одиночного пропуска (режим ОП), поезда отправлялись по ниткам нормативного графика. Вторая серия поездок реализовывалась с использованием жесткого сцепления (режим ЖСЦ), третья — с использованием ВСЦ. Отправление пакетов производилось по «зеленой улице» — с задержкой более 15 мин после предшествующих поездов.

Идентичные условия движения обеспечивались путем отправления пакетов в фиксированное время суток и использования одних и тех же локомотивных единиц. За экспериментальными поездами были закреплены локомотивы серии ЗЭС5К с номерами 197 и 268, которые в процессе выполнения поездок выполняли функции соответственно ведущего и ведомого тяговых средств. Машинистам предписывалось в процессе движения максимально использовать автоведение — режим УСАВП при стандартном следовании и режим ИСАВП — при движении в составе сцепки.

Данные об энергопотреблении при движении сдвоенных поездов приведены в табл. 3. В последнем столбце указан эквивалентный расход энергии — с учетом рекуперации. Возврат энергии в систему при пропуске жестко сцепленных поездов отсутствует, так

Таблица 1

Объем энергопотребления поездами в парах ВСЦ и жестко сцепленных поездов (кВт·ч)

Расход	ВСЦ		Жесткая сцепка	
	Ведущий	Ведомый	Ведущий	Ведомый
Минимальный	9095	8705	17065	3402
Максимальный	19856	21529	27158	14689
Средний	16284	16203	23193	9097

Таблица 2

Суммарное потребление электроэнергии пакетом ВСЦ и жестко сцепленных поездов (кВт·ч)

Расход	ВСЦ	Жесткая сцепка
Минимальный	22073	26055
Максимальный	39734	41008
Средний	32430	32304

Таблица 3

Данные по расходу электроэнергии на тягу поездов (кВт·ч)

Режим пропуска	Позиция локомотива	Расход	Возврат (рекуперация)	Эквивалентный расход
ОП	Ведущий	19079	2754	35555
	Ведомый	22523	3293	
ЖСЦ	Ведущий	26288	—	43560
	Ведомый	17272	—	
ВСЦ	Ведущий	19212	1850	35942
	Ведомый	20758	2178	

как при этом режиме не используют рекуперативное торможение.

Как видно из приведенных данных, в указанных поездках по технологии ВСЦ не получен выигрыш по сравнению с поездами, пропущенными в одиночном режиме. Однако наблюдается значительная экономия энергии по сравнению с жесткой сцепкой — порядка 17%. В базовых поездках выполнялось требование пропуска сдвоенных поездов «по зеленой улице». Соответственно, наблюдались улучшенные показатели участковой скорости. Для ВСЦ поездов эта величина составила 51,3 км/ч, для жестко сцепленных — 53,1 км/ч. Это подтверждает ранее высказанное предположение, что случайные флуктуации условий пропуска оказывают на жесткую сцепку более слабое влияние. Отметим, что показатель движения всех спаренных поездов все же ниже показателя участковой скорости, заложенной в нормативный график (61 км/ч).

6. Оценка эффективности объединения контейнерных поездов

Объединение двух контейнерных поездов в один длинносоставный поезд является еще одним эффективным способом повышения пропускной способности грузонапряженных участков. На текущий момент «узким местом» Дальневосточной железной дороги является железнодорожная станция Хабаровск-2. Проведенным анализом установлено, что за последние три года станция принимала не больше 69 четных и 65 нечетных поездов, отправляла не больше 69 четных и 65 нечетных поездов (табл. 4), при этом соединенный или объединенный контейнерный поезд считается за один.

Таким образом, при действующей технологии работы и имеющихся технических средствах решающей станции Хабаровск-2 объединение контейнерных поездов является значимым методом совершенствования полигонной технологии организации эксплуата-

ционной работы. Кроме того, интенсификация наполнения «ниток» графика движения минимизирует риск перенасыщения участков главного хода Восточного полигона сети дорог, обеспечивает устойчивость графика движения и сокращает период восстановления графика после транспортных инцидентов и технологических сбоев.

Экономическая эффективность объединения контейнерных поездов на Дальневосточной железной дороге в январе и феврале 2022 г. характеризуется следующими параметрами:

- сэкономлено 235 ниток графика, 487 рабочих смен локомотивных бригад по четырем депо дороги, 4,04 млн руб. за рабочее время локомотивных бригад, 1500,1 тыс. кВт·ч электроэнергии;
- увеличен показатель среднего веса поезда на 15,2 т среднесуточно;
- увеличена производительность локомотива на 5,5 тыс. т·км брутто среднесуточно.

С другой стороны, существенными недостатками применения данной технологии являются:

- ограниченная сфера применения — технология применима только для контейнерных поездов с условиями формирования по географическому принципу;
- значительно завышается маршрутная скорость контейнерных перевозок вследствие затрат времени на ожидание пары на объединение и непосредственное формирование;
- жесткий подбор поездов по весовой норме и остаточному времени до проведения цикла ТО-2 ведущего локомотива;
- нарушение точности выполнения расписания движения высокоскоростных грузовых отправок.

7. Анализ полученных результатов

Проведенные исследования показали, что использование технологии сдвигания грузовых поездов не позволяют преодолеть основной проблемы, возника-

Таблица 4

Анализ среднесуточного приема и отправления грузовых поездов станцией Хабаровск-2

Год	Принято		Отправлено	
	ср. сут. четных поездов	ср. сут. нечетных поездов	ср. сут. четных поездов	ср. сут. нечетных поездов
2019	69	62	68	64
2020	67	65	69	65
2021	64	63	65	65

ющей при пропуске интенсивного потока, — снижения скорости его продвижения. Это вызвано эффектом взаимовлияния поездов, который усиливается по мере сокращения межпоездного интервала. При существующей интенсивности грузового движения на магистральных двухпутных линиях, превышающей 60–70 пар поездов в сутки, снижение участковой скорости составляет 20% и более.

Вместе с тем, использование технологий сдвигания позволяет повысить число пропускаемых поездов в пиковые периоды, в частности, при реализации многочасовых «окон». При этом необходимо обосновывать использование технологии ВСЦ, жесткой сцепки и объединения контейнерных поездов с учетом конкретной ситуации, с оценкой технико-экономического эффекта.

Исследования показывают, что при существующем уровне организации движения и состояния инфраструктуры не следует ожидать роста степени использования пропускной способности, пропорционального повышению плотности потока поездов. Оценочный расчет, основанный на результатах настоящей работы, показывает, что при двукратном уменьшении межпоездного интервала в каждой паре ВСЦ (до 6 мин) использование пропускной способности увеличится, в лучшем случае, на 10%. Кроме того, обнаружено, что расходование энергии жестко соединенными поездами при свободном движении существенно выше аналогичного показателя для ВСЦ поездов. Это объясняется отсутствием рекуперативного возврата электроэнергии при пропуске поезда с физическим соединением. При движении в плотном потоке аналогичный параметр у жестко сцепленных поездов несколько ниже (в среднем), чем при организации пропуска ВСЦ поездов. Причиной этому являются техническое содержание локомотивного парка, а также потери скорости при следовании на желтый сигнал и, как следствие, кинетической энергии перед подъемами. Этот эффект наблюдается при движении ведомого ВСЦ поезда на горном участке. Указанные недостатки могут быть устранены путем совершенствования алгоритма регулирования, заложенного в систему автоведения ведомого поезда.

Для Дальневосточной железной дороги организация движения ВСЦ поездов показывает наибольшую эффективность в нечетном направлении от станции Хабаровск-2. Данное направление характеризуется форсированным пропуском поездов в направлении междорожного стыка Архара. Неоднократно показатели сдачи на данный стык составляли 90 поездов, в том числе посредством сокращения межпоездного интервала благодаря технологии ВСЦ поездов нечетного направления. Увеличение пропускной способно-

сти для данного направления дополняется значительной экономией энергетических ресурсов (по данным топливно-энергетического центра Дальневосточной железной дороги экономия удельного расхода электроэнергии в октябре 2021 г. составила более 10 кВтч/10 тыс. т·кмбр. при организации движения ВСЦ поездов). Использование технологии ВСЦ позволяет повысить степень использования автоведения и системы информирования машинистов, что является неоспоримым преимуществом в вопросах выполнения расписания следования и эксплуатационных показателей. Кроме того, организация движения ВСЦ поездов применима для ускоренного пропуска грузовых поездов перед плановым длительным закрытием одного из путей двухпутного перегона.

Организация соединения грузовых поездов в жесткую сцепку или объединение контейнерных поездов применимо для уплотнения потока при пропуске через «узкое место» дороги — станцию Хабаровск-2, а также при организации движения в периоды длительных закрытий одного из путей двухпутных перегонов. Кроме того, применение технологии объединения контейнерных поездов обосновано в условиях возникновения дефицита локомотивных бригад благодаря существенной экономии трудовых ресурсов. Следует отметить, что интенсивное применение технологии жесткого сцепления обосновано в условиях отставания по выполнению бюджетного показателя среднего веса грузового поезда.

Таким образом, проведенные исследования показывают, что технологии спаривания грузовых поездов имеют свои преимущества и недостатки. Диверсификация сфер применения методов сдвигания поездов в зависимости от эксплуатационной обстановки приведет к повышению пропускной способности, совершенствованию энергетической эффективности организации движения и, как результат, комплексному экономическому росту операционной деятельности компании ОАО «РЖД».

Заключение

1. Технологии двоянного пропуска поездов обладают большим эффектом в периоды, когда требуется повысить степень использования пропускной способности грузонапряженной железнодорожной линии.

2. В моделях повышения пропускной способности, в том числе посредством сокращения межпоездного интервала, необходимо учитывать стохастический характер движения поездов в потоке и наличие случайных факторов, влияющих на динамику изменений интервалов между поездами.

3. Явного преимущества одной из технологий двоянного пропуска — виртуального, жесткого соедине-

ния или объединения контейнерных поездов — в процессе исследований не обнаружено. На практике выбор технологии и интервала движения должен основываться на оперативных задачах, конкретных характеристиках потока поездов, состоянии инфраструктуры и тягового подвижного состава.

4. Синергетический экономический результат возможно получить в случае адаптивного применения технологий сдвигания грузовых поездов в зависимости от оперативной обстановки, условий формирования поездопотока и поставленных эксплуатационных задач.

5. Эффект от использования перспективной технологии организации движения ВСЦ поездов может быть увеличен путем реализации комплекса организационных и технических мероприятий, направленных на совершенствование имеющихся технических средств, инфраструктуры, технологических процессов по обработке поездов на станциях, исключение барьерных мест. В частности, организация движения ВСЦ поездов на удлиненных плечах обслуживания локомотивных бригад, синхронизация межпоездных интервалов между ВСЦ поездами на участках, имеющих ограничения скорости, обеспечение возможности приема ВСЦ поездов на один путь технической станции.

6. Значимым решением, позволяющим обеспечить регулярность и эффективность пропуска пакетов поездов по технологии ВСЦ, следует признать гибкую смену пар сцепленных поездов в пути следования. Это позволит компенсировать регулярно возникающие отклонения от графика движения.

7. В условиях пропуска интенсивного потока поездов существенной экономии топливно-энергетического ресурса можно добиться путем перехода на более высокий уровень надежности подвижного состава, инфраструктуры, а также использования гибких алгоритмов управления движением — с учетом специфики пропуска сдвоенных поездов.



Работа выполнена при частичной поддержке Министерства транспорта Российской Федерации согласно плану научных работ исследовательских и образовательных организаций 2020 года, проект «Совершенствование оперативного управления движением грузовых поездов».

Авторы выражают благодарность руководству Дальневосточной железной дороги и Дальневосточного государственного университета путей сообщения за предоставленные материалы, помощь в проведении экспериментов и заинтересованное обсуждение их результатов.

Литература

1. Левин, Д.Ю. Теория оперативного управления перевозочным процессом: монография / Д.Ю. Левин. — Москва: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2008. — 625 с. — Текст: непосредственный.
2. Бушуев, С.В. Повышение пропускной способности участка железной дороги с применением технологии виртуальной сцепки / С.В. Бушуев, К.В. Гундырев, Н.С. Голочалов. — Текст: непосредственный // Автоматика на транспорте. — 2021. — Т.7, №1. — С. 1–20.
3. Сотников, Е.А. Изменения пропускной и провозной способностей высокозагруженных направлений при организации движения соединенных поездов на постоянной основе / Е.А. Сотников, П.С. Холодняк. — Текст: непосредственный // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. — 2019. — Т.78, №5. — С. 259–265.
4. Сокращение срока доставки грузов за счет организации движения соединенных грузовых поездов в период предоставления «окон» / О.В. Москвичев, В.И. Александров, Е.В. Александров, Е.А. Мищенко. — Текст: непосредственный // Наука и образование транспорту. — 2018. — №1. — С. 95–97.
5. Климова, Е.В. Методика оценки эффективности формирования и пропуска соединенных грузовых поездов на участках и полигонах железных дорог / Е.В. Климова. — Текст: непосредственный // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. — 2015. — №4 (35). — С. 19–23.
6. Оленцевич, В.А. Эффективное внедрение интервального регулирования движения поездов по системе «виртуальная сцепка» на участке / В.А. Оленцевич, Р.Ю. Упырь, А.А. Антипина. — Текст: непосредственный // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. — 2020. — №2 (66). — С. 182–189.

7. Климова, Е.В. Пропускная и провозная способность перегонов при реализации технологии «виртуальная сцепка» грузовых поездов / Е.В. Климова. — Текст: непосредственный // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. — 2020. — №3(47). — С. 53–64.
8. Бушуев, С.В. Расстояние сближения поездов при организации движения по технологии виртуальной сцепки / С.В. Бушуев, А.Н. Попов. — Текст: электронный // Наука и образование транспорту. — 2020. — №1. — С. 273–275.
9. Davydov B. Online train traffic adjustments: Probabilistic modeling and estimating / B. Davydov, V. Chebotarev, V. Kablukova // *Advances in Intelligent System and Computing*. — 2018. — P. 50–60.
10. Huisman T. Running times on railway sections with heterogeneous traffic / T. Huisman, R.J. Boucherie // *Transportation Research Part B*. — 2001. — P. 271–292.
11. Давыдов, Б.И. Экономически эффективное управление движением поездов / Б.И. Давыдов. — Текст: непосредственный // Экономика железных дорог. — 2012. — №3. — С. 28–37.
12. Оценка совместимости системы тягового электроснабжения при внедрении интервального регулирования движения поездов по технологии «виртуальная сцепка» / Н.П. Асташков, В.А. Оленцевич, Ю.И. Белоголов, В.В. Кашковский. — Текст: непосредственный // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. — 2020. — №3 (67). — С. 173–180.
13. Оценка энергетической эффективности электровозов ЗЭС5К при использовании технологии интервального регулирования движения по типу «виртуальная сцепка» / С.В. Власьевский, О.А. Малышева, Н.Г. Шабалин, В.В. Семченко. — Текст: непосредственный. // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. — 2020. — Т.79, №1. — С. 17–25.
14. Давыдов, Б.И. Потери в тяговой сети переменного тока при пакетном пропуске поездов / Б.И. Давыдов, О.Г. Заволока. — Текст: непосредственный // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. — 2002. — №3. — С. 39–40.

ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА МАСШТАБИРОВАНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ: МЕТОДОЛОГИЯ И ПРОБЛЕМАТИКА

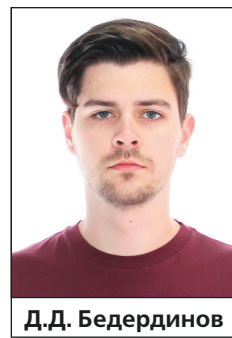
Использование современных технологий и интеллектуальных подходов в транспортной сфере позволяет развивать транспортную инфраструктуру, приводя ее в итоге к состоянию, получившее название интеллектуальной транспортной системы, где значительное преимущество достигается путем использования цифровых и компьютерных технологий. Но по мере масштабирования таких систем выявляются недостатки, например, недостаточная защита от внешних угроз.

Ключевые слова: интеллектуальные транспортные системы (ИТС), транспортная сеть, логистика, маршрутизация, дорожное движение

EDN: FKMIBA



И.А. Журавлев



Д.Д. Бедердинов

Ежегодно в стране с увеличением количества личных (3,76% в год) и коммерческих (2,1% в год) автомобилей особенно остро возникает потребность модернизации подходов и систем управления дорожного движения, а также логистикой. При этом не только на локальном и региональном уровне, но и гораздо дальше [5].

Современные технологии, к примеру, интеллектуальные транспортные системы (ИТС), позволяют улучшить процессы управления дорожной ситуацией. Однако при масштабировании подобных систем все же выявляются недостатки, и одним из таких недостатков стал низкий уровень защиты от внешних угроз.

Для научного сообщества одной из задач становится оценка текущих процессов внедрения ИТС в

теории и на практике. Также требуется поиск актуальных примеров модернизации транспортной системы, которая может применяться и масштабироваться на разных территориальных уровнях, требуется разработка алгоритмов, которые обеспечивают требуемый уровень безопасности на всех уровнях пользования ИТС.

Мировые и региональные страны-лидеры в развитии транспортной инфраструктуры демонстрируют разные подходы к внедрению ИТС. При этом государства, которые организуют так называемые «транспортные альянсы» выбирают для своих стратегий именно децентрализацию и планомерное масштабирование технологий. В это же время страны с менее развитым транспортным сектором, у которых централизованный подход, в перспективе могут столкнуться

Журавлев Илья Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Системы управления транспортной инфраструктурой» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: надежность и эффективность функционирования систем железнодорожной автоматики и телемеханики, моделирование систем и процессов, эволюционные вычисления, интеллектуальный анализ данных. Автор 62 научных работ, в том числе трех учебных пособий.

Бедердинов Даниил Дмитриевич, главный инженер программист ПАО «Сбербанк» России, бакалавр Института информационных технологий математики и механики Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского. Область научных интересов: автоматизация транспортной инфраструктуры.

с рисками. К примеру, это может быть неравномерное распределение ресурсов и меньшее проникновение технологий внутри своих территорий.

Еще один недостаток активного, но непланового внедрения ИТС — безопасность. Влияние внешних угроз на конечного потребителя должно стать одной из приоритетных трудностей, с которыми уже сталкиваются страны с внедряющимися ИТС. Потребитель же в такой ситуации может стать «входной точкой» внутри транспортной экосистемы, что и является угрозой для безопасности всей иерархии ИТС.

С ростом населения городов неизбежно увеличивается количество автотранспортных средств. Это требует активного развития дорожной инфраструктуры — увеличение протяженности, но что еще важнее — пропускной способности дорожной сети. При этом важно избегать ухудшения дорожно-транспортной ситуации, а именно повышения количества дорожно-транспортных происшествий (ДТП) на уже существующей дорожной сети и сохранить стабильной или даже улучшить экологическую обстановку.

Наглядную теоретическую базу предоставляет принятая 27 ноября 2021 года правительством РФ Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 с прогнозом на период до 2035 года. Ключевыми целями стратегии являются: повышение пространственной связанности и транспортной доступности территорий; увеличение объема и скорости транзита грузов и развитие мультимодальных логистических технологий; цифровая и низкоуглеродная трансформация отрасли и ускоренное внедрение новых технологий [2, с.4].

Также из текста документа Стратегии цифровой трансформации транспортной отрасли РФ следует, что намечена реализация таких программ как, например, «Зеленый цифровой коридор пассажира», (предусматривает создание сервиса построения оптимального маршрута поездки, технология MaaS) [1, с.3]. В рамках той же Стратегии по задаче «Цифровизация

для транспортной безопасности» планируется создать единое цифровое пространство безопасности на транспорте [1, с.5].

«Думай регионально — действуй локально», — с такой формулировкой обозначен один из методов реализации Транспортной стратегии ЦАРЭС (Центральноазиатское региональное экономическое сотрудничество) 2030 (CAREC Transport Strategy 2030). Документ был проанализирован, чтобы установить корреляции между целями, которые ставят перед собой государства Центрально-азиатского региона (в расширенном понятии). Стратегия обозначает, что РСЧ (развивающаяся страна-член) ЦАРЭС будут получать поддержку в последовательном включении приоритетных задач Транспортной стратегии ЦАРЭС 2030 в свои собственные национальные стратегии и планы действий в транспортном секторе» [4, с.28].

Анализ СУДА (система управления дорожными активами), описывающий ожидаемое с течением времени состояние автомагистрали применен в провинции Юньнань (Китай) с учетом различных уровней бюджета и стратегии распределения финансирования.

На рис. 1–3 применены следующие обозначения: T4, T3, T2, T1 — дороги с разной степенью интенсивности движения, от высокой степени интенсивности до низкой соответственно. ($T4 > 4000 \text{ ADT}$, $2000 \text{ ADT} < T3 \leq 4000 \text{ ADT}$, $1000 \text{ ADT} < T2 \leq 2000 \text{ ADT}$, $T1 \leq 1000 \text{ ADT}$, ADT = среднесуточное количество проходящих автомобилей, МИР = Международный индекс ровности).

На рис. 1 представлен текущий уровень бюджета, средства сосредоточены на капитальном ремонте околоаварийных участках дорог. Это приводит к постепенному ухудшению состояния части сети, которая недополучает финансирование.

На рис. 2 представлен текущий бюджет с приоритизацией распределения на профилактику поддержания дорог в хорошем или удовлетворительном состоянии.



Рис. 1. Анализ СУДА при текущем распределении – текущем бюджете

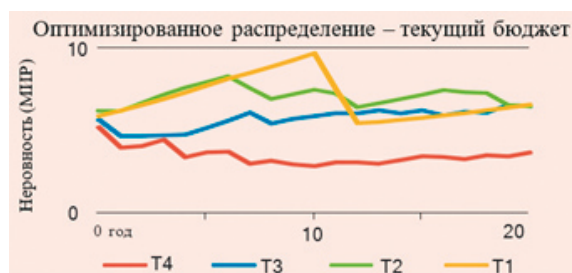


Рис. 2. Анализ СУДА при оптимизированном распределении – текущем бюджете

Удается обслуживать больше часть сети и поддерживать состояние дорог.

На рис. 3 представлено увеличение бюджета, которое позволяет поддерживать хорошее состояние большей части дорог с улучшением в перспективе.

Сравнивая подходы двух государств к СУДА, а в данном случае Китая, как технологического лидера ЦАРЭС и России, как крупнейшей по территории стране в регионе, заметна разница в подходе к развитию и внедрению ИТС в своих регионах. Если Китай определяет цели не только для внутренней территории, но и для всего региона, при этом полагаясь на принципы децентрализации, то Россия в своих методах отдает приоритет централизованным системам управления [4, с.13].

Специалисты ИЭТП НИУ ВШЭ сообщают в своей работе о прямом влиянии установки камер контроля средней скорости на дорогах общественного движения. «Камеры контроля средней скорости позволяют снизить количество ДТП на 15% зимой и 24% летом», — к такому выводу пришли эксперты института экономики транспорта и транспортной политики НИУ ВШЭ по результатам второй части исследования влияния камер фотовидеофиксации (ФВФ) на безопасность дорожного движения, посвященной методу контроля средней скорости [3, с.10]. Исследование проводилось по данным об аварийности на сети федеральных дорог в Московской области (рис. 4).

Исходя из проанализированных документов, можно сделать вывод о том, что страны (резиденты ЦАРЭС, РФ) заинтересованы в технологическом, а именно цифровом подходе к обновлению транспортной отрасли. Это подтверждает тезис о необходимости применения интеллектуальных систем и внедрения их на всей территории отдельно взятого региона (в данном случае Центральная Азия).

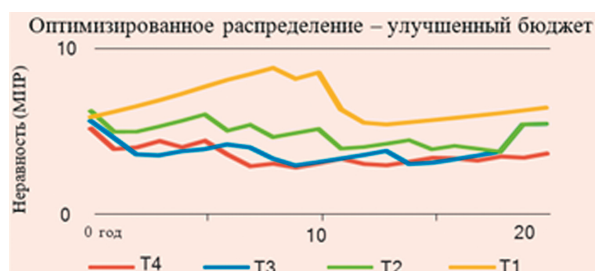


Рис. 3. Анализ СУДА при оптимизированном распределении – улучшенном бюджете

В работе исследовательской группы Consumer Watchdog приводятся факты, которые говорят о том, что централизация систем безопасности (при этом закрытых для конечного пользователя) создает угрозы для вмешательства злоумышленников. В качестве примера, исследование приводит заражение «спящими вирусами» через сети WI-FI, которые незаметно могут взаимодействовать с системами автомобиля, в том числе открывая доступ к нему [7, с. 46–47].

Но помимо теоретической угрозы, уже сейчас можно предположить масштаб опасности, которую несет за собой недостаточная защищенность информационных систем транспортной сферы.

Выводом заключается в том, что для быстрорастущего в плане технологий сектора ИТС становится принятие единых методов и стандартов защиты. В качестве необходимых методов, исследователи Trend Micro выделяют сетевую сегментацию, фаерволлы, антивирусы и антифишинги, а также технологии шифрования.

Распространение внедрения ИТС очень неравномерно в глобальных и региональных масштабах. Особенно остро это становится заметно на примере



Рис. 4. Влияние камер ФВФ на безопасность дорог в зимний и летний периоды

крупных стран с большой территорией и единым операционным центром. Агломерации же таких стран создают труднодоступный для имплементации регион, где отставание в развитии транспортных сфер будет контрастировать с регионами, где децентрализация и большая плотность информационных центров дает возможность к развитию, в том числе ИТС.

Также можно выделить особенности подобных регионов (сравнение РФ и ЦАРЭС). Обобщая стремление технологических государств к масштабному применению ИТС в целях улучшения той же логистики, демонстрирует интерес к инвестированию в транспортный сектор на среднесрочной перспективе. Не менее важным фактором для применения ИТС является безопасность. Разные исследователи выявляют недостатки, а также угрозы для транспортного сектора, где ИТС является «входной точкой» для злоумышленников. Именно поэтому требуется ускоренная разработка методов, которые будут файерволом между внешними сетями и пользователем и пользователем и иерархией ИТС. Особенно актуальным этот подход может быть для стран и регионов с сильной централизацией органов управления. 

Литература

1. Министерство транспорта Российской Федерации: официальный сайт. — Москва. — Обновляется в течение суток. Паспорт стратегии цифровой трансформации транспортной отрасли Российской Федерации. — URL: <https://mintrans.gov.ru/documents/8/11374> (дата обращения: 01.06.2022). — С. 3,5. — Текст: электронный.
2. Правительство Российской Федерации: официальный сайт. — Москва. — Обновляется в течение суток . Распоряжение от 27 ноября 2021 г. №3363-р. — URL: <http://static.government.ru/media/files/7enYF2uL5-kFZIOOpQhLlOnUT91RjCbeR.pdf>. (дата обращения: 01.06.2022). — С. 4. — Текст: электронный.
3. Исследование эффективности фотовидеофиксации в контексте системы безопасности дорожного движения и снижения числа дорожно-транспортных происшествий. 2 часть. Метод контроля средней скорости/ К. Трофименко, Н. Залесский, Т. Перевышина, М.Климанов, С. Пучкова. — Москва: ИЭТП НИУ ВШЭ, 2022. — URL: <https://itetps.hse.ru/mirror/pubs/share/554641766.pdf> (дата обращения: 01.06.2022). — С.10. — Текст: электронный.
4. Транспортная стратегия ЦАРЭС 2030 (CAREC Transport Strategy 2030). Азиатский банк развития: официальный сайт. — Обновляется в течение суток. — URL: <https://www.carecprogram.org/uploads/CAREC-Transport-Strategy-2030-NFP-ru.pdf> (дата обращения: 01.06.2022). — С. 13–28. — Текст: электронный.
5. Прогноз развития мирового автомобильного рынка. Газпромбанк. Инвестиции: официальный сайт. — Обновляется в течение суток. — URL: <https://gazprombank.investments/blog/market/auto/#forecast> (дата обращения: 01.06.2022). — Текст: электронный.
6. Cyberattacks Against Intelligent Transportation Systems (Numaan Huq, Rainer Vosseler, Morton Swimmer, Trend Micro Forward-Looking Threat Research Team, 2017, p.28, https://documents.trendmicro.com/assets/white_papers/wp-cyberattacks-against-intelligent-transportation-systems.pdf (дата обращения: 01.06.2022).
7. Kill Switch: Why Connected Cars Can Be Killing Machines And How To Turn Them Off (Consumer Watchdog, 2019, p. 46–47. — URL: <https://www.consumerwatchdog.org/sites/default/files/2019-07/KILL%20SWITCH%20%207-29-19.pdf> (дата обращения: 01.06.2022).

ПРОГНОЗ УРОВНЕЙ ВИБРАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ И СТРУКТУРНОГО ШУМА ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ СТАНЦИИ ЛОБНЯ МЦД-1

При проведении реконструкции железнодорожных станций с увеличением полезной длины главных и приемоотправочных станционных путей необходимо проводить оценку вибрационного воздействия от подвижного состава на всем участке производства работ. Целью данной работы является выявление превышений уровней вибрационного и шумового воздействия относительно норм СанПиН 1.2.3685-21 [1] на проектируемом объекте.

Ключевые слова: вибрация, шум, гигиенические нормы

EDN: QTEUAR



Д.А. Райлян



В.И. Апатцев

Прогноз уровней вибрации и структурного шума в зданиях и сооружениях от воздействия подвижных составов разработан для проекта «Организация пригородно-городского пассажирского железнодорожного движения на участке Одинцово-Лобня (МЦД-1 «Одинцово-Лобня») Этап 13 «Реконструкция станции Лобня. II этап организации движения». Железнодорожная станция Лобня по характеру работы является грузовой и отнесена к I классу. Проектом предусматривается удлинение приемоотправочных путей № 9, 11 и 13 и реконструкция обеих горловин станции Лобня. В ходе реконструкции железнодорожные пути приблизятся на расстояние от 25 до 59 м к 41 жилой постройке.

В результате обработки топографических карт плана местности совместно с планом путевого раз-

вития в соответствии с п. 5.1.4 СП 441.1325800.2019 [3] была выявлена группа зданий, попадающих в зону влияния. Данные по зданиям сведены в табл. 1.

В качестве исходных данных для расчета приняты результаты натурных измерений вибрации на поверхности грунта от движения поездов Савеловского направления Московской железной дороги (совмещено с линией МЦД-1), прилегающего к жилому дому по адресу: Московская область, г. Лобня, ул. Кольцевая, д.15.

Измерения выполнены в двух точках на различном расстоянии от действующих железнодорожных путей. Схема расположения точек измерения представлена на рис. 1. Результаты измерений максимальных уровней виброускорения (СКЗ 1 макс) в точках для каждого сечения приведены в табл. 2.

Райлян Дмитрий Анатольевич, аспирант кафедры «Техносферная безопасность» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: вибрация, вторичный шум, охрана труда.

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.

Климова Диана Викторовна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Техносферная безопасность» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: безопасность транспортных систем городских агломераций, системный анализ безопасности, охрана труда. Автор более 110 научных работ, в том числе 10 учебных пособий.

Таблица 1

Список и основные характеристики рассматриваемых зданий

Адрес здания	Тип здания	Количество этажей	Год постройки	Количество жилых помещений	Расстояние до ближайшего пути: 13-й (5А), м	Расстояние до 11-го пути, м	Расстояние до 9-го пути, м
улица Вокзальная, 42	Жилой многоквартирный дом	2	—	—	(33)	—	—
улица Кольцевая, 15	Жилой многоквартирный дом	14	1976	96	(46)	—	—
улица Кольцевая, 13	Жилой многоквартирный дом	14	1976	98	(69)	—	—
Первая улица, 7	Жилой многоквартирный дом	5	1970	66	(83)	—	—
улица 40 лет Октября, 16	Жилой многоквартирный дом	5	1967	78	(96)	—	—
Первая улица, 8	Жилой многоквартирный дом	2	1959	8	(112)	—	—
улица Ленина, 1	Жилой многоквартирный дом	5	1967	120	58	62,8	67,6
ул. Маяковского, 4	Жилой многоквартирный дом	5	1967	72	62	66,8	71,6
улица Ленина, 2/2	Жилой многоквартирный дом	5	1964	63	62	66,8	71,6
улица Ленина, 5	Жилой многоквартирный дом	5	1965	111	61	65,8	70,6
улица Ленина, 4	Жилой многоквартирный дом	5	1967	85	85	89,8	94,6
улица Ленина, 3	Жилой многоквартирный дом	5	1965	60	98	102,8	107,6

Примечание. В скобках указаны расстояния от рассматриваемого здания до пути 5А, который расположен в горловине станции Лобня.

Расширенная неопределенность измерений уровней виброускорения и скорректированного уровня ускорения вибрации при двустороннем коэффициенте охвата и уровне доверия 95% оценена согласно ГОСТ Р 53964-2010 [2] и не превышает 1,6 дБ (20%) для всех результатов измерений.

Рассмотрим модель прогноза вибрационного воздействия. В соответствии с п. 5.2.3.1 СП 441.1325800.2019 [3] допускается определять виброскорость колебаний грунта v , м/с, в точке на расстоянии r , м, от источника колебаний по известной виброскорости v_0 , м/с, колебаний грунта на расстоянии r_0 , м, от оси ближнего железнодорожного пути произведением ее на коэффициент геометрического ослабления C и коэффициент демпфирования материала D по формуле

$$v(r) = v(r_0)CD. \quad (1)$$

Параметры C и D , входящие в формулу (1), оценивают по следующим зависимостям по ГОСТ Р ИСО 10137-2016

$$C = \left(\frac{r_0}{r} \right)^n, \quad (2)$$

$$D = e^{-\rho f_{cr} (r - r_0)}, \quad (3)$$

где n — показатель степени, выбираемый в зависимости от типа механизма распространения волн по таблице 5.3 СП 441.1325800.2019 [3]. При положении источника и точки наблюдения на поверхности $n=0,25$;

f_{cr} — среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц;

$\rho = \frac{\eta}{c}$ — параметр, определяемый по таблице 5.4

СП 441.1325800.2019 [3]. Для дисперсных связных и несвязных грунтов, в том числе песков, супесей, суглинков, щебня, гравия:

$$\rho = 6 \cdot 10^{-5} \div 2 \cdot 10^{-4} \text{ с/м.}$$

Для расчета принимается среднее значение:

$$\rho = 1,3 \cdot 10^{-4} \text{ с/м.}$$

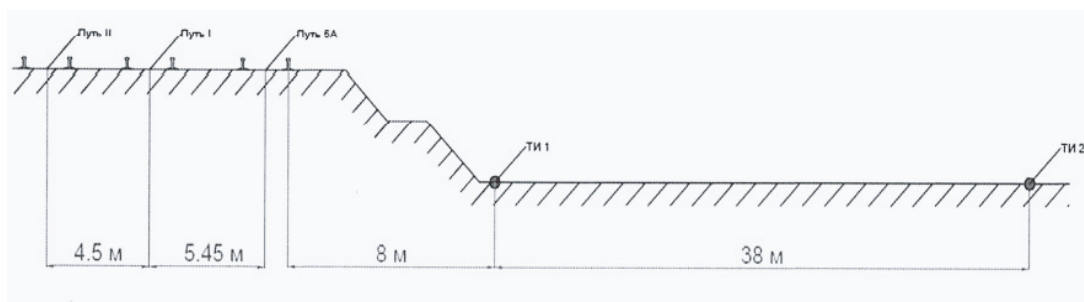


Рис. 1. Схема расположения контрольных точек измерения вблизи здания по адресу: Московская область, г. Лобня, ул. Кольцевая, д. 15

Таблица 2

**Результаты измерений максимальных уровней виброускорения (СКЗ 1 макс)
в точках ТИ1, ТИ2 (г. Лобня, ул. Кольцевая, д. 15)**

Описание	Расстояние до ближнего рельса, м	Направление измерительной оси	Уровень виброускорения, дБ в октавных полосах частот со среднегеометрической частотой, Гц					
			2	4	8	16	31,5	63
ТИ1, Проезд ЭП2Д, на Москву, одновременно с проездом грузового состава (8 вагонов) от Москвы 13:14	8	X	63,4	69,2	79,6	87,6	113,1	123,8
		Y	64,2	62,1	75,9	90,2	112,9	119,8
		Z	70,5	70,9	79,1	90,5	112,6	114,2
ТИ2, Проезд ЭП2Д, на Москву, одновременно с проездом грузового состава (8 вагонов) от Москвы 13:14	46	X	59,5	61,5	69,7	70,1	76,8	82,8
		Y	58,4	60,0	65,7	69,5	76,5	81,9
		Z	54,0	59,1	63,6	67,0	74,0	78,0

При относительной оценке изменения уровней вибраций в расчетной точке относительно исходной точки формула (1) приобретает вид:

$$\frac{v(r)}{v(r_0)} = CD, \quad (4)$$

где r_0 и r соответственно расстояния от оси пути до исходной и расчетной точек.

На основании протоколов измерений вибрационного воздействия выполняется расчет изменения уровней вибраций для прогнозных точек на грунте, расположенных в зоне фундаментов существующих зданий. Расчет производится для всех исходных точек измерения с выбором худшего варианта в запас. В каждой точке измерения выбирается наибольшее значение уровней вибраций по трем направлениям. В качестве расстояний до исходной точки r_0 примем расстояния до существующих путей. В качестве расстояний до расчетной точки r примем минимальные расстояния от существующих путей до зданий. Для перевода формулы (4) в логарифмическую шкалу

пользуемся соотношением $20 \cdot \lg \left(\frac{v(r)}{v(r_0)} \right)$.

Проведены расчеты для 13-го пути. Наибольшие расчетные максимальные уровни вибраций на грунте в зоне фундаментов зданий по всем точкам с учетом

постановки существующего пути на новую ось представлены в табл. 3 (худший случай).

Проведен анализ максимальных уровней виброускорений для 11-го пути. Наибольшие расчетные максимальные уровни вибраций на грунте в зоне фундаментов зданий по всем точкам с учетом постановки существующего пути на новую ось представлены в табл. 4 (худший случай).

Выполнен расчет для 9-го пути. Наибольшие расчетные максимальные уровни вибраций на грунте в зоне фундаментов зданий по всем точкам с учетом постановки существующего пути на новую ось представлены в табл. 5 (худший случай).

В целях анализа превышения норм вибрационных воздействий от движения поездов на станции Лобня проведен прогноз структурного шума в помещениях зданий.

Плоскости ограждающих конструкций (стен, перегородок, перекрытий), совершая колебательные движения, излучают часть механической энергии в воздушную среду, тем самым создавая в помещении дополнительный фон.

Колебания полов и стен могут вызвать ощутимую вибрацию, дребезжание окон или посуды, а также гул (шум, излучаемый от движения поверхностей помещения). В сущности, поверхности помещения начинают действовать как гигантский громкоговоритель.

Таблица 3

**Наибольшие расчетные уровни вибраций на грунте для зданий
с учетом постановки существующего пути на новую ось (худший случай) для 13-го пути**

Адрес здания	Минимальное расстояние до новых путей r , м	Наибольшие максимальные уровни виброускорений по трем точкам пересчета, дБ			
		8 Гц	16 Гц	31,5 Гц	63 Гц
ул. Ленина, д. 1	58	68,9	68,9	75,0	79,6
ул. Вокзальная, д. 42	33	70,8	71,6	79,0	86,4
ул. Кольцевая, д. 15	46	69,7	70,1	76,8	82,8
ул. Маяковского, д. 4	62	68,6	68,5	74,4	78,6
ул. Ленина, д. 2/2	62	68,6	68,5	74,4	78,6
ул. Ленина, д. 5	61	68,7	68,6	74,5	78,8
ул. Кольцевая, д. 13	69	68,2	67,9	73,3	76,8
ул. Первая, д. 7	83	67,4	66,7	71,4	73,2
ул. 40 лет Октября, д. 16	96	66,7	65,7	69,6	70,0
ул. Ленина, д. 3	98	66,6	65,5	69,3	69,5
ул. Ленина, д. 4	85	67,3	66,6	71,1	72,8
ул. Первая, д. 8	112	65,9	64,4	67,5	66,1

Таблица 4

**Наибольшие расчетные уровни вибраций на грунте для зданий
с учетом постановки существующего пути на новую ось (худший случай) для 11-го пути**

Адрес здания	Минимальное расстояние до новых путей r , м	Наибольшие максимальные уровни виброускорений по трем точкам пересчета, дБ			
		8 Гц	16 Гц	31,5 Гц	63 Гц
ул. Ленина, д. 1	62,8	68,5	68,5	74,2	78,4
ул. Маяковского, д. 4	66,8	68,3	68,1	73,7	77,3
ул. Ленина, д. 2/2	66,8	68,3	68,1	73,7	77,3
ул. Ленина, д. 5	65,8	68,4	68,2	73,8	77,6
ул. Ленина, д. 4	89,8	67,0	66,2	70,5	71,6
ул. Ленина, д. 3	102,8	66,3	65,1	68,7	68,4

Таблица 5

**Наибольшие расчетные уровни вибраций на грунте для зданий
с учетом постановки существующего пути на новую ось (худший случай) для 9-го пути**

Адрес здания	Минимальное расстояние до новых путей r , м	Наибольшие максимальные уровни виброускорений по трем точкам пересчета, дБ			
		8 Гц	16 Гц	31,5 Гц	63 Гц
ул. Ленина, д. 1	67,6	68,3	68,0	73,6	77,1
ул. Маяковского, д. 4	71,6	68,0	67,7	73,0	76,1
ул. Ленина, д. 2/2	71,6	68,0	67,7	73,0	76,1
ул. Ленина, д. 5	70,6	68,1	67,8	73,1	76,4
ул. Ленина, д. 4	94,6	66,8	65,8	69,8	70,4
ул. Ленина, д. 3	107,6	66,1	64,8	68,1	67,2

Данное явление называется вторичным, или структурным шумом, создаваемым вибрациями.

Для оценки уровней структурного шума в конкретном помещении жилого или общественного здания, необходимо определить параметры непостоянного шума, которыми являются эквивалентные по энергии уровни $L_{\text{Аэкв}}$ (дБА) и максимальные уровни звука $L_{\text{А макс}}$ (дБА).

Для оценки уровней структурного шума рабочего места в конкретном помещении здания, необходимо определить параметры шума, которыми являются эквивалентные уровни звука (L_{pAeqT} , дБА) и максимальные уровни звука, измеренные с временными коррекциями S и I ($L_{\text{pA макс}}$, дБА). Параметры пикового уровня звука не рассматриваются ввиду отсутствия такого типа воздействия от железнодорожных поездов.

Поскольку уровень структурного шума в помещении зависит от площади окон, дверных проемов, вида внутренней чистовой отделки, наличия мебели и различных предметов, расчет шума в зданиях целесообразно производить не для конкретных оформленных помещений, а для некоторых характерных условий.

Для оценки уровня шума в зданиях различной конфигурации воспользуемся общепринятой практикой пересчета ожидаемых уровней вибраций в уровни звукового давления.

Эмпирическая формула, основанная на фактических измерениях, выглядит следующим образом:

$$L_p = L_a - 20 \log_{10} f + 37, \quad (5)$$

где L_p — уровень звукового давления типового помещения в октавной полосе частот, дБ;

L_a — уровень виброускорения по полу типового помещения в октавной полосе частот с опорным значением $1 \cdot 10^{-6} g$, дБ;

f — среднегеометрическая частота октавной полосы частот.

Эта формула рекомендована к применению в соответствии с [8].

Впоследствии, эта зависимость была подтверждена Лабораторией исследования транспорта [9] для зданий, расположенных над тоннелями метрополитена Лондона и была рекомендована к использованию Министерством транспорта США и Федеральным транспортным управлением США [10].

В 2012 г. предложенная зависимость была скорректирована в менее консервативную сторону путем добавления «–5 дБ» к полученным уровням звукового давления [11]. Однако в данной работе добавка учитываться не будет, что даст запас на большую вариативность габаритов и отделки помещений.

Уровни звукового давления с коррекцией A вычисляются с применением корректирующих коэффициентов, которые убывают при низких частотах, что отражает относительную нечувствительность человеческого слуха к низким частотам. В октавных полосах

частот 8 Гц и ниже шум переходит в вибрацию и далее рассматриваться не будет.

В качестве исходных уровней вибраций примем максимальные и эквивалентные прогнозируемые уровни виброускорений в помещениях зданий, расположенных вблизи 13, 11 и 9-го путей. В табл. 6 приведены результаты превышений для 13-го пути.

В табл. 7 приведены результаты превышений для 11-го пути.

В табл. 8 приведены результаты превышений для 9-го пути.

По результатам произведенных расчетов, были выявлены превышения норм вибрационных воздействий от движения поездов на станции Лобня.

При движении подвижных составов с установленной скоростью по 13-му пути, будут наблюдаться превышения норм эквивалентных скорректированных уровней вибраций в жилом доме по адресу ул. Вокзальная, 42, а также в многоквартирных жилых домах по адресам: ул. Кольцевая, д.15; ул. Кольцевая, д.13; ул. Первая, д.7; ул. Ленина, д.1; ул. Маяковского, д.4; ул. Ленина, д.2/2; ул. Ленина, д.5; ул. Ленина, д.4.

При движении подвижных составов с установленной скоростью по 11-му пути, будут наблюдаться

Таблица 6

Сводные результаты расчета превышения вибраций и структурного шума в помещениях зданий с учетом постановки существующего пути на новую ось для 13-го пути

Адрес здания	Макс. уровней вибраций, дБ, на октавных частотах, Гц				Экв. корр. уровней вибраций, дБ		Макс. уровней звука, дБА	Экв. уровней звука, дБА	
	16	31,5	63	Корр.	День	Ночь		День	Ночь
ул. Ленина, д. 1	77,1	79,7	83,9	75,1	68,2	65,3	39,1	32,2	29,3
ул. Вокзальная, д. 42	79,8	83,7	90,7	78,1	71,2	68,3	45,7	38,8	35,9
ул. Кольцевая, д. 15	78,3	81,5	87,1	76,4	69,5	66,6	42,2	35,3	32,4
ул. Маяковского, д. 4	76,7	79,1	82,9	74,7	67,8	64,9	38,1	31,2	28,3
ул. Ленина, д. 2/2	76,7	79,1	82,9	74,7	67,8	64,9	38,1	31,2	28,3
ул. Ленина, д. 5	76,8	79,2	83,1	74,8	67,9	65,0	38,3	31,4	28,5
ул. Кольцевая, д. 13	76,1	78,0	81,1	74,0	67,1	64,2	36,3	29,4	26,5
ул. Первая, д.7	74,9	76,1	77,5	72,8	65,9	63,0	33,0	26,1	23,2
ул. 40 лет Октября, д.16	73,9	74,3	74,3	71,8	64,9	62,0	30,1	23,2	20,3
ул. Ленина, д. 3	73,7	74,0	73,8	71,6	64,7	61,8	29,6	22,7	19,8
ул. Ленина, д. 4	74,8	75,8	77,1	73,2	66,3	63,4	32,5	25,6	22,7
ул. Первая, д.8	72,6	72,2	70,4	71,0	64,1	61,2	26,6	19,7	16,8

Таблица 7

**Сводные результаты расчета превышения вибраций и структурного шума
в помещениях зданий с учетом постановки существующего пути
на новую ось для 11-го пути**

Адрес здания	Макс. уровней вибраций, дБ, на октавных частотах, Гц				Экв. корр. уровней вибраций, дБ		Макс. уровней звука, дБА	Экв. уровней звука, дБА	
	16	31,5	63	Корр.	День	Ночь		День	Ночь
ул. Ленина, д. 1	79,8	78,9	82,7	75,3	68,4	65,5	37,9	31,0	28,1
ул. Маяковского, д. 4	79,4	78,4	81,6	74,9	68,0	65,1	36,9	30,0	27,1
ул. Ленина, д. 2/2	79,4	78,4	81,6	74,9	68,0	65,1	36,9	30,0	27,1
ул. Ленина, д. 5	79,5	78,5	81,9	75,0	68,1	65,2	37,1	30,2	27,3
ул. Ленина, д. 4	77,5	75,2	75,9	73,0	66,1	63,2	31,5	24,5	21,6
ул. Ленина, д. 3	76,4	73,4	72,7	72,0	65,1	62,2	28,6	21,7	18,8

Таблица 8

**Сводные результаты расчета превышения вибраций и структурного шума
в помещениях зданий с учетом постановки существующего пути
на новую ось для 9-го пути**

Адрес здания	Макс. уровней вибраций, дБ, на октавных частотах, Гц				Экв. корр. уровней вибраций, дБ		Макс. уровней звука, дБА	Экв. уровней звука, дБА	
	16	31,5	63	Корр.	День	Ночь		День	Ночь
ул. Ленина, д. 1	79,7	78,3	81,4	74,6	67,7	64,8	36,68	29,78	26,88
ул. Маяковского, д. 4	79,4	77,7	80,4	74,3	67,4	64,5	35,71	28,81	25,91
ул. Ленина, д. 2/2	79,4	77,7	80,4	74,3	67,4	64,5	35,71	28,81	25,91
ул. Ленина, д. 5	79,5	77,8	80,7	74,3	67,4	64,5	35,95	29,05	26,15
ул. Ленина, д. 4	77,5	74,5	74,7	72,4	65,5	62,6	30,36	23,46	20,56
ул. Ленина, д. 3	76,5	72,8	71,5	71,5	64,6	61,7	27,52	20,62	17,72

превышения норм эквивалентных скорректированных уровней вибраций в жилых домах по адресам: ул. Ленина, д.1; ул. Маяковского, д.4; ул. Ленина, д.2/2; ул. Ленина, д.5; ул. Ленина, д.4.

При движении подвижных составов с установленной скоростью по 9-му пути, будут наблюдаться превышения норм эквивалентных скорректированных уровней вибраций в жилых домах по адресам: ул. Ленина, д.1; ул. Маяковского, д.4; ул. Ленина, д.2/2; ул. Ленина, д.5; ул. Ленина, д.4.

В результате проведенного анализа выявлены превышения норм вибрационных воздействий в 9 жилых домах по адресам: ул. Вокзальная, д.42, ул. Кольцевая, д.15, ул. Кольцевая, д.13, ул. Первая, д.7, ул. Ленина, д.1, ул. Маяковского, д.4, ул. Ленина, д.2/2, ул. Ленина, д.5, ул. Ленина, д.4.

Исходя из условия обеспечения заданных требований по уровню вибрации в защищаемом здании, определены длины участков вибрационного воздействия.

Достаточным расстоянием принято считать до 200 м до пути при обращении грузовых поездов по аналогии с требованием п. 5.1.4 СП 441.1325800.2019 [3], но ввиду установленных скоростей движения на приемо-отправочных путях не более 40 км/ч достаточным расстоянием принято считать 100 м. Тогда от проекции углов ближайшего к пути фасада здания откладываются расстояния, равные 200 м и получают зону укладки упругих матов. В случае, если расстояние между соседними участками менее 200 м или менее длины подвижного состава, такие участки объединяют в один.

На основании протокола испытаний ООО «ИВАС» № 21241 проведены прогнозные расчеты в соответ-

ствии с СП 441.1325800.2019 [3] уровней вибрационного воздействия и структурного шума в рассматриваемых зданиях и определены участки железнодорожного пути с превышением вибрационного воздействия на людей в окружающей застройке:

- 9 путь от ПК253 до ПК263+47,42 (1047 м);
- 11 путь от ПК253 до ПК262+72 (972 м);
- 13 путь от ПК253 до ПК262+72 (972 м);
- стрелочный перевод №66 марки 1/11;
- стрелочный перевод №68 марки 1/11;
- стрелочный перевод №70 марки 1/11;
- стрелочный перевод №74 марки 1/9.

В результате проведенного исследования определены участки с превышением вибрационного воздействия на людей, проживающих в окружающей застройке. Общая длина защищаемых путей составляет 2991 м и четыре стрелочных перевода. 

Литература

1. СанПиН 1.2.3685 – 21. Санитарные правила и нормы. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания: издание официальное: утвержден Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации: введен 01.03.2021. – Текст: непосредственный.
2. ГОСТ Р 53964-2010. Вибрация. Измерения вибрации сооружений. Руководство по проведению измерений = Vibration. Measurement of vibration in buildings. Guidance on measurement methods: национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 25 ноября 2010 г. №531-ст: введен впервые: дата введения 2011-12-01 / разработан Автономной некоммерческой организацией «Научно-исследовательский центр контроля и диагностики технических систем». – Москва: Стандартинформ, 2019. – 13 с. – Текст: непосредственный.
3. СП 441.1325800.2019. Свод правил. Защита зданий от вибрации, создаваемой железнодорожным транспортом. Правила проектирования = Building protection against vibration caused by rail transport. Design rules :утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 22 января 2019 г. №23/пр. и введен в действие с 23 июля 2019 г: введен впервые. – Москва, 2019.
4. ГОСТ Р ИСО 2017-1-2011. Вибрация и удар. Упругие системы крепления. Часть 1. Технические данные для применения систем виброизоляции = Vibration and shock. Resilient mounting systems. Part 1. Technical information for the application of isolation systems: национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 16 ноября 2011 г. №549-ст: введен впервые: дата введения 2012-12-01 / подготовлен Автономной некоммерческой организацией «Научно-исследовательский центр контроля и диагностики технических систем» (АНО «НИЦ КД») на основе собственного перевода на русский язык англоязычной версии международного стандарта ИСО 2017-1:2005* «Вибрация и удар механические. Упругие системы крепления. Часть 1. Технические данные, предоставляемые для применения систем виброизоляции» (ISO 2017-1:2005 «Mechanical vibration and shock — Resilient mounting systems — Part 1 Technical information to be exchanged for the application of isolation systems», IDT). – Москва: Стандартинформ, 2019. – 16с. – Текст: непосредственный.
5. ГОСТ Р ИСО 2017-2-2011 Вибрация и удар. Упругие системы крепления. Часть 2. Технические данные для применения систем виброизоляции для железнодорожного транспорта = Vibration and shock. Resilient mounting systems. Part 2. Technical information for the application of vibration isolation associated with railway systems: национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 16 ноября 2011 г. №549-ст: введен впервые: дата введения 2012-12-01 / подготовлен Автономной некоммерческой организацией «Научно-исследовательский центр контроля и диагностики технических систем» (АНО «НИЦ КД») на

основе собственного перевода на русский язык англоязычной версии стандарта международного стандарта ИСО 2017-2:2007* «Механическая вибрация и удар. Упругие системы крепления. Часть 2. Технические данные, предоставляемые для применения систем виброизоляции от железнодорожного транспорта» (ISO 2017-2:2007 «Mechanical vibration and shock — Resilient mounting systems — Part 2: Technical information to be exchanged for the application of vibration isolation associated with railway systems», IDT). — Москва: Стандартинформ, 2012. — 12 с. — Текст: непосредственный.

6. ГОСТ Р 53188.1-2019. Государственная система обеспечения единства измерений. Шумомеры. Часть 1. Технические требования = State system for ensuring the uniformity of measurements. Sound level meters. Part 1. Specifications: национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 23 апреля 2019 г. № 162-ст: введен впервые: дата введения 2019-12-01 / разработан Обществом с ограниченной ответственностью «Производственно-коммерческая фирма Цифровые приборы» (ООО «ПКФ Цифровые приборы»). — Москва: Стандартинформ, 2019. — 41 с. — Текст: непосредственный.

7. ГОСТ Р 53188.2-2019. Государственная система обеспечения единства измерений. Шумомеры. Часть 2. Методы испытаний = State system for ensuring the uniformity of measurements. Sound level meters. Part 2. Test methods: национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 23 апреля 2019 г. № 163-ст: взамен ГОСТ Р 53188.2-2010 (МЭК 61672-2:2003): дата введения 2019-12-01 / разработан Обществом с ограниченной ответственностью «Производственно-коммерческая фирма Цифровые приборы» (ООО «ПКФ Цифровые приборы»). — Москва: Стандартинформ, 2019. — 30 с. — Текст: непосредственный.

8. Иванов, Н.И. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом: учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению «Безопасность жизнедеятельности», специальности «Безопасность технологических процессов и производств» / Н.И. Иванов. — Москва: Логос, 2008. — 422 с. — Текст: непосредственный.

9. Transport Research Laboratory, TRL/ Greer, 1993.

10. High-Speed Ground Transportation. Noise and Vibration Impact Assessment, 2012.

11. Robert D. Blevins PhD. Formulas For Natural Frequency And Mode Shape. — New York: Von Nostrand Reinhold Company — 1979, 492 с.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И ОХРАНЫ ТРУДА ПРОВОДНИКОВ ЗА СЧЕТ ВНЕДРЕНИЯ АНТИМИКРОБНОЙ ПЛЕНКИ В ПОМЕЩЕНИЯХ ВАГОНА



И.А. Коновал



П.Ф. Бестемьянов

В настоящее время не стоит забывать об обеспечении эпидемиологической безопасности и охраны труда проводников пассажирских вагонов железнодорожного транспорта, постоянно контактирующих с повышенным количеством банальной бактериальной микрофлоры, что может вызвать заражение и последующее заболевание. Одним из способов снижения передачи патогенных бактерий может служить антимикробная пленка с ионами серебра PURZON060B (PURE ZONE).

Ключевые слова: эпидемиологическая безопасность, проводники пассажирских вагонов, антимикробная пленка, PURZON060B

EDN: PHGZPA

В XXI веке интенсивно развивается железнодорожный транспорт, что обусловлено высоким спросом на пассажирские перевозки. С увеличением спроса увеличивается и риск возникновения эпидемиологической неблагоприятной обстановки на объектах железнодорожного транспорта. Таким образом, комфортное и безопасное пребывание пассажиров и проводников поезда в длительных поездках является важной задачей на железнодорожном транспорте.

Особенностями труда работы проводников пассажирских вагонов являются разъездной характер и ненормированный режим труда, а также специфика условий работы на подвижном составе в условиях ограниченных и замкнутых помещений (вагона и служебного купе). В период поездки на проводника воздействует ряд неблагоприятных факторов: микроклимат, шум, вибрация, ультразвук, запыленность, загазованность, температурные перепады и др., уровни которых зависят от типа вагона, его технического состояния и места расположения в составе, скорости

движения поезда, населенности вагона, состояния пути, погодных и климатических условий, исправности систем отопления и вентиляции и многих других причин [1]. Работа проводников связана с постоянным контактом с поверхностями пассажирского вагона, с пассажирами, с постельными принадлежностями, в связи с чем болезни кожных покровов и инфекционные заболевания у проводников встречаются чаще других.

Кроме того, современная эпидемиологическая обстановка характеризуется распространением новой коронавирусной инфекции COVID-19, передающейся преимущественно воздушно-капельным и контактным путями. Также данная инфекция может передаваться через пассажирские объекты [2].

Одной из важных обязанностей проводников является внутренняя уборка вагона, которая сопровождается повышенной запыленностью воздуха. Уровень запыленности зависит от типа вагона и времени года. Так, при уборке купейного вагона концентрация пыли

Коновал Инна Алексеевна, аспирант, ассистент кафедры «Химия и инженерная экология» Института управления и цифровых технологий Российского университета транспорта (ИУЦТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: гигиена и эпидемиология, обеззараживание поверхностей железнодорожного транспорта, безопасность жизнедеятельности, экология транспорта. Автор 11 научных работ.

Бестемьянов Петр Филимонович, доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте», директор Института транспортной техники и систем управления Российского университета транспорта (ИТТСУ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: обеспечение безопасности движения поездов, автоматизированное и автоматическое управление поездами. Автор более 120 научных работ. Имеет 38 патентов на изобретения.

колеблется в среднем от 13 до 33 мг/м³. Летом в вагонах этих типов концентрация пыли составляет 36–54 мг/м³ и 49–66 мг/м³ соответственно. Зимой запыляемость воздуха существенно меньше: 16,3 мг/м³ в купейных вагонах; 17,7 мг/м³ в общих и плацкартных вагонах. Бактериологические исследования показали, что в запыленном воздухе содержится большое количество микробов, преимущественно стрепто- и стафилококков. Бактериальная загрязненность в общих и плацкартных вагонах выше, чем в вагонах купейного типа. Особенно высока запыленность и бактериальное загрязнение при уборке без применения технических средств (пылесосов). При этом влажная уборка в ряде случаев недостаточно эффективна. Специалистами ФГУП ВНИИЖГ Роспотребнадзора был проведен анализ смывов с разных поверхностей вагона после влажной уборки. Кишечная палочка обнаруживалась в 38,0–83,3% случаев [3;4].

Таким образом, проводники постоянно контактируют с повышенным количеством банальной бактериальной микрофлоры, что следует рассматривать как потенциально неблагоприятный фактор труда.

Одним из способов снижения передачи патогенных бактерий может служить антимикробная пленка с ионами серебра PURZON060B (PURE ZONE).

Пленка состоит из прозрачного литого ПВХ толщиной 2,4 мил (0,06 мм), содержащего противомикробные вещества и покрытого акриловым клеем, чувствительным к давлению. Пленка представляет собой матовую поверхность, предназначенную для антимикробной защиты поверхностей в зонах, требующих высокого уровня гигиены (больницы, сельскохозяйственные предприятия и пищевая промышленность, влажные помещения, общественные места и т.д.) [5].

PURE ZONE протестирован третьей стороной в соответствии со стандартами тестирования ISO против наиболее распространенных болезнетворных бактерий и коронавируса. В продукте применена антимикробная технология; он не защищает напрямую пользователя от воздействия бактерий или вирусов и не обеспечивает дополнительных преимуществ для здоровья [7].

Однако он уменьшает более чем 99,99% бактерий, таких как:

- кишечная палочка;
- сальмонелла (*Salmonelle enterica*);
- листерии (*Listeria monocytogenes*);
- золотой стафилококк (золотистый стафилококк);
- метициллин-устойчивый золотистый стафилококк (MRSA);

Таблица 1

Особенности антимикробной пленки с ионами серебра

Параметр	Средние значения	Стандарт
Толщина	0.06 mm	
	Average values Standard	Average values Standard
Предел прочности	min. 3.3 lb./in. min. 15 N/25 mm	HEXNFX41021
Относительное удлинение при разрыве	min. 100%	HEXNFX41021
Усадка после 160 часов при 158 °F (70 °C)	< 0.031 inch < 0.6 mm	HEXRET001

Таблица 2

Клеящие свойства. Испытание на сопротивление отслаиванию при 180 ° стекла

Параметр	Средние значения	Стандарт
После 20 мин После нанесения	3.32 lb./in. 15 N/25mm	HEXFTM001
После 24 часов После нанесения	3.76 lb./in. 17 N/25mm	
Начальная цепкость	4.42 lb./in. 20 N/25mm	HEXFTM009
Итог	0.11 lb./in. 0.5 N/25mm	HEXFTM003

- синегнойная палочка.

Противовирусная активность в отношении штамма человеческого коронавируса HCoV-229E (согласно стандарту ISO 21702):

- 94,99% после времени контакта 15 мин;
- 99,87% после времени контакта 60 мин.

Антимикробная пленка PURE ZONE содержит активный ингредиент (ионы серебра, одобренные ЕРА под номером файла 73148-1-91742).

В табл. 1 представлены особенности антимикробной пленки с ионами серебра. В табл. 2 даны клеящие свойства антимикробной пленки и результаты испытания на сопротивление.

Подложка — полиэтиленовая бумага с силиконовым покрытием и печатью HEXIS. Стабильна при изменении влажности.

Благодаря своим свойствам клей устойчив к большинству растворителей, таких как масла, разбавленные кислоты, спиртосодержащие соединения.

Акриловый клей, основой которого являются растворители, обеспечивает мгновенное и постоянное прилипание к поверхностям. При проведении исследований совместимости с кожей человека (под дерматологическим контролем) было выявлено, что клей безвреден — аллергическая реакция отсутствует, раздражения не вызывает. Ионы серебра являются основными активными компонентами пленки, что составляет <0,3% от общей массы продукта. Кроме того, определено, что можно проводить очистку, в том числе и дезинфекцию антимикробной пленки с использованием обычных, неабразивных средств, используемых в медицинских учреждениях. Опытным

путем установлено — антимикробная пленка устойчива к воздействию хлорных отбеливателей, спиртосодержащих растворов, воде и другим средствам, сохраняя свои антимикробные свойства даже после 365 чисток.

Имеющиеся уровни дезинфекции могут быть применены с основным использованием в зонах с наибольшим риском заражения (хирургические отделения, отделения с ослабленным иммунитетом, неонатология и т.д.).

Пленку необходимо наносить только на часто используемые для контакта участки, как ровной, так и неровной поверхности (ручки входных дверей, поручни). Диапазон рабочих температур пленки варьируется от -40 до $+90^{\circ}\text{C}$, но наносить пленку рекомендуется при температуре атмосферного воздуха $+10^{\circ}\text{C}$ для достижения большего контакта пленки с поверхностью. В случае, если поверхность окрашена и повреждена или не является оригинальной, пленку наносить не рекомендуется.

При соблюдении всех условий хранения пленки, в том числе учитывая относительную влажность помещения — не более 50%, вертикальное расположение пленки, температурный диапазон в помещении $+15$ — 25°C , срок годности пленки составит от 1 до 5 лет.

Совместно со специалистами лаборатории коммунальной гигиены и эпидемиологии ФГУП ВНИИЖГ Роспотребнадзора были проведены санитарно-химические испытания образцов антимикробной пленки с ионами серебра (табл. 3).

Химический анализ продуктов деструкции образцов антимикробной пленки с ионами серебра

Таблица 3

Результаты санитарно-химических испытаний продуктов деструкции образцов антимикробной пленки с ионами серебра PURZON060B (PURE ZONE)

Наименование химических веществ	Химическая формула	Величина ПДК, мг/м ³		Класс опасности химических веществ
		Максимально разовая концентрация вещества	Средне суточная концентрация вещества	
Ацетон	$\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$	350×10^{-3}	—	4
Ксилол	C_8H_{10}	200×10^{-3}	—	3
Толуол	C_7H_8	600×10^{-3}	—	3
Бензол	C_6H_6	300×10^{-3}	100×10^{-3}	2
Этилбензол	C_8H_{10}	20×10^{-3}	—	3
Гидроксиметилбензол (смесь изомеров о-, м-, п-)	$\text{C}_7\text{H}_8\text{O}$	5×10^{-3}	—	2

PURZON060B (PURE ZONE), которые выдерживались в климатической камере при температуре $+200^{\circ}\text{C}$ и $+400^{\circ}\text{C}$, с экспозицией исследуемых образцов в течение 48 часов, проверялся с помощью газоанализатора ГАНГ-4.

Измерения оценивались на основании среднесуточных концентраций атмосферного воздуха (гигиенические нормативы ГН 2.1.6. 3492-17), за исключением ацетона, ксилола, толуола, этилацетата, этилбензола, гидроксиметилбензола, которые были оценены на основе максимально-разовых концентраций.

При выдерживании образцов антимикробной пленки в диапазоне температур $+200-400^{\circ}\text{C}$, на вторые сутки в продуктах деструкции обнаружены составляющие: ацетона ($\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$), толуола (C_7H_8), ксилола (C_8H_{10}), бензола (C_6H_6), этилбензола (C_8H_{10}), смеси о-, м-, п-изомеров ($\text{C}_7\text{H}_8\text{O}$). Превышения предельно допустимой концентрации обнаружено не было. Более того в результате деструкции отсутствуют: аммиак (NH_3), формальдегид (CH_2O), стирол (C_8H_8) и др. (рисунок).

На основании проведенных исследовательских данных выявлено, что значение индекса токсичности образцов антимикробной пленки с ионами серебра PURZON060B (PURE ZONE) составляет 19,3%, что не превышает нормативное значение — 20%.

По результатам глубокого анализа нормативно-технической документации и проведенных экспериментальных исследований, выполненных специалистами ФГУП ВНИИЖГ Роспотребнадзора, установлено, что антимикробная пленка с ионами серебра PURZON060B (PURE ZONE) соответствует требованиям СП 2.5.3650-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к отдельным видам транспорта и объектам транспортной инфраструктуры» (п. 1.7), Единым санитарно-эпидемиологическим и гигиеническим требованиям к продукции (товарам), подлежащей санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю) (с изменениями на 22 февраля 2022 года) (утверждены решением Комиссии Таможенного Союза от 28 мая 2010 г. №299) (глава II, раздел 6); гигиеническим нормативам ГН 2.1.6.3492-17; методике определения токсичности химических веществ, полимеров, материалов и изделий с помощью биотеста «Эколюм» (МР 01.018-07); стандарту 2.15.11.04-07 «Санитарно-гигиеническая безопасность материалов, предназначенных для внутреннего оборудования пассажирских вагонов» и может использоваться для оклеивания элементов интерьера (ручек, поручней, столов, дверных элементов, кранов, кнопок смыва в туалетах) на подвижном составе транспортных средств. Следовательно, проведенные мероприятия снижают риск распространения бактерий и вирусов. 

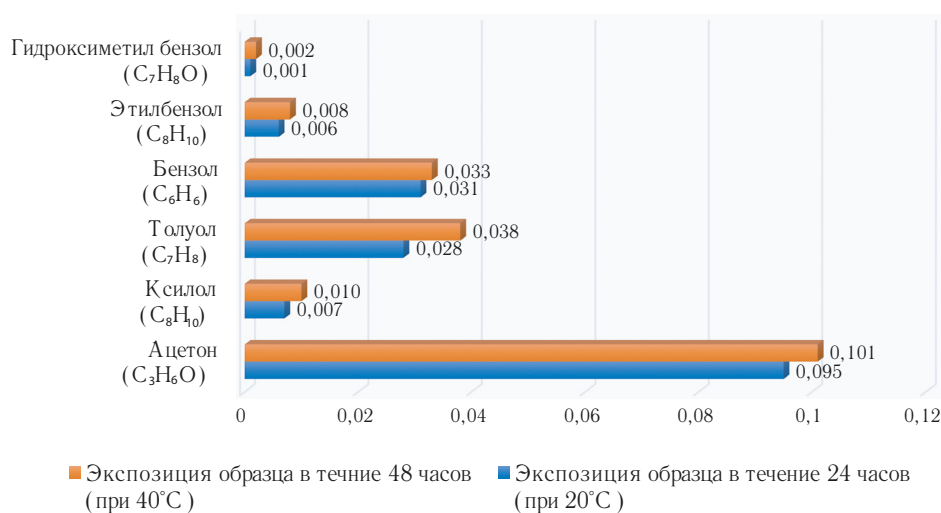


Рисунок. Фактические показатели химических веществ, не более, $\text{мг}/\text{м}^3$

Литература

1. Актуальные вопросы противоэпидемической и экологической безопасности пассажирских объектов железнодорожного транспорта / М.Ф. Вильк, О.О. Сеницына, О.С. Сачкова, И.А. Коновал. — Текст: непосредственный // Гигиена и санитария. — 2019. — Т. 98, № 12. — С. 1376–1379.
2. Коновал, И.А. Анализ риска для здоровья пассажиров железнодорожного транспорта / И.А. Коновал, О.С. Сачкова, Т.В. Гаранина. — Текст: непосредственный // Актуальные проблемы гигиены, токсикологии и профпатологии: материалы научно-практической конференции молодых ученых. — Мытищи: Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана, 2019. — С. 127–129.
3. Анализ заболеваемости работников пассажирской железнодорожной службы / А.М. Королева, В.М. Пономарев, В.А. Аксёнов, О.С. Юдаева, А.С. Козлов. — Текст: непосредственный // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. — 2018. — № 7 (1). — С. 44–49.
4. Пономарев, В.М. Анализ и расчёты рисков факторов трудовой деятельности работников железнодорожного комплекса на заболеваемость / В.М. Пономарев, О.С. Сачкова, А.М. Королева. — Текст: непосредственный // Наука и техника транспорта. — 2018. — № 3. — С. 108–111.
5. Разработка технических, санитарно-гигиенических и экологических требований к шторе, предназначенной для организации индивидуального пространства в пассажирских вагонах открытого типа. — Текст: непосредственный / О.С. Сачкова, В.А. Аксёнов, И.А. Коновал, В.Б. Шевченко // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. — 2019. — № 3(381). — С. 228–232.
6. Коновал, И.А. Анализ результатов исследований энергетической освещенности в спектральном диапазоне УФ (А,В,С) при отработке режимов обеззараживания поверхностей душевого модуля пассажирских вагонов / И.А. Коновал. — Текст: непосредственный // Наука и техника транспорта. — 2020. — № 3. — С. 91–96.
7. BSI BS ISO 22196-2011 Measurement of antibacterial activity on plastics and other non-porous surfaces. Измерение антибактериальной активности на поверхности пластмасс и других непористых материалов :международный (зарубежный) стандарт: статус действующий: дата принятия :31 августа 2011.
8. ISO 21702-2019 Measurement of antiviral activity on plastics and other non-porous surfaces.Измерение антивирусной активности Пластмассы и других непористых поверхностей: международный (зарубежный) стандарт: статус действующий: дата принятия 01 мая 2019.

КУЛЬТУРА ТРУДА РАБОТНИКОВ ФЕДЕРАЛЬНОЙ СЛУЖБЫ ИСПОЛНЕНИЯ НАКАЗАНИЙ

В статье рассмотрено комплексное понятие «культура труда» для улучшения условий труда работников Федеральной службы исполнения наказаний. При этом установлено, что в отечественной и зарубежной экономической литературе отсутствует общепринятое определение «культуры труда», тем более в аспекте для работников Федеральной службы исполнения наказаний. Причиной этого является полисемантичность самого понятия «культура» и, соответственно, многоаспектность культуры труда.

Ключевые слова: культура труда, работники Федеральной службы исполнения наказаний, условия труда, многоаспектность, развитие

EDN: NAYPZN



Е.А. Трифонова



О.С. Сачкова

Существующие условия труда работающих различных профессий в РФ представляют собой комплекс факторов, проявляющихся в производственной среде и в результате трудового процесса, которые впоследствии оказывают определенное влияние на общее состояние здоровья и характер работоспособности человека во время трудового процесса. Улучшение условий труда работников Федеральной службы исполнения наказаний возможно при рассмотрении комплексного понятия «культура труда».

Понятие «культура труда» относится к числу полисемантических понятий ввиду неоднозначности самого термина «культура». Поэтому прежде чем формулировать дефиницию «культура труда», необходимо определиться с пониманием, что такое культура. История общественной мысли раскрывает вариативные толкования данного термина, в частности: уход,

облагораживание (Цицерон); обозначение человека «искусственного», воспитанного и получившего образование в противовес человеку «естественному» (С. Пуфендорф, И.Г. Гердер); основа интеграции общества (А.С. Ахиезер); игра (Й. Хейзинга); специфическая система ценностей и идей (М. Вебер); основа усвоенного поведения (М. Мид) и др. Несмотря на многочисленность определений культуры их можно свести к нескольким подходам [1–3]:

- во-первых, к определению культуры применяется деятельностный подход, и в этом случае она рассматривается как «социально-прогрессивная творческая деятельность человечества во всех сферах бытия и сознания, являющаяся диалектическим единством процессов опредмечивания (создания ценностей, норм, знаковых систем и т.п.) и распределмечивания (освоение культурного наследия)»;

Трифонова Екатерина Александровна, старший преподаватель кафедры «Управление безопасностью в техносфере» Института транспортной техники и систем управления Российского университета транспорта (ИТТСУ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: охрана труда, техносферная безопасность. Автор девяти научных работ.

Сачкова Оксана Сергеевна, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории коммунальной гигиены и эпидемиологии отдела медико-биологических исследований ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт железнодорожной гигиены» (ВНИИЖГ Роспотребнадзора), доцент кафедры «Техносферная безопасность» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: исследования полимерсодержащих материалов для железнодорожного транспорта, гигиеническая сертификация подвижного состава железнодорожного транспорта. Автор 185 научных работ, в том числе пяти монографий, четырех учебников и восьми учебных пособий. Имеет пять патентов на изобретения.

- во-вторых, культура нередко трактуется как результат деятельности людей в обществе, а именно как совокупность материальных и духовных ценностей («совокупность смыслов и ценностей, рожденных творческой активностью человека»);

- в-третьих, культура рассматривается как внегенетический способ передачи информации последующим поколениям, и в этом плане она выступает в качестве адаптационного механизма накопления и воспроизведения социального опыта, а также механизма формирования и развития личности; в качестве разновидности такого подхода можно выделить семиотический подход, в котором культура предстает как знаковая система.

С учетом многоаспектности термина «культура» представляется методологически правильным при формулировке дефиниции «культура» либо исходить из конкретных целей, которые ставятся при исследовании данного феномена и, соответственно, использовать тот или иной подход из вышеперечисленных, либо раскрывать указанный феномен с позиций комплексности, всесторонности, включающей многообразные аспекты культуры (предметный, деятельностный, личностный, социальный).

Влияние культуры труда на условия труда работников Федеральной службы исполнения наказаний является актуальной задачей, поскольку только в случае рассмотрения данного комплексного понятия возможно достичь улучшения условий труда работников службы исполнения наказаний.

Анализ последних исследований и публикаций

Для целей настоящего исследования важно учитывать все стороны феномена культуры, поэтому при формулировке определения культуры труда, представляющей как проявление культуры вообще, также следует раскрывать ее как многоаспектное, интегрирующее явление. При этом исходим из того, что труд — «деятельность, направленная на производство определенных общественно полезных (или, по крайней мере, потребляемых обществом) продуктов — материальных или духовных» [4]. В связи с этим труд можно рассматривать как специфически человеческий способ отношения индивида к окружающей среде, а следовательно и как проявление культуры. Труд как основа жизнедеятельности отдельного человека и общества в целом вписан в культуру и детерминирован ею, но одновременно он является и тем базисом, благодаря которому идет процесс развития культуры. Однако данное соотношение труда и культуры имеет место в случае, когда они рассматриваются на субстанциональном, предельно абстрактном

уровне и тогда культуру труда можно определить как специфический способ организации трудовой деятельности, ее социальное качество, а «формы и способы организации труда в любой области представляют собой культурные сценарии трудовой деятельности» [5]. Дефиниция культуры труда предполагает переход и на более конкретный уровень исследования, когда проявления культуры предстают непосредственно в процессах труда (как труда конкретного работника, так и труда как отдельного вида деятельности).

С учетом изложенного в общем плане культура труда может быть определена как многоаспектное, интегрирующее явление, обнаруживающееся как на индивидуально-личностном (культура труда работника), так и на институциональном (культура трудовой деятельности организации) уровнях и раскрывающееся в системе материальных и духовных ценностей, разделяемых работниками организации, и реализуемых ими в определенных трудовых практиках, что находит отражение, прежде всего, в качестве их труда. Культура труда — это комплексная обобщающая характеристика труда (отдельного работника и трудовой деятельности организации в целом), отражающая его качественные черты и особенности. Культура труда может быть рассмотрена с позиций нормативизма (т.е. с точки зрения того, какими должны быть все составляющие трудового процесса с позиций их оптимальности, эффективности; в этом случае культура труда раскрывает трудовой процесс в ракурсе образцов, ориентиров, идеалов) или дескриптивизма (т.е. описания существующих на данный момент труда конкретного работника и трудовой деятельности организации; например, в рамках этого подхода можно привести следующее определение культуры труда: «это совокупность личностных и постепенно выработанных качеств работника, а также устройство предприятия, таким образом, благодаря которому стимулируется, координируется и реализуется трудовая деятельность» [6]). Вместе с тем представляется важным не разрывать данные подходы, так как дескриптивизм, в конечном итоге, описывает ситуацию с культурой труда в организации с позиций неких норм и идеалов, разделяемых в данной организации. С позиции изложенного конкретизируем приведенное выше определение применительно к разным ракурсам рассмотрения культуры труда:

- нормативное определение культуры труда: совокупность норм, ориентиров, паттернов, эталонов, касающихся всех сторон трудовой деятельности и формирующих идеальное представление о труде отдельного работника и трудовой деятельности организации в целом;

• дескриптивное определение культуры труда: наличный уровень состояния, качества труда, представленного в ракурсе всех его составляющих (условия труда, его организация и пр.), а также их оценка с позиций нормативного понимания культуры труда (высокий, низкий уровни культуры труда и пр.);

• индивидуально-личностное определение культуры: культура труда отдельного работника — это составляющая от его профессиональных, личностных, индивидуально-психологических качеств (отношение к труду, выполняемой работе, уровень знаний и опыт работы, организаторские способности, умение работать в коллективе, умение работать с информацией, своевременно принимать решения и реализовывать их и пр.), примененных в процессе труда и нашедших выражение в его результатах. Такая трактовка культуры труда работника учитывает не только его профессиональные, но и личностные качества.

В связи с этим интересны наработки в области культуры труда, предложенные в свое время А.К. Гастевым. В частности, он полагал, что культура труда включает совокупность установок, касающихся физической и бытовой культуры (например, правильное питание), рациональной организации труда (например, чередование труда и отдыха, введение хронокарты, фиксирующей учет бюджета времени работника), психологической готовности (отсюда психологический паспорт работника), трудовой дисциплины, искусства управления. Он писал о необходимости воспитания трудовой культуры, которое следует начинать с младшего возраста (с двух лет). Именно А.Н. Гастев одним из первых начал говорить об экономическом эффекте культуры труда (в частности, он писал о культуре рабочего места и производимом в связи с этим экономическом эффекте) [7]. Итак, понятие «культура труда» может быть применено для обозначения: культуры труда отдельного работника, а также культуры труда как вида деятельности организации (в соотношении со всеми факторами и условиями труда). При этом общее определение культуры труда организации требует конкретизации, учитывающей специфику данной организации, цели ее деятельности, роль в общественном производстве и пр. В силу того, что культура труда, как и культура вообще, — явление интегрирующее, отражающее качественные характеристики разных сторон труда: его психологические (мотивация, отношение к труду и пр.), социально-психологические (социально-психологический климат в коллективе, разделяемые ценности и пр.), технологические (овладение новыми технологиями, уровень совершенства в применении технологий и пр.), социальные (культура общения и пр.), экономические (экономическая эффективность

трудовой деятельности, степень ее полезности и пр.), экологические (экологические последствия труда) аспекты, оно имеет сложную структуру, состоящую из ряда компонентов (блоков). В частности, Л.В. Захаровой была предложена структура культуры труда с учетом того, что наиболее актуальным в современных условиях является измерение факторов общественного производства в контексте эколого-экономических требований [8]. Однако выделение ею эколого-экономических составляющих культуры труда, а именно: «духовная — эколого-экономическое сознание и поведение работника; деятельностная — запас эколого-экономических знаний, практических умений и навыков эффективного использования человеческих и природных ресурсов; предметная — ресурсосберегающие технологии и безопасные условия труда» [8] представляется некорректным, так как в деятельностный компонент включены знания, которые, по сути, должны включаться в духовный компонент. Вызывает вопросы и выделение предметной составляющей, так как технологии могут быть включены и в деятельностный компонент. Кроме того, Л.В. Захарова делает акцент на эколого-экономических требованиях к трудовой деятельности, хотя в настоящее время, например, в ряде европейских документов речь идет о принципах экологической, социальной и корпоративной ответственности (environmental, social and corporate governance (ESG)).

Цель статьи

Рассмотрение комплексного понятия «культура труда» для улучшения условий труда работников Федеральной службы исполнения наказаний.

Материалы и результаты исследования

Определение культуры труда конкретизируется при раскрытии ее структуры. В связи с этим выделим структурно-функциональные блоки, раскрывающие феномен культуры труда как комплексного явления:

1. Нормативно-аксиологический блок: культура труда как некое идеальное состояние всех составляющих трудового процесса в Федеральной службе исполнения наказаний и применительно к отдельному работнику (условия и безопасность труда, организация трудовой деятельности, непосредственно трудовой процесс, компетенции отдельного работника и всего трудового коллектива в целом и пр.). В данном ракурсе культура труда предстает как некое идеальное состояние всего трудового процесса и обеспечивающих его условий; по сути, данный блок отвечает на вопрос: как должен строиться трудовой процесс в Федеральной службе исполнения наказаний с позиции

ценностей и идеалов, образцов, отсюда нормативный характер понимания культуры труда;

2. Процессуальный блок: культура труда предстает как феномен, имеющий место в данное время в Федеральной службе исполнения наказаний (дескриптивный подход к пониманию культуры труда); он описывает все аспекты культуры труда (условия труда, его безопасность и организация и пр.) в ракурсе их качественных характеристик; здесь же раскрывается функциональное содержание культуры труда как воспроизводство принятых моделей трудовой деятельности;

3. Предметный блок: культура труда рассматривается в ракурсе результативно-составляющей трудового процесса (например, произведенной продукции, иных результатов деятельности);

4. Личностно-индивидуальный блок: общая и профессиональная виды культуры, раскрывающиеся в личностных качествах, способностях, мотивации, знаниях, навыках (компетенциях), которые имеет работник Федеральной службы исполнения наказаний, приступая к трудовой деятельности, а также их развитие в процессе данной деятельности; культура труда применительно к качеству выполнения конкретной деятельности и ее результатам; в этом блоке культура труда с позиций нормативизма раскрывается как совокупность знаний, умений (компетенций) работника, необходимых для качественного выполнения им своей профессиональной деятельности, его мотивация и готовность к труду, соблюдение технологической дисциплины, а также «внутреннее стремление личности к саморазвитию, к постоянному росту, непрерывному творческому поиску, проявлению себя как духовно богатой высоконравственной личности» [9];

5. Социально-коллективный блок: общий уровень профессиональных компетенций членов трудового коллектива и, соответственно, развитие данных компетенций в процессе их трудовой деятельности; система разделяемых работниками службы исполнения наказаний материальных и духовных ценностей, идей, эталонов трудового поведения, традиций (или их отсутствие); преобладающая мотивация; культура коммуникаций в организации;

6. Организационно-управленческий блок: качественные характеристики процессов управления в Федеральной службе исполнения наказаний (например, ценности, нормы, принципы рациональной организации труда, эффективная система управления, создание благоприятного социально-психологического климата в коллективе организации и пр.).

Перечисленные компонентные блоки выступают лишь как общая структура культуры труда, которая

наполняется конкретным контентом применительно к каждой организации. В этом плане справедливо утверждение, что не может быть какой-то одной наилучшей культуры труда для всех организаций. «Культура любой организации обусловлена, прежде всего, ее целями, спецификой деятельности, политической высшей администрации, особенностями персонала и многими другими факторами, в том числе воздействием окружающей среды» [10]. Но это не отменяет выработки общих методологических принципов понимания и структурирования культуры труда, а также эффективных практик, формирующих некий нормативный срез культуры труда.

В содержательном плане культура труда раскрывается в качественной оценке:

- организации трудового процесса (методах организации производства) (содержание и характер трудового процесса; условия труда, включая санитарно-гигиенические, психофизиологические, эстетические, технические, социально-психологические, социально-экономические и иные условия; охрана труда; эффективность организационно-экономических отношений и применяемых техники и технологий), представляющих технологическую характеристику качества труда и трудовой деятельности. Высокий уровень культуры труда в данном случае связан с рационализацией приемов и методов труда, применением высокоэффективных технологий, созданием благоприятных, безопасных условий труда, рациональной организацией рабочих мест, т.е. тем самым, что называется обогащением труда [11], созданием системы эффективных материальных и моральных стимулов к труду и пр.;

- труда конкретного работника (культура труда работника, включая и его культуру как личности); высокий уровень культуры труда в данном случае определяется как профессионализм работника, основанный на его знаниях, навыках, опыте, моральных и личностных качествах (дисциплинированность, аккуратность, инициативность, доброжелательность и пр.), интересах, способностях, ценностных ориентациях; культура труда, соответствующая ее лучшим образцам, способствует сохранению здоровья работника Федеральной службы исполнения наказаний, его работоспособности, удовлетворению основных потребностей, порождает чувство удовлетворенности трудом и его результатами, содействует профессиональному и духовно-нравственному совершенствованию, личностной самореализации, повышению эффективности труда;

- управления организацией (стиль и методы управления, ориентированные на результативность выполнения целей организации, создание благоприятного социально-психологического климата в коллективе и пр.);

- корпоративной культуры (культура коммуникаций в коллективе, культура проведения мероприятий, нормы, ценности, символы, ритуалы, история, «душа организации» [12]);

- социальной ориентированности труда (общественная полезность труда, энергозатратность, трудоохранная и ресурсосберегательная политики, минимизация вредного воздействия на окружающую среду, экологическая, социальная и корпоративная ответственность (environmental, social and corporate governance /ESG/).

Содержательные компоненты культуры труда приведены на рисунке.

Культура труда работников Федеральной службы исполнения наказаний как нормативное понятие (как высшая степень проявления культуры труда — «высокая культура труда») раскрывает все составляющие трудового процесса в ракурсе его рационализации, эффективности, решая при этом экономические, психофизиологические и социальные задачи. В частности, экономическая задача высокой культуры труда раскрывается как создание условий для эффективного использования техники, материалов, сырья, трудовых ресурсов и пр., психофизиологическая задача высокой культуры труда — сохранение физического здоровья работника, поддержание высокого уровня

работоспособности и пр.; социальная задача — повышение качества выпускаемой продукции, способной удовлетворить запросы потребителя и пр.

Таким образом, культура труда работников Федеральной службы исполнения наказаний выступает как комплексная характеристика состояния и качества труда, включающая рациональную организацию труда, его эффективность, комфортные условия труда, применение инновационных технологий, высокий профессионализм работника, партнерские отношения между участниками совместного труда и пр.

Выводы

В результате выполненных исследований было рассмотрено комплексное понятие «культура труда» для улучшения условий труда работников Федеральной службы исполнения наказаний. При этом установлено, что в отечественной и зарубежной экономической литературе отсутствует общепринятое определение культуры труда, тем более в аспекте для работников Федеральной службы исполнения наказаний. Причиной этого является полисемантичность самого понятия «культура» и, соответственно, многоаспектность культуры труда (например, Г.Н. Соколова рассматривает культуру труда как условие реализации сущностных сил человека; Т.А.Куликова — как удо-

Организация трудового процесса:

- рационализация приемов и методов труда, совершенствование применяемых технологий;
- улучшение условий труда и повышение его безопасности, рациональная организация рабочих мест;
- эффективные материальные и моральные стимулы к труду;
- нормирование труда;
- необходимый уровень дисциплины труда;
- высокий уровень творческой активности работников.

Управление организацией:

- стиль и методы управления организацией;
- эффективность управления.

Социальное содержание трудовой деятельности организации:

- выполнение социальных задач, имеющих общественное значение;
- трудоохранная и ресурсосберегательная политика;
- минимизация вредного воздействия на окружающую среду;
- экологическая, социальная и корпоративная ответственность.

Корпоративная культура:

- культура коммуникаций в коллективе;
- культура проведения мероприятий;
- нормы, ценности, символы, ритуалы, история.

Рисунок. Содержательные компоненты культуры труда

влетворение потребностей в экономическом и социальном благополучии работника; Л.В.Захарова — как систему ценностных ориентаций и пр.).

Для раскрытия сущностных и содержательных характеристик понятия «культура труда» следует сделать ряд методологических замечаний:

- понятия «культура труда» применяется как к качественной оценке труда конкретного работника Федеральной службы исполнения наказаний, так и трудовой деятельности всей службы;

- понятие «культура труда» — это имманентная характеристика, комплексный параметр труда работника и трудовой деятельности Федеральной службы исполнения наказаний; поскольку в труде раскрывается сущность человека, постольку культура труда может быть представлена как степень гуманизации труда, в связи с этим культура придает смысл трудовой деятельности;

- понятие «культура труда» может быть рассмотрено как дескриптивное, описывающее то или иное состояние всех составляющих процесса труда и как нормативное, исходящее из долженствования, порожденного стремлением к наилучшим образцам, эталонам высокого качества труда и трудовой деятельности в целом. Следовательно, важны методики, позволяющие оценить культуру труда в службе исполнения наказаний по сравнению с нормативными образцами;

- несмотря на наличие неких нормативных образцов, культура труда в Федеральной службе исполнения наказаний не может быть единой для всех ее разновидностей, так как должны учитываться цели, направленность, характер трудовой деятельности и пр.

С учетом сделанных методологических замечаний культура труда с позиций дескриптивизма — это существующее состояние и качество труда работников Федеральной службы исполнения наказаний; с позиций нормативизма — это идеальные состояние и качество труда, выступающие в качестве образцов (или даже норм) совершенных трудовых практик

Федеральной службы исполнения наказаний. Культура труда может быть рассмотрена как духовный феномен, например, когда речь идет о ценностных ориентациях, нормах, формирующих некие идеальные образцы; как материальный феномен, когда фиксируются материальные образцы (например, рабочее место), однако, включенная в деятельностный контекст, т.е. рассмотренная в процессе трудовой деятельности, она соединяет эти аспекты и предстает как многогранное явление. Причем некоторые авторы акцентируют внимание на поведенческом аспекте культуры труда (образцы и нормы трудового поведения).

Данные определения являются весьма абстрактными и они раскрываются через содержательные аспекты культуры труда: организацию трудового процесса, управленческую культуру, корпоративную культуру, культуру труда отдельного работника, социальную направленность определенной организации.

Исходя из функционально-целевого рассмотрения культуры труда, следует выделить и такие ее аспекты, как ресурс Федеральной службы исполнения наказаний, в том числе и для повышения ее конкурентоспособности, эффективности; в частности, от культуры труда зависит качество трудовых ресурсов и степень улучшения условий труда работников Федеральной службы исполнения наказаний; соединение воспроизводственных задач и задач развития; фактор, непосредственно влияющий на работника Федеральной службы исполнения наказаний (на безопасность его труда, а, значит, на сохранение его здоровья, чувство удовлетворенности трудом, самореализацию и саморазвитие, в частности, через освоение новой техники и технологий). Культуру труда работников Федеральной службы исполнения наказаний следует рассматривать в динамике, так как служба в своем развитии проходит жизненные циклы, соответственно, развивается и культура труда всей Федеральной службы исполнения наказаний. Причем это развитие может быть как прогрессивным, так и регрессивным и, соответственно, влиять на улучшение или ухудшение условий труда работников Федеральной службы исполнения наказаний.



Литература

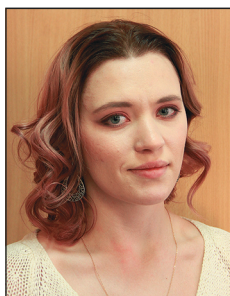
1. Философский словарь / Адо А. В. [и др.]; Под ред. И. Т. Фролова. — 6-е изд., перераб. и доп. — Москва: Политиздат, 1991. — 560 с. — Текст: непосредственный.
2. Гуревич, П.С. Культурология: учебник для вузов / П.С. Гуревич. — Москва: Проект, 2003. — 333 с. — Текст: непосредственный.
3. Бусыгин, О.В. Организационная и корпоративная культура промышленного предприятия: проблема диагностики в процессе управления: специальность 22.00.08 : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата социологических наук / Бусыгин Олег Владимирович. — Нижний Новгород, 2011. — 29 с. — Место защиты: Нижегород. гос. ун-т им. Н.И. Лобачевского. — Текст: непосредственный.

4. Экономика труда: учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по финансово-экономическим специальностям / Ю.П. Кокин [и др.]; Под ред. Ю.П. Кокина, П.Э. Шлендера. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва: Магистр, 2008. — 686 с. — Текст: непосредственный.
5. Лихвар, В.Д. Культурология / В.Д. Лихвар, Д.Е. Погорелый, Е.А. Подольская. — Москва: Эксмо, 2008. — 411 с. — Текст: непосредственный.
6. Соколова, Г.Н. Социология труда / Г.Н. Соколова; Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т социол. — Минск: Журн. «Право и экономика», 2000. — 244 с. — Текст: непосредственный.
7. Гастев, А.К. Как надо работать: практическое введение в науку организации труда / А.К. Гастев; Под общ. ред. Н.М. Бахраха [и др.]. — Изд. 3-е. — Москва: URSS: Либроком, 2011. — 478 с. — Текст: непосредственный.
8. Захарова, Л.В. Эколого-экономический фактор труда в системе повышения качества экономического роста / Л.В. Захарова. — Текст: непосредственный // Вестник ЮУрГУ. Серия «Экономика и менеджмент». — 2009. — Вып. 12. — № 41(174). — С. 69–73.
9. Бакаева, Т.Н., Толмачёва Л.В. Культура труда личности как составляющая культуры безопасности жизнедеятельности / Т.Н. Бакаева, Л.В. Толмачёва. — Текст: электронный // Инженерный вестник Дона. — 2014. — № 4. — 2(32). — С. 11. — URL: http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/4_bakayeva_tolmacheva.pdf_5bb-216dd5f.pdf. (дата обращения 18.05.2021).
10. Свенцицкий, А.Л. Организационная психология: учебник для вузов: для студентов высших учебных заведений, обучающихся по гуманитарным направлениям и специальностям / А.Л. Свенцицкий. — Москва: Юрайт, 2016. — 504 с. — Текст: непосредственный.
11. Экономика и социология труда: учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 062100 Управление персоналом / А.Я. Кибанов [и др.]; Под ред. А.Я. Кибанова; М-во образования и науки Российской Федерации, Гос. ун-т упр. — Москва: ИНФРА-М, 2010. — 583 с. — Текст: непосредственный.
12. Aldag R.J., Kuzuhara L.W. Organizational Behavior and Management. An Integrated Skills Approach. 1st edn., Thomson Learning, Cincinnati, Ohio, 2002. — P. 344.

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ОХРАНЕ ТРУДА



А.В. Киселев



Е.А. Киселева

Статья посвящена изучению актуальных вопросов, связанных с расчетами экономического эффекта и отдачей вследствие внедрения мероприятий по охране труда. Установлено, что целесообразно использовать метод системного моделирования, проводить сопоставление ожидаемого уровня снижения убытков по охране труда с объемами финансовых средств, вложенных для его достижения, а также применять методические подходы, разработанные в рамках эргономики.

Ключевые слова: безопасность труда, эффективность, отдача, модель, рентабельность, оценка, системное моделирование

EDN: MGQQFA

Концепция обеспечения занятому персоналу условий работы, которые отвечают требованиям безопасности и гигиены труда, впервые была сформулирована в статье 7 Международного пакта о культурных, социальных и экономических правах (1966 г.). Реализация основных прав в сфере охраны труда, является одной из главных стратегических целей Международной организации труда, нашедшей свое отражение в принятой в 1999 г. Концепции «Достойный труд» (Decent work), важной составляющей которой является безопасность на производстве [1].

Анализируя состояние производственного травматизма, сложившееся на сегодняшний день во многих

отраслях промышленности и характеризующееся достаточно высоким уровнем, можно утверждать, что задача создания надлежащих условий труда требует не только организационно-управленческих и технических решений, но также расчета экономической эффективности планируемых и внедряемых мероприятий. Зачастую необходимые расходы на выполнение мероприятий по охране труда значительно превышают финансовые ресурсы, выделяемые производству на эти цели. Кроме того, частой является ситуация, когда объем вложенных средств не соответствует полученному результату [2]. В связи с этим актуализируется задача выбора мероприятий по охране труда

Киселев Александр Викторович, аспирант кафедры «Техносферная безопасность» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)), специалист по закупкам по охране труда и пожарной безопасности ООО «Кортек». Область научных интересов: охрана труда, профилактика травматизма.

Киселева Екатерина Александровна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Техносферная безопасность» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: условия труда работников массовых профессий городских агломераций, профилактика травматизма, микротравмирование, профессиональные заболевания. Автор более 40 научных работ, в том числе трех учебных пособий и двух монографий.

Самойлов Вадим Вадимович, аспирант кафедры «Техносферная безопасность» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: охрана труда, специальная оценка по условиям труда, профессиональные заболевания. Автор восьми научных работ.

для окончательного включения их в план повышения эффективности управления техникой безопасности на производстве в целом.

Однако, несмотря на значимость рассматриваемой проблематики, в экспертном и научном сообществе не так много наработок, посвященных оценке экономической эффективности системы охраны труда на производстве. Также нет единства мнений относительно того какой метод наиболее достоверный, эффективный и подходящий.

Таким образом, обозначенные обстоятельства определяют тему данной статьи, а также подтверждают ее актуальность, теоретическую и практическую значимость.

Исследованию экономических аспектов охраны труда были посвящены работы таких ученых, как Maia Güell, Holtz-Eakin D., Blank R.M., Хрупачев А.Г., Хадарцев А.А., Седова О.А., Кашинцева Л.В., Кабанов И.А.

Значительный вклад в решение проблемы обеспечения высокого уровня рентабельности системы управления охраной труда, повышения безопасности технологических процессов и оборудования внесли Елькин А.Б., Евсеева И.А., Неволин В.С., Графкина М.В., Свиридова Е.Ю., Главацкая И., Luo Jingbo, Li Xiaogong, Chan Kam C.

Теоретические проблемы улучшения условий труда с точки зрения экономики труда входят в круг научных интересов Костюченко Е.Г., Калякина В.М., Schmitz P.W., Weng David H., Peng Mike W.

Несмотря на большое количество работ по исследуемой теме, отдельные ее аспекты недостаточно разработаны и освещены. Так, в частности нуждается в дополнении методологический аппарат проведения экономической оценки, так как в данной предметной плоскости нет единого мнения и согласованной позиции ученых. Кроме того, требуют усовершенствования подходы к комплексной оценке эффективности системы охраны труда с использованием информационно-аналитической поддержки планирования трудовых мероприятий.

Принимая во внимание вышеизложенное, цель статьи заключается в рассмотрении наиболее приемлемых методик и математического аппарата, позволяющих получить достоверную оценку экономической эффективности внедрения мероприятий по охране труда.

Задача достижения экономической эффективности внедрения мероприятий по охране труда определяется результативностью и отдачей от действий, направленных на улучшение условий и повышение безопасности производственной среды для персонала, а также

представляет собой экономическое выражение социальной значимости охраны труда [3].

Расчет экономических показателей, отражающих эффективность системы охраны труда, позволяет решить следующие задачи:

- провести с экономической точки зрения обоснование включенных в систему охраны труда мероприятий, которые создают основу для выбора наиболее оптимальных вариантов организационных, эргономических и технологических решений;
- определить в количественном или стоимостном выражении фактическую отдачу от действий по улучшению условий и охраны труда;
- оценить результаты функционирования конкретных программ по охране труда на различных уровнях;
- рассчитать расходы, которые требуются, чтобы привести существующие на предприятии условия труда в соответствие с принятыми стандартами и нормативными требованиями;
- определить рациональные и обоснованные размеры выплаты материального поощрения трудовому коллективу.

Для оценки экономической эффективности мероприятий по охране труда традиционного применяются различные методы: инженерный, модельный, экспертный, социологический, статистический и др. Каждый из этих методов имеет определенные преимущества и недостатки и используется в каждом конкретном случае в зависимости от поставленных задач [4].

В рамках проводимого исследования рассмотрим особенности использования метода системного моделирования.

Пусть общее количество выбранных мероприятий по охране труда — n и $j = \overline{1, n}$. Каждое j -мероприятие дает эффект (например, снижение уровня и тяжести производственного травматизма) в размере c_j . Расходы финансовых ресурсов на реализацию каждого мероприятия обозначим a_j . Известный выделенный объем финансовых ресурсов F . По результатам ранжирования определено текущее состояние уровня охраны труда на машиностроительных предприятиях q_i , $i = \overline{1, K}$. Целью решения задачи является выбор из совокупности мероприятий по охране труда наиболее эффективных с экономической точки зрения с учетом объема выделенных ресурсов, которые позволят достичь максимально-возможной эффективности.

Учитывая, что количество действий, которые включаются в программу мероприятий по охране труда и предлагаются к выбору, больше числа тех, которые фактически будут реализованы, можно ввести дискретные переменные x_j , соответствующие каждому выбранному мероприятию. При этом ($j = \overline{1, n}$).

$$x_j = \begin{cases} 1, & \text{если } j\text{-й проект выбирается для реализации;} \\ 0, & \text{если } j\text{-й проект не выбирается.} \end{cases}$$

Целевая функция будет иметь следующий вид:

$$k_v = f_1(x_j) \rightarrow \min,$$

$$k_n = f_2(x_j) \rightarrow \min,$$

$$R_n = f_3(x_j) \rightarrow \min,$$

где k_v — показатель производственного травматизма;
 k_n — показатель опасности производственного оборудования;

R_n — риск травматизма на производстве;

$f_1(x_j), f_2(x_j), f_3(x_j)$ — функции цели для k_v, k_n, R_n соответственно.

Критерии оптимизации в данном случае можно выразить следующим образом:

$$W_1 = \frac{k_{vi} - k_{vi+1}}{F_i + F_{i+1}},$$

$$W_2 = \frac{k_{ni} - k_{ni+1}}{F_i + F_{i+1}},$$

где k_{vi}, k_{vi+1} — начальные и конечные значения показателя производственного травматизма;

k_{ni}, k_{ni+1} — начальные и конечные значения показателя опасности производственного оборудования.

$F_i + F_{i+1}$ — начальные и конечные значения предоставленных финансовых ресурсов.

Введем следующие ограничения: по времени $T_p \leq T_{\text{год}} \leq 5760$ ч, по количеству мероприятий $n \leq n_3 \leq 15$ и предоставленным финансовым ресурсам $\Phi(x_j) \geq F_v$.

Тогда ограничение модели расчета имеет следующий вид:

$$\sum_{j=1}^p A_j x_j + \sum_{j=1}^{n-p} \alpha_j x_j \leq F, \\ x_j = \{0, 1\}; j = \overline{1, n},$$

где n — общее количество выбранных мероприятий по охране труда;

p — количество обязательных для внедрения мероприятий;

A_j — затраты на обязательное j -е мероприятие по охране труда;

α_j — затраты финансовых ресурсов на реализацию других мероприятий по охране труда;

x_j — мероприятия по охране труда;

F — известный выделенный объем финансовых ресурсов.

Расходы не должны превышать ресурсы F , выделенные из бюджета на проведение каждого меропри-

ятия по охране труда (обучение, инструктаж, стажировка и т.д.). Согласно физическому смыслу, переменные A_j, α_j, x_j, F — положительные величины.

Решение поставленной задачи методом целочисленной пошаговой оптимизации обеспечивает возможность расчета эффективности по предоставленным экономическим ресурсам, а также позволяет оперативно провести пересчет выбора оптимальной совокупности мероприятий по охране труда, дающих больший экономический эффект снижения k_v, k_n, R_n .

Таким образом, можно сделать вывод, что обобщенная математическая модель эффективности действующей на предприятии системы охраны труда должна отражать через интегральный показатель зависимость входящего перечня индикаторов, например, производственного травматизма, профессиональных заболеваний, потери финансовых средств, связанных с охраной труда и общего количества дней нетрудоспособности вследствие несчастных случаев и профессиональных заболеваний, от воздействия множества экономических факторов, характеризующих условия и безопасность труда:

$$Y_o = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m g_k Y_k = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m g_k F_k(X),$$

где Y_o — обобщенный показатель состояния охраны труда предприятия;

$F_k(X)$ — функциональная зависимость k -го показателя от множества экономических X ;

g_k — коэффициент, определяющий вклад показателя Y_k в обобщенный показатель;

m — количество показателей, которые рассматриваются.

Учитывая вышеизложенное, можно вывести зависимость убытков B от множества факторов X , характеризующих условия и безопасность труда.

Прежде чем составить план и провести распределение средств на мероприятия по охране труда, необходимо установить зависимость факторов объемов финансовых средств, выделяемых на эти мероприятия Z :

$$X_i(Z) = X_i' - \frac{Z_i}{C_i} (X_i' - X_i''),$$

где X_i' — состояние опасности (вредности) i -го фактора, значение которого определяется из базы статистических и расчетных данных о состоянии охраны труда на предприятии;

X_i'' — состояние опасности (вредности) i -го фактора, которое предполагается достичь к концу планового периода;

C_i — общая стоимость проведения всех мероприятий, направленных на устранение (уменьшение) действия i -го фактора, которая определяется исходя из тарифов на выполнение работ, стоимости необходимого оборудования, комплектующих и т.п.;

Z_i — объем финансирования мероприятий, который планируется выделить на уменьшение опасности (вредности) i -го фактора. Для переменной Z_i выполняется условие: $Z_i \in 0 \dots C_i$.

Путем применения метода группового учета аргументов и с учетом характера зависимости состояния опасности (вредности) факторов в результате получается математическая модель, устанавливающая зависимость убытков по охране труда от объемов финансовых средств, выделяемых на реализацию трудоохранных мероприятий $B(Z)$.

Исходя из вышесказанного, можно прийти к выводу, что наиболее действенной методикой оценки эффективности планирования мероприятий по охране труда

является сопоставление ожидаемого уровня снижения убытков по охране труда с объемами финансовых средств, выделяемых на создание безопасных условий труда на производстве.

В то же время, следует сделать акцент на том, что сугубо экономические расчеты не всегда могут быть проведены и не во всех случаях являются целесообразными особенно, если экономическая выгода, получаемая в результате проведения мероприятий по охране труда, настолько мала, что сама по себе не является стимулом для необходимых преобразований [5].

На основе анализа научных источников и эмпирических данных авторами систематизированы наиболее и наименее рентабельные для предприятий меры по охране труда (таблица).

В данном случае для расчета экономической эффективности мер по охране труда можно использовать методические подходы, разработанные в рамках эрго-

Таблица

**Ранжирование мер по охране труда и обеспечению безопасности на рабочем месте
с учетом их рентабельности для работодателя**

Рентабельные мероприятия	Нерентабельные мероприятия
Сосредоточение на широких комплексах проблем и объектах, которые важны для соблюдения техники безопасности: • улучшение логистики по производству и передвижению материалов, сырья, комплектующих; • поддержка в хорошем состоянии проездов и проходов; • обеспечение порядка и чистоты на рабочих местах; • внедрение надежной и адаптивной системы информирования персонала; • создание благоприятного климата в коллективе	Технические и технологические изменения, которые проводятся в отрыве от другой деятельности; • закупка новых контрольных устройств для устаревших машин и оборудования; • снижение уровня шума; • обучение без использования современных ИКТ
Участие персонала в управлении предприятием и планировании мероприятий по охране труда	Жесткая система принуждения со стороны предпринимателя
Внедрение практики персональной ответственности на производстве за состояние своего здоровья	Организация охраны труда без учета особенностей производства, а только по закону
Регулярный анализ проблем и трудностей, а также поиск их причин	Формальное выполнение требований и стандартов
Эргономика • подключение эргономических подходов к логистическим процессами планирования и закупок	Эргономика • улучшение отдельных рабочих мест без учета общего процесса труда на предприятии
Медобслуживание • социальное страхование, активная работа медперсонала предприятия, которая нацелена на предупреждение, профилактику травматизма, а также реабилитацию	Стандартное медобслуживание, которое предполагает общий, а не специализированный контроль за работниками в соответствии с их профессиональными обязанностями

номики. Эффект от использования эргономики рассчитывается на основе оценки роста производительности труда, снижения потерь рабочего времени от заболеваемости, отмены временных льгот за работу в неблагоприятных условиях труда, а также экономии фондов заработной платы, фондов социального страхования, снижения потерь от текучести кадров. Характерной особенностью расчетов является то, что вычисляется условный эффект.

Итак, подводя итоги проведенного исследования, отметим, что для расчета результативности и эффективности функционирования системы охраны труда на предприятии целесообразно использовать метод системного моделирования, сопоставление ожидаемого уровня снижения убытков по охране труда с объемами финансовых средств, вложенных для его достижения, а также методические подходы, разработанные в рамках эргономики. 

Литература

1. Sorensen Glorian The future of research on work, safety, health and wellbeing: A guiding conceptual framework / Glorian Sorensen. —Text: direct // Social science & medicine. —2021. —Volume 269. —P. 45–53.
2. Improving compliance with occupational safety and health regulations: an overarching review. — Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2021. —565 p.
3. Филиппова, О.А. Анализ эффективности функционирования системы управления охраной труда на предприятии / О.А. Филиппова, В.В. Ашмарин. —Текст: непосредственный // Экономика и предпринимательство. —2019. —№ 12 (113). —С. 1047–1051.
4. Джамалудинова, М.Ю. Проблемы управления человеческими ресурсами государственных российских предприятий и направления их развития / М.Ю. Джамалудинова, Ш.С. Чартаева, А.М. Абдулаев. —Текст: непосредственный // Региональные проблемы преобразования экономики. —2019. —№ 10 (108). —С. 233–239.
5. Sari R.N. Development Models of Personality, Social Cognitive, and Safety Culture to Work Accidents in the Chemical Company / R.N. Sari // IOP conference series. Materials science and engineering. —2021. —Volume 1096. —Issue 1. —P. 15–21.

РИСК-МЕНЕДЖМЕНТ СОСТОЯНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ПЕРЕВОЗОЧНОГО ПРОЦЕССА НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ В УСЛОВИЯХ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

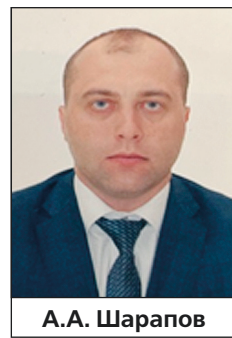
Изложен анализ и дана оценка состояния функциональной подсистемы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (ЧС) на железнодорожном транспорте единой государственной системы предупреждения и ликвидации ЧС (РСЧС) по итогам ее функционирования в 2021 году.

Ключевые слова: перевозочный процесс, устойчивость, надежность, риски ЧС, управление рисками, матрица оценки состояния

EDN: МОРИУ



А.И. Шевченко



А.А. Шарапов

Под устойчивостью перевозочного процесса понимается способность всех входящих в данную систему элементов (объекты инфраструктуры, подвижный состав, система управления) восстанавливать и поддерживать тактико-технические характеристики на заданном уровне в условиях воздействия внешних и внутренних дестабилизирующих факторов определенного уровня [6].

Под надежностью перевозочного процесса понимается способность всех входящих в данную систему элементов (объекты инфраструктуры, подвижной состав, система управления) восстанавливать и поддерживать тактико-технические характеристики на заданном уровне в условиях воздействия внешних

и внутренних дестабилизирующих факторов любого возможного уровня в течение определенного времени [6].

Риски ЧС — интегрированный показатель, учитывающий частоту возникновения ЧС и размеры ущербов (материальный, экологический и иные) от нее. Управление рисками — взаимосвязанные организационные и технические мероприятия, направленные на максимально возможное снижение частоты возникновения ЧС и размеров ущербов от нее. Под устойчивостью перевозочного процесса понимается способность всех входящих в данную систему элементов (объекты инфраструктуры, подвижной состав, система управления) восстанавливать и поддерживать тактико-техни-

Шевченко Анатолий Иванович, кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Комплексная безопасность и специальные программы» Российской академии путей сообщения Российского университета транспорта (РАПС РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: обеспечение безопасности и устойчивости перевозочного процесса на железнодорожном транспорте в чрезвычайных ситуациях. Автор 39 научных работ.

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

Денисов Владимир Васильевич, кандидат военных наук, доцент кафедры «Комплексная безопасность и специальные программы» Российской академии путей сообщения Российского университета транспорта (РАПС РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: обеспечение безопасности и устойчивости перевозочного процесса на железнодорожном транспорте, транспортная безопасность. Автор 12 научных работ.

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

ческие характеристики на заданном уровне в условиях воздействия внешних и внутренних дестабилизирующих факторов определенного уровня [6].

Матрица оценки состояния устойчивости перевозочного процесса — система взаимосвязанных количественных и качественных показателей риска возникновения ЧС, позволяющая детально (количественно и качественно) и аргументированно оценить указанный риск (см. табл. 3–6) [6].

Актуальность задачи обусловлена рядом факторов.

Железнодорожный транспорт России как сложная, многоуровневая, многофункциональная система, весьма уязвим от воздействия внешних и внутренних дестабилизирующих факторов, которые имеют непредсказуемую динамику во времени и пространстве (рис. 1) [6].

Алгоритм исследования показан на рис. 2 [6].

Критерии устойчивости перевозочного процесса (способности противостоять внешним и внутренним дестабилизирующим факторам) имеют следующие количественные характеристики: высокая — 80%

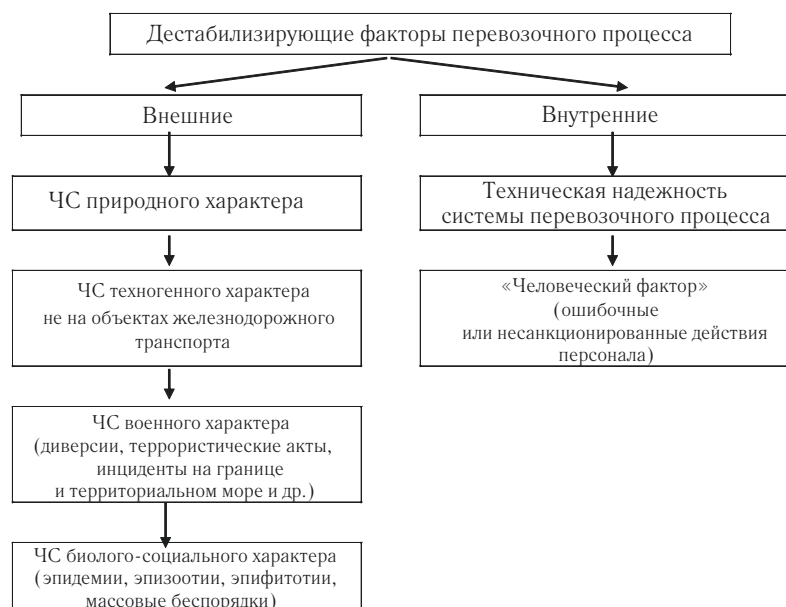


Рис. 1. Дестабилизирующие факторы перевозочного процесса



Рис. 2. Алгоритм исследования

и более; достаточная — 50–80%; недостаточная — менее 50%. Безопасный уровень перевозочного процесса — состояние перевозочного процесса, при котором отсутствует недопустимый риск возникновения ЧС [6].

Примерный алгоритм оценки устойчивости перевозочного процесса показан на рис. 3 [6].

Анализ риска сводится преимущественно к определению (расчету) вероятностей наступления неблагоприятного события — возникновения ЧС в процессе функционирования технических систем железнодорожного транспорта, непосредственно обеспечивающих безопасность движения и математического ожидания ущерба людям (пассажирам, персоналу и населению прилегающей территории), окружающей среде и самим техническим системам [6]. Методы управления риском ЧС включают административно-

правовые, технические и экономические меры, приемы и способы управления риском [6].

Административно-правовые меры включают: совокупность законодательных актов, нормативных документов и организационно-управленческих механизмов, позволяющих снижать риск ЧС. Технические меры — инженерно-технические средства мониторинга источников риска, предупреждения возникновения, развития и ликвидации ЧС. Экономические меры — совокупность экономических механизмов для реализации методов и средств снижения риска и возмещения ущерба от ЧС [6].

В соответствии с примененным в работе феноменологическим методом проведен анализ необходимых и достаточных условий для возникновения ЧС на определенном участке железной дороги. Как известно, признаками ЧС являются: наличие человеческих



Рис. 3. Примерный алгоритм оценки устойчивости перевозочного процесса

жертв (погибших); ущерб здоровью людей (пострадавшие); ущерб окружающей природной среде; значительные материальные потери; нарушение условий жизнедеятельности людей [6].

С учетом данных показателей (признаков ЧС) к необходимым условиям возникновения ЧС на железнодорожном транспорте следует отнести:

- наличие перевозочного процесса по перемещению людей и грузов;
- наличие уязвимой окружающей среды (природной и техносферной);
- наличие перевозимых материальных ценностей;
- наличие нормальных условий жизнедеятельности людей [6].

К достаточным условиям возникновения ЧС относится обстановка на определенной территории (участке железной дороги), при которой показатели риска возникновения ЧС хотя бы по одному из пяти

вышеприведенных признаков ЧС превышают допустимый (или заданный) уровень [6].

Поэтому предупреждение ЧС — это комплекс мероприятий, проводимых заблаговременно и направленных на максимально возможное уменьшение риска возникновения ЧС, а также на смягчение их последствий, т.е. на спасение пострадавших и сохранение их здоровья, снижение размеров ущерба окружающей природной среде и материальных потерь [6].

Количественные показатели ЧС природного и техногенного характера, произошедшие на инфраструктуре ОАО «РЖД» в 2020 и 2021 гг. показаны в табл. 1,2 [5].

Количественные характеристики техногенных ЧС [5]

В 2021 г. на объектах инфраструктуры и подвижном составе ОАО «РЖД» произошло 11 ЧС, связанных с авариями грузовых и пассажирских поез-

Таблица 1

Динамика изменения величины материального ущерба, причиненного при ЧС в 2020 и 2021 гг., по видам ЧС

Вид ЧС	Количество, ед.		Прирост (↑), Снижение (↓), %	Материальный ущерб (млн руб.)		Прирост (↑), Снижение (↓), %
	2020 г.	2021 г.		2020 г.	2021 г.	
Техногенные	11	11		662,98	160,169	↓ 76 %
Природные	4	3	↓ 25 %	1809,05	54,776	↓ 97 %
Биолого-социальные	—	—	—	—	—	—
Итого:	15	14	↓ 7 %	2472,03	214,945	↓ 91 %

Таблица 2

Распределение ЧС в 2020 и 2021 гг. по характеру и материальному ущербу

Масштабность ЧС	Структура показателей, %		Прирост (↑), Снижение (↓), %	Материальный ущерб (млн руб.)		Прирост (↑), Снижение (↓), %
	2020 г.	2021 г.		2020 г.	2021 г.	
Локальные	15	13	↓ 13 %	2472,03	162,422	↓ 94 %
Муниципальные	—	—	—	—	—	—
Межмуниципальные	—	—	—	—	—	—
Региональные	—	1	↑ 100 %	—	52,623	↑ 100 %
Межрегиональные	—	—	—	—	—	—
Федеральные	—	—	—	—	—	—
Итого:	15	14	↓ 7 %	2472,03	214,945	↓ 91 %

дов, все локального уровня. При этом погиб человек, пострадало 3 человека. Материальный ущерб составил 160,169 млн руб. По сравнению с 2020 г. число погибших в ЧС сократилось на 75%, число пострадавших — на 83%. Наибольшее количество ЧС произошло на территории Забайкальского края — 4, материальный ущерб — 100,545 млн руб.; на территории Амурской области — 3, материальный ущерб — 26,248 млн руб.; на территории Хабаровского края — 1, материальный ущерб — 49,943 млн руб.

Количественные характеристики ЧС природного характера [5]

18 июля 2021 года на территории Забайкальского края (Дальневосточный федеральный округ) введен режим функционирования «Чрезвычайная ситуация» регионального уровня реагирования, в связи с выпадением большого количества осадков, приведших к повышению уровня воды в реках. На инфраструктуре Забайкальской железной дороги повреждены объекты на 32 участках. Всего в режиме «Чрезвычайная ситуация» (с 18 июля по 18 августа 2021 года) в ходе восстановительных работ использованы 21280 м³ бутового камня, 4617,5 м³ щебня, 279,5 м рельсошпальной решетки, 1032 с/г шпал, 42 бетонных блока. В ОАО «РЖД» в целях ликвидации последствий ЧС природного характера и организации работ по восстановлению функционирования железнодорожного транспорта был образован и действовал оперативный штаб ОАО «РЖД» под председательством генерального директора — председателя правления ОАО «РЖД».

Результаты прохождения паводкового периода [5]

Для устойчивой работы ОАО «РЖД» и в целях нормативно-технологического обеспечения подготовки искусственных сооружений путевого хозяйства и объектов водоснабжения к ледоходу и пропуску весенних и ливневых вод на железных дорогах утверждена распоряжением ОАО «РЖД» от 23.01.2019 №103/р Инструкция по подготовке сооружений путевого хозяйства и объектов водоснабжения к ледоходу и пропуску весенних и ливневых вод. В паводковый период 2021 г. на железных дорогах — филиалах ОАО «РЖД» были образованы оперативные штабы для организации мероприятий по пропуску паводковых и ливневых вод, сформированы 280 противоразмывных поездов в количестве 1845 вагонов.

Результаты прохождения пожароопасного сезона [5]

В 2021 г. по сравнению с 2020 г. отмечен рост крупных природных пожаров — на 100%. В ОАО «РЖД» в постоянной готовности находятся 309 пожарных поездов (с учетом Крыма — 313), находящихся в ведении ФГП ВО ЖДТ России. В 2021 г. пожарные поезда привлекались для тушения пожара 447 раз, в том числе по запросу МЧС России — 301 раз, из них 59 раз на тушение пожара в населенные пункты, 172 раза — в полосе отвода (лес, торф, трава) и 70 раз — на прочие пожары.

Коронавирусная инфекция COVID-19 [5]

По данным Центральной дирекции здравоохранения — филиала ОАО «РЖД» в 2021 г. выявлено более 60 тыс. случаев заражения COVID-19, вакцинировано более 710 тыс. работников.

Координационными органами управления в ОАО «РЖД» на межрегиональном уровне является Центральная комиссия ОАО «РЖД» по предупреждению транспортных происшествий и чрезвычайных ситуаций, на региональном уровне — региональные комиссии по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций, на территориальном уровне — территориальные комиссии по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций территориальных управлений железных дорог и на объектовом уровне — объектовые комиссии по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций организаций железнодорожного транспорта [1;2].

Всего в ОАО «РЖД» функционирует на межрегиональном уровне 1 комиссия, на региональном уровне — 16 комиссий, на территориальном уровне — 67 комиссий и на объектовом уровне — 298 комиссий [5].

Авторами подготовлены:

1. Алгоритм оценки уязвимости объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта от ЧС.
2. Схема дестабилизирующих факторов перевозочного процесса (см. рис. 1).
3. Алгоритм исследования состояния устойчивости перевозочного процесса (см. рис. 2).
4. Примерный алгоритм оценки устойчивости перевозочного процесса (см. рис. 3).
5. Алгоритм оценки уязвимости объектов и подвижного состава ОАО «РЖД» от опасностей возникновения ЧС (см. рис. 4).
6. Алгоритм управления устойчивостью перевозочного процесса (рис. 5) [6].



Рис. 4. Алгоритм оценки уязвимости объектов и подвижного состава ОАО «РЖД» от ЧС [6]

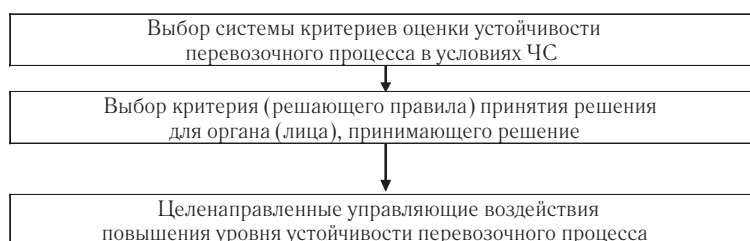


Рис. 5. Алгоритм управления устойчивостью перевозочного процесса

Силами и средствами постоянной готовности ОАО «РЖД», предназначенными для ликвидации последствий транспортных происшествий и ЧС, в соответствии с федеральным законодательством являются специализированные подразделения (восстановительные поезда общей численностью 217 формирований, пожарные поезда — 309 формирований) постоянной готовности [5;6].

Совершенствование правового и нормативно-технического регулирования в области обеспечения устойчивости перевозочного процесса на железнодорожном транспорте может осуществляться в соответствии с алгоритмом (рис. 6) [6].

Выводы

1. Проведенные авторами анализ и оценка состояния правового и нормативно-технического регулирования в области обеспечения безопасности и устойчивости перевозочного процесса на железнодорожном транспорте в условиях ЧС показывают, что данная система в целом отвечает современным требованиям и адекватна общей ситуации в ОАО «РЖД» [3].

2. Основными причинами возникновения ЧС в ходе перевозочного процесса на железнодорожном транспорте являются: высокая степень износа основных производственных объектов инфраструктуры; ошибки и несанкционированные действия персонала [5;6].

3. Аварийно-восстановительные формирования ОАО «РЖД», входящие в состав сил и средств функциональных подсистем РСЧС, к локализации возможных транспортных происшествий и ЧС природного и техногенного характера в пределах своих тактико-технических возможностей готовы [3].

4. По экспертной оценке прямые и косвенные потери от ЧС природного и техногенного характера в РФ ежегодно составляют от 5 до 10% бюджета. Для снижения указанных потерь необходимо создание эффективной системы мониторинга потенциально опасных производственных объектов (ПОПО), которая позволит не только вести непрерывный мониторинг, оперативно и эффективно реагировать на возникающие ЧС, но и выявлять предаварийные состояния объектов и действовать на упреждение возникновения ЧС [6].

Матрицы идентификации рисков ЧС (табл. 3–6) [6]

Таблица 3

Вид риска	Объект риска	Источник риска	Нежелательное событие
Индивидуальный	Человек	Условия жизнедеятельности человека	Заболевание, травма, инвалидность, смерть
Технический	Технические системы и объекты	Техническое несовершенство, нарушение правил эксплуатации технических систем и объектов	Авария, взрыв, катастрофа, пожар, разрушение
Экологический	Экологические системы	Антропогенное вмешательство в природную среду, техногенные ЧС	Антропогенные экологические катастрофы, стихийные бедствия
Социальный	Социальные группы	ЧС, снижение качества жизни	Групповые травмы, заболевания, гибель людей, рост смертности
Экономический	Материальные ресурсы	Повышенная опасность производства или окружающей среды	Увеличение затрат на безопасность, ущерб от недостаточной защищенности

Таблица 4

Уровень частоты	Частота событий f в год	Описание
Частое	f более 10 в 3 года	Вероятность частого возникновения. Постоянное наличие опасности
Вероятное	f более 5 в 4 года, но менее 10 в 3 года	Неоднократное возникновение. Ожидается частое возникновение события
Случайное	f от 5 до 10 в 4 года	Вероятность неоднократного возникновения. Ожидается неоднократное возникновение события
Редкое	f от 10 в 5 лет до 4 в 4 года	Вероятность того, что событие будет иногда возникать на протяжении жизненного цикла объекта. Обоснованное ожидание возникновения события
Крайне редкое	f 10 в 6 лет до 10 в 5 лет	Возникновение события маловероятно, но возможно. Можно предположить, что опасная ситуация может возникнуть в исключительном случае
Маловероятное	f менее 10 в 6 лет	Вероятность возникновения крайне маловероятна. Можно предположить, что опасное событие не возникнет

Таблица 5

Уровни частоты	Уровни риска			
Частое	Нежелательный	Недопустимый	Недопустимый	Недопустимый
Вероятное	Допустимый	Нежелательный	Недопустимый	Недопустимый
Случайное	Допустимый	Нежелательный	Нежелательный	Недопустимый
Редкое	Не принимаемый в расчет	Допустимый	Нежелательный	Нежелательный
Крайне редкое	Не принимаемый в расчет	Не принимаемый в расчет	Допустимый	Допустимый
Маловероятное	Не принимаемый в расчет	Не принимаемый в расчет	Не принимаемый в расчет	Не принимаемый в расчет
	Незначительный	Несущественный	Критический	Катастрофический
	Уровни тяжести последствий			

Таблица 6

Уровни тяжести последствий	Внутренние риски	Внешние риски
Катастрофический	Гибель 1 или более человек или тяжкий вред здоровью 5 или более людей, связанных с функционированием железнодорожного транспорта или Объект подвижного состава поврежден до степени исключения из инвентарного парка или Нанесен ущерб объекту инфраструктуры в размере более 5000 МРОТ.	Гибель 1 или более человек или тяжкий вред здоровью 5 или более людей, связанных с функционированием железнодорожного транспорта или Ущерб для окружающей среды, вызванный ЧС федерального и ли межрегионального характера
Критический	Тяжкий вред здоровью до 5 человек, связанных с функционированием железнодорожного транспорта. Гибель 1 человека или тяжкий вред здоровью 1 или более людей в результате умышленных или неосторожных действий самого пострадавшего или других лиц, не связанных с функционированием железнодорожного транспорта или Повреждение объекта подвижного состава, требующее проведения капитального ремонта для восстановления его работоспособности или Нанесен ущерб объекту инфраструктуры в размере от 1500 до 5000 МРОТ или полная утрата груза	Тяжкий вред здоровью до 5 человек, связанных с функционированием железнодорожного транспорта. Гибель или тяжкий вред здоровью 1 или более людей в результате умышленных или неосторожных действий самого пострадавшего или других лиц, не связанных с функционированием железнодорожного транспорта или Ущерб для окружающей среды, вызванный ЧС регионального или межмуниципального характера
Несущественный	Вред здоровью средней тяжести или повреждение объекта подвижного состава, требующее проведения среднего или деповского ремонта для восстановления его работоспособности или Нанесен ущерб объекту инфраструктуры в размере от 500 до 5000 МРОТ или Частичная утрата груза	Вред здоровью средней тяжести или Угроза для окружающей среды, вызванная ЧС муниципального или локального характера
Незначительный	Легкий вред здоровью или Повреждение объекта подвижного состава, требующее проведения текущего ремонта для восстановления его работоспособности или Нанесен ущерб объекту инфраструктуры в размере менее 5000 МРОТ	Легкий вред здоровью или незначительная угроза для окружающей среды



Рис. 6. Алгоритм «жизненного цикла» нормативно-технических и методических документов [6]

Литература

1. Российская Федерация. Законы. О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера (с изменениями на 30 декабря 2021 года): Федеральный закон от 21.12.1994 №68-ФЗ; принят Государственной Думой 11 ноября 1994 года. — Москва, 1994. — Текст: непосредственный.
2. О единой государственной системе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (с изменениями на 12 октября 2020 года): Постановление Правительства Российской Федерации от 30.12.2003 №794.
3. Распоряжение ОАО «РЖД» от 08.06.2018 г. №1215/р «Об утверждении Инструкции по проверке и оценке состояния функционирования региональных, территориальных и объектовых комиссий по предупреждению и ликвидации ЧС на объектах инфраструктуры ОАО «РЖД». — Текст: непосредственный.
4. Распоряжение ОАО «РЖД» от 08.06.2018 г. №1217/р «Об утверждении Положения о порядке функционирования органов управления, сил и средств ОАО «РЖД» в единой государственной системе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций». — Текст: непосредственный.
5. Аналитические материалы ОАО «РЖД» для включения в ежегодный государственный доклад «О состоянии защиты населения и территорий РФ от ЧС природного и техногенного характера» (итоги 2021 года). — Текст: непосредственный.
6. Шевченко, А.И. Учебно-методические материалы по изучению вопросов риск-менеджмента состояния устойчивости перевозочного процесса на железнодорожном транспорте в условиях чрезвычайных ситуаций (14 раздел. — С. 92–102) / А.И. Шевченко. — Москва: РАПС РУТ (МИИТ), 2022. — 103 с.

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 представляют в бумажном и электронном вариантах на компакт-дисках, 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** → **Стиль...**). В тексте не должно быть двойных пробелов и двойных абзацев (пустых строк). Все необходимое форматирование (например, расстояние между разделами) можно задавать с помощью тех же стилей, просто установив для стиля заголовка отступы (отбивки) перед и после абзаца.
6. Латинские буквы и простые однострочные формулы вида $A_r = B^2 + CD^2$ набирают прямо в строке MS Word; для вставки одиночных специальных символов, таких как $\leq$, $\geq$, $\pm$, ∞ , $\cup$, $\cap$, $\rightarrow$ и другие, а также греческих букв используется команда меню **Вставка** → **Символ...** (используемый шрифт Symbol). Многострочные сложные формулы, формулы с дробями, корнями, матрицы, векторы, системы уравнений и прочие помещают в документ как объект Microsoft Equation или Math Type 5 (**Вставка** → **Объект...**). Не допускается делить одну формулу на несколько объектов или часть формулы набирать в строке, а часть ее помещать как объект.
7. Любые таблицы набирают непосредственно в MS Word (команда меню **Таблица** → **Добавить** → **Таблица...**), либо в тексте дают заголовок таблицы, а таблицу — отдельным файлом MS Excel. Не допускается набор таблиц в тексте с разделением пробелами или табуляцией и сеткой сделанной инструментами рисования, а также помещение в документ Word'a таблиц Excel.
8. Изображения принимаются в форматах:
 - для фото *.tif (без сжатия или LZW) или *.jpg

(с максимальным качеством), в разрешении 300 dpi при печатном размере;

- для рисунков, схем, графиков *.tif, *.jpg, *.bmp, *.gif, *.eps, MS Visio, Corel Draw, Adobe Illustrator (все надписи должны быть переведены в кривые).

Каждое изображение должно быть представлено отдельным файлом. Если нет возможности качественно отрисовать или отсканировать имеющееся изображение, просьба предоставить оригинал (можно от руки).

9. Допускается включение в текст диаграмм, схем и графиков, в том числе выполненных средствами MS Word, при этом рисунок должен быть помещен в текст как объект.

10. К тексту статьи отдельным файлом прилагают аннотацию (4–7 строк), ключевые слова (5–8 слов) и указывают шифр научной специальности.

11. Необходимо представить следующую информацию об авторах:

- фамилия, имя, отчество;
- ученая степень, звание;
- почетные звания, участие в академиях, сведения о наградах;
- место работы (почтовый индекс, адрес, номера контактных телефонов);
- должность;
- область научных интересов (направление исследований);
- общее количество научных работ;
- количество монографий;
- количество учебников;
- количество патентов.

12. В отдельном файле в цифровом виде следует приложить качественные цветные фотографии авторов размером не менее 400x600 пикселей (см. требования к предоставляемым фото) или, при отсутствии цифровых, фотоснимки на глянцевой бумаге.

13. После рецензирования и проверки рукописи в системе «Антиплагиат» автору(ам) предоставляется Лицензионный договор (в 2-х экз.) с целью его подписания.

14. 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.