

НАУКА И ТЕХНИКА ТРАНСПОРТА



ISSN 2074-9925



Транспорт

Моделирование транспортных процессов

Безопасность деятельности человека

2023 1

Научно-технический журнал

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

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

Адрес редакции:

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

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

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

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

Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ).

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

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

Подписано в печать 23.03.2023.

Усл. печ. л. 15 Тираж 60 экз.
Формат 60×90^{1/8}. Тип. зак. 1

© Наука и техника транспорта, 2023



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

1' 2023

Транспорт

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



Уменьшение электрохимической и микробиологической коррозии в системах водоохлаждения дизелей локомотивов в рамках единой технологии – энергетического метода водоподготовки

8

А.В. Горелик, А.В. Истомина, Е.В. Кузьмина, А.Н. Малых



Об использовании теории игр при оптимизации процесса технической эксплуатации систем железнодорожной автоматики и телемеханики

19

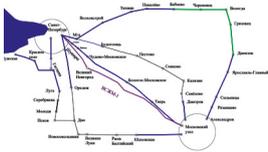
Н.И. Беряков



Анализ вопросов, связанных с проведением экспертизы проектно-сметной документации по объектам инфраструктуры ОАО «РЖД» и пути повышения эффективности экспертных заключений

29

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



Перспективы развития грузовых перевозок на линии Дмитров – Сонково – Мга

34

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



Методика сбора данных о техническом состоянии цельнокатаных колес, находящихся в эксплуатации

41

В.С. Кузьмин, А.К. Табунщиков, А.А. Антонов



Проблема обеспечения функциональной безопасности релейных систем автоблокировки при изменении монтажа оборудования

44

Л.А. Илларионова, А.А. Локтев, С.С. Боков



Динамическое воздействие экипажа на вязко-упругую плиту основания городского транспорта

52



Д.И. Бодриков, Д.А. Акулов, Р.С. Чубов, И.А. Рыбкин, В.П. Смирнов

Безотказность изоляции ТЭД электровозов Восточного полигона

57



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

Некоторые аспекты применения информационных технологий при дистанционном проведении занятий в транспортном вузе

62



Я.Н. Цаплин

Расчет характеристик бетонных и армобетонных аэродромных покрытий по данным натуральных испытаний

69



М.Ю. Куликов, А.С. Шинкарук, Д.Г. Евсеев, А.В. Барышников

Унификация конструкции пассажирских вагонов – важнейшая часть реализации КЖЦ

74



А.Г. Силюта, А.Н. Журавлев

Концепция оценки эффективности автономных локомотивов по критерию энергетической эффективности

78

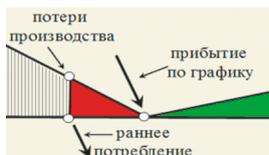
Моделирование транспортных процессов



Д.В. Ефанов, А.В. Пашуков

Синтез устройств управления железнодорожными стрелками с обнаружением неисправностей и функциями самодиагностирования на программируемых логических интегральных схемах

82



П.А. Козлов, В.П. Козлова, М.А. Туманов

Управление транспортными потоками при случайном разбросе в параметрах

90

Безопасность деятельности человека



А.И. Даренских, В.А. Аксенов

Исследование методов обеспечения безопасности труда работников строительного комплекса

96



О.С. Сачкова, А.А. Кириллин, Д.В. Климова

Обеспечение санитарно-эпидемиологической безопасности работников транспортного комплекса

101



В.Э. Андрусов, Н.И. Николайкин

Эволюция оценки влияния человеческого фактора на безопасность деятельности при техническом обслуживании авиатехники

113

Transport

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

Reduction of Electrochemical and Microbiological Corrosion in Water Cooling Systems of Diesel Locomotive Engines within the Framework of Single Technology – Energy Method of Water Treatment. **8**

The article presents the experience of electrochemical and microbiological corrosion removal within the framework of a single technology – the energy method of water treatment in water cooling systems of diesel engines of mainline and shunting locomotives. The ways of further development of this method are proposed.

Key words: water cooling system of diesel locomotive engines, cylinder sleeves, gas distributor mechanism

A.V. Gorelik, A.V. Istomin, E.V. Kuz'mina, A.N. Malykh

On Game Theory Application in Optimizing Technical Operation Process of Railway Automation and Telemechanics Systems **19**

The authors consider the issue of optimizing the technical operation process of railway automation and telemechanics systems with the allocation of financial resources using the game theory methods. The paper gives the definition of the optimization problem in the railway industry and proposes an algorithm for decision-making based on a game-theory approach.

Key words: railway automation and telemechanics, risk, train-hour losses, game theory, optimization

N.I. Beryakov

Analysis of Issues Related to Examination of Design Estimates for Infrastructure Facilities of JSC «Russian Railways» and Ways to Effectiveness Increase of Expert Opinions. **29**

Analysing the most frequently encountered remarks in the design estimates during the comprehensive examination of JSC «Russian Railways» infrastructure facilities the expert team of the Russian University of Transport (RUT (MIIT) has established the distribution of cash savings by cost items based on 100%. The justification of the correctness of decisions taken in the construction organization project accounts for 50% of the cost reduction. The total reduction in the estimated cost of project construction ranged from 7% to 15%, depending on the object type, the design institute, the influence of the construction organization on the design process.

Key words: expert examination, design estimates, remarks, savings, recommendations

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

Prospects for Freight Traffic Development on Dmitrov – Sonkovo – Mga Line **34**

The shortage of the carrying capacity of railway polygons when freight transporting to the port regions is an urgent problem in the conditions of changing the railway transportation market opportunities. The article analyses the options for increasing the carrying capacity of the little used Dmitrov – Sonkovo – Mga mainline, and suggests the ways for the line modernisation to intensify the train traffic.

Key words: carrying capacity, low-intensity line, low-activity line, traffic capacity, electrification

K.A. Sergeev, O.I. Mironenko, O.Y. Krivich

Data Acquisition Methods of Technical Condition of All-Rolled Wheels in Operation. **41**

The article examines the data acquisition methods of the technical condition of all-rolled wheels in operation. An algorithm for obtaining primary basic data on the technical condition of wheels arriving at the depot for survey is shown. A sample of filling in a full-scale wheel sheet is given.

Key words: technological processes, rolling stock, technological documentation, car repair manufacture

- V.S. Kuz'min, A.K. Tabunshchikov, A.A. Antonov**
Functional Safety Problem of Relay Automatic Block Systems when
Equipment Installation Changing. **44**
- The article deals with the issues of ensuring the functional safety of interval train control systems by the example of a numerical code automatic block system. The key requirements for technical solutions with the aim of eliminating cases of false block unoccupancy due to changes in the equipment installation are formulated on the base on the results of the analysis.
Key words: interval control, railway automation and telemechanics, operation algorithm change
- L.A. Illarionova, A.A. Loktev, S.S. Bokov**
Dynamic Impact of Crew on Viscoelastic Base Plate of Urban Transport **52**
- The article deals with the problems of determining the dynamic behaviour of plane elements with various rheological properties, including anisotropic properties. The track structure of the ballastless rail track or light rail urban transport is made of such elements as the reinforced concrete component.
Key words: urban transport, ballastless base, elastic wave, mathematical model, dynamic load
- D.I. Bodrikov, D.A. Akulov, R.S. Chubov, I.A. Rybkin, V.P. Smirnov**
Insulation Reliability of Traction Electric Engines of Electric Locomotives of Eastern Polygon **57**
- It is revealed that the weakest node of traction electric engines of electric locomotives of the East Siberian Railway and the Krasnoyarsk Railway of the Eastern Polygon is insulation. The authors found the dependences of reliability of winding insulation on air temperature, and it allows determining the state of winding insulation of traction electric engines of electric locomotives of the Eastern polygon depots.
Key words: Eastern polygon of Russian Railways, electric locomotives of alternating current, traction electric engines, insulation of windings
- V.A. Bugreev, A.P. Chekhov, R.M. Nigay, P.A. Chekhov**
Some Aspects of Information Technology Application in Distance Learning
at Transport University. **62**
- The article proposes the overview of the currently used means of telecommunications, electronic editions and so on which make possible to avoid the existing disadvantages of traditional forms of education. It gives an opportunity to raise the educational process to a new level. The psychological and pedagogical aspects of studies that meet the requirements of the time are considered.
Key words: digital technologies, educational work, electronic emulator
- Ya.N. Tsaplin**
Calculation of characteristics of Concrete and Reinforced Concrete Airfield Pavements
According to Full-Scale Tests **69**
- The article is devoted to the development of a method for determining the actual characteristics of concrete and reinforced concrete airfield pavements. The author presents a concept calculating the coefficient of subgrade reaction and the rigidity of the slab section based on the results of full-scale tests taking into account their probabilistic and statistical variability.
Key words: airfield, coefficient of subgrade reaction, rigidity, pavement, strength properties, elastic characteristic of the slab
- M.Yu. Kulikov, A.S. Shinkaruk, D.G. Evseev, A.V. Baryshnikov**
Unification of Passenger Car Design is the Most Important Part
of Life Cycle Contract Realisation **74**
- The authors consider the issues of the realisation of the life cycle contract on the example of the unification of passenger car designs taking into account the deficiency of the applied system of repair and maintenance of passenger cars in the conditions of repair enterprises.
Key words: passenger car, personnel, costs, unification, model, design, life cycle contract

A.G. Silyuta, A.N. Zhuravlev

Concept for Efficiency Evaluating of Autonomous Locomotives by Energy Efficiency Criterion . . . **78**

The evaluation of the efficiency of autonomous locomotives at the design and operation stages is one of the key tasks for the locomotive complex of JSC «Russian Railways». The aim of this article is to establish the basics of a fundamentally new concept for the efficiency evaluating of diesel locomotives which allows objectively taking into account the technical perfection of the power installation and the operation rate of the diesel locomotive.

Key words: autonomous locomotive, efficiency, traction calculations, performance indicators, train operation

Modelling of transport processes

D.V. Efanov, A.V. Pashukov

Synthesis of Railway Switch Control Devices with Fault Detection and Self-Diagnosis Functions on Programmable Logic Integrated Circuits. **82**

The article proposes a method for synthesizing control systems for railway automation and telemechanics objects on a programmable element base with integration with the external diagnostic and monitoring tools. The connection allows endowing the synthesized device with the property of signalling about emerging malfunctions, including the property of monitoring the pre-failure state.

Key words: railway automation and telemechanics, railway switch, pre-failure condition control

P.A. Kozlov, V.P. Kozlova, M.A. Tumanov

Traffic Flow Operation with Random Spread in Parameters **90**

The article deals with the problem of rational interaction of production and transport with a random spread in the duration of transportation and in the rhythms of work of consignees. The authors propose to use a dynamic transport problem. The technology of calculating the optimal point of arrival at a minimum of total losses is given.

Key words: transport problem, probability, optimization, interaction losses, traffic flow operation

Safety of human activity

A.I. Darenskikh, V.A. Aksenov

Research of Safety Control Methods of Construction Complex Workers. **96**

The article reflects the authors' point of view on the need to study methods of the safety control of construction complex workers, as well as the estimated requirement to improve the management of occupational safety and health focusing this process only on prevention and strengthening control functions in the field of occupational safety and health, while emphasizing the responsibility of all interested parties in social and industrial relations.

Key words: occupational safety management system, safe working conditions, construction

O.S. Sachkova, A.A. Kirillin, D.V. Klimova

Ensuring Sanitary and Epidemiological Safety of Transport Complex Employees. **101**

The compliance with sanitary and epidemiological standards on construction sites during a pandemic leads to the need to modify personal protective equipment to increase the quality of infectious protection of workers. Such need poses the task of developing new approaches to the development of special clothing.

Key words: overalls (working clothes), labour protection, sanitary and epidemiological safety, safety, construction

V.E. Andrusov, N.I. Nikolaykin

Assessment Evolution of Human Factor Impact on Aircraft Maintenance Safety **113**

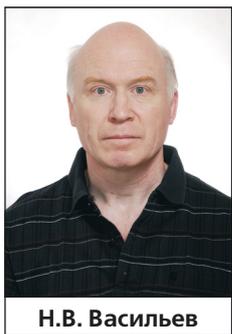
Taking into account for human factor impact on transport accidents has a centuries-old history. When servicing aircraft the incidents and accidents occur annually due to unsafe actions of personnel, as well as shortcomings in the interaction of services. Approaches to ensuring safety in air transport can be applied in other branches of transport.

Key words: transport, aircraft engineering, safety, human factor, maintenance, resource management

УМЕНЬШЕНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ И МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОЙ КОРРОЗИИ В СИСТЕМАХ ВОДООХЛАЖДЕНИЯ ДИЗЕЛЕЙ ЛОКОМОТИВОВ В РАМКАХ ЕДИНОЙ ТЕХНОЛОГИИ – ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО МЕТОДА ВОДОПОДГОТОВКИ



М.Н. Торопов



Н.В. Васильев

В статье представлен опыт устранения электрохимической и микробиологической коррозии в рамках единой технологии – энергетического метода водоподготовки (ЭМВ) в системах водяного охлаждения дизелей магистральных и маневровых тепловозов. Предложены пути дальнейшего развития метода.

Ключевые слова: система водяного охлаждения дизелей тепловозов, втулки цилиндров, механизм газораспределителя

EDN: ARBGHA

Эксплуатационная проверка энергетического метода водоподготовки на системах водяного охлаждения дизелей локомотивов приписки локомотивного депо Люблино Московской железной дороги

ЭМВ были обработаны секции тепловозов 2М62У №0083, №0037, №0042, ЧМЭЗ №2839. Причем, эксплуатация секций указанных тепловозов после обработки проходила при очень низких температурах (-36°C) [1]. Используемая в системах охлаждения охлаждающая жидкость (ОЖ) – штатная с приме-

нением и без применения нитрито-фосфатной присадки без щелочи.

5 декабря 2006 года, через год после обработки, обработанные и необработанные секции тепловоза 2М62У №0083 осматривались при вскрытии в депо Унеча Московской железной дороги.

Основной задачей испытаний являлась проверка возможности применения разработанной технологии для повышения ресурса безопасной эксплуатации; исследования технологического и экологического эффекта от ее применения. Результаты обработки водяной системы тепловоза по разработанной тех-

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

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 более 10 научных работ.

Селиванов Александр Сергеевич, старший преподаватель кафедры «Теплоэнергетика железнодорожного транспорта» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: системы тепло- и водоснабжения, водно-химический режим источников теплоты, тепловых сетей, систем теплопотребления и водоснабжения, водоподготовка. Автор более 50 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.

М.Н. Торопов, Н.В. Васильев, А.С. Селиванов, И.Е. Перков
«УМЕНЬШЕНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ И МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОЙ КОРРОЗИИ
В СИСТЕМАХ ВОДООХЛАЖДЕНИЯ ДИЗЕЛЕЙ ЛОКОМОТИВОВ В РАМКАХ ЕДИНОЙ
ТЕХНОЛОГИИ – ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО МЕТОДА ВОДОПОДГОТОВКИ»

нологии были получены при вскрытии 4–6 декабря 2006 года в депо Унеча цилиндропоршневых групп и сравнительном комиссионном осмотре элементов водяной системы секции А (необработанной ремонтным составом) и секции Б (обработанной) тепловоза 2М62У №0083 (рис. 1–4). После обработки в ноябре 2005 года тепловоз более 12 месяцев находился в эксплуатации. Результаты сравнительного осмотра представлены в табл. 1.

Анализируя данные, полученные за время проведения испытаний на водяной системе охлаждения дизеля тепловозов, можно сделать следующие выводы:

1. Не разрушаются элементы водяной системы тепловоза. Ремонтный состав не мешает обычной эксплуатации локомотива даже при низких отрицательных температурах (-36°C).

2. Водяная система локомотива не засоряется продуктами отмытки в процессе эксплуатации. Для усиления эффекта очистки и исключения аварийных

ситуаций в водяных системах с различной степенью их загрязнения в дальнейшем, по мнению авторов, целесообразно предусмотреть установку фильтров-циклонов.

3. Ремонтный состав очищает от отложений и накипи водяную систему тепловоза. Доза ремонтного состава и технология обработки являются индивидуальными для каждой марки тепловоза и особенностей его штатной эксплуатации.

Как показывает опыт эксплуатации тепловозов, в течение одного года в водяной системе охлаждающая вода меняется в среднем 4–5 раз, секции холодильников подвергаются очистке по 2–3 раза в год, так как наличие накипи на втулках цилиндра ухудшает теплообмен. Это приводит к лишнему расходу моторного масла и дизельного топлива. Считается, что при правильной работе топливной аппаратуры и загрязненной рубашке охлаждения цилиндров теряется около 5% от расхода моторного масла и перерасходуется от 0,5

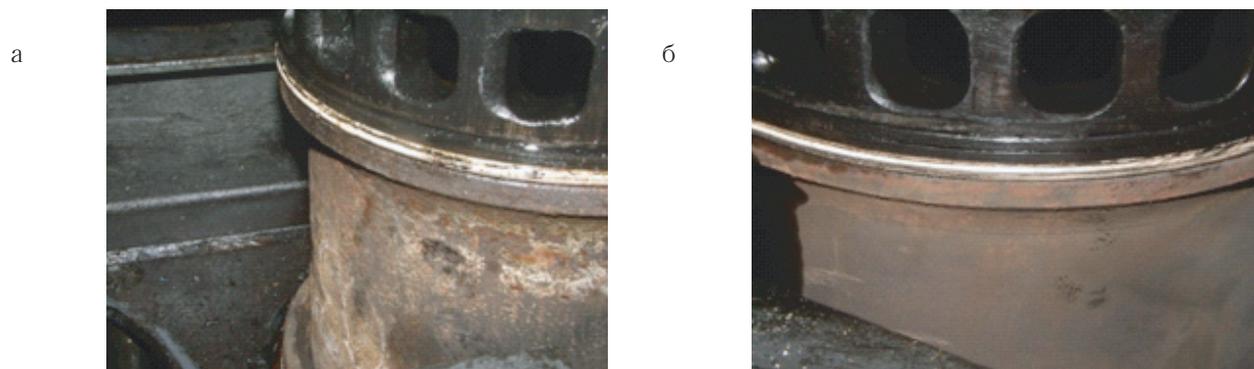


Рис. 1. Состояние втулок цилиндров до (а), после обработки и года эксплуатации (б)

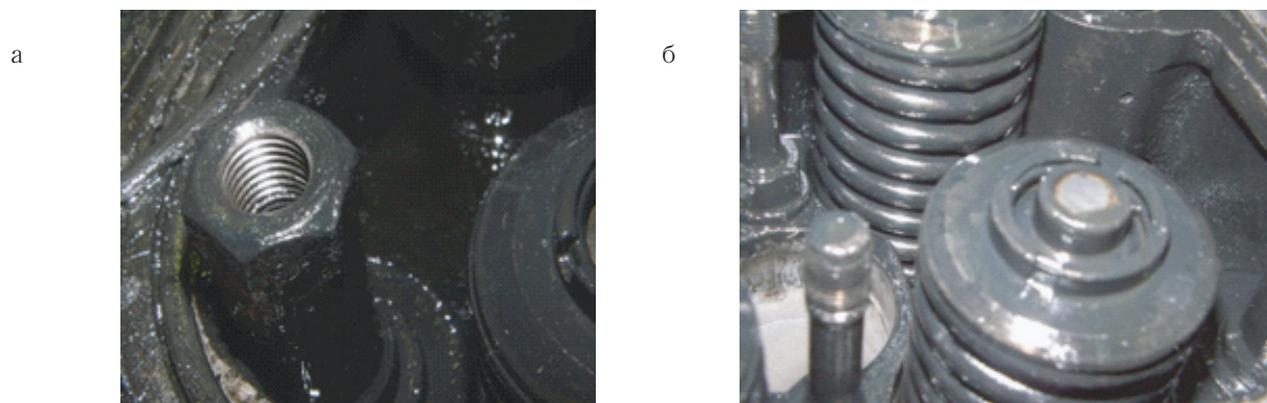


Рис. 2. Состояние элементов механизма газораспределителя до обработки (видны вязкие отложения) (а), после обработки и года эксплуатации (б). Механизм газораспределителя с водой не контактирует

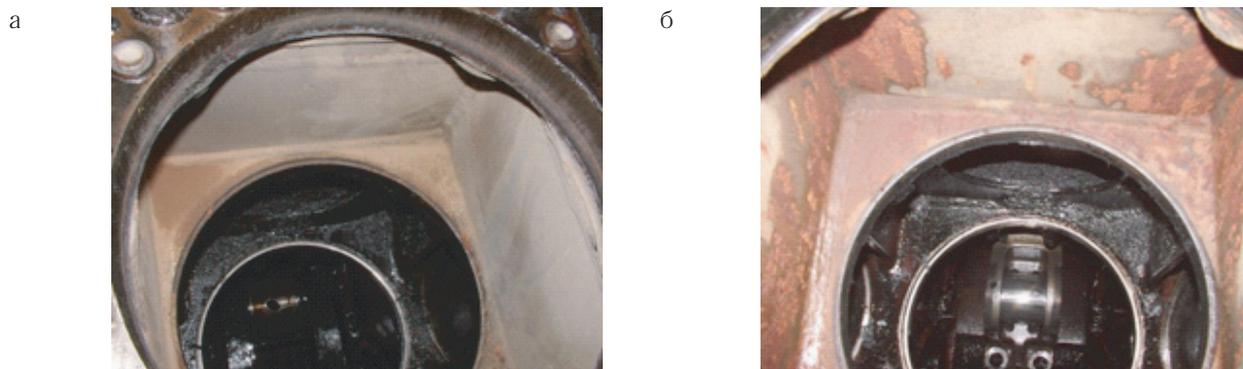


Рис. 3. Состояние рубашек охлаждения цилиндров до (а), после обработки и года эксплуатации (б)



Рис. 4. Состояние секций холодильника до (а), после обработки и года эксплуатации (б)

до 1,0% дизельного топлива. К сожалению, учесть расход горюче-смазочных материалов от пробега при работе тепловозов в депо Люблино было затруднительно (тепловозы в основном выполняли маневровую работу). Поэтому, в качестве примера рассмотрим работу секции тепловоза 2М62У №0070 (секция А), работающего на Забайкальской железной дороге в депо Борзя. За 6 месяцев работы пробег тепловоза составил 35304 км, за это время было истрачено (на простой и на тягу) 148320 литров топлива и 1160 литров моторного масла (М14В₂). При прочистке водяной системы экономия по маслу могла составить $1160 \times 0,05 = 58$ литров масла, что при средней его цене 20 рублей/литр составит 1160 рублей. Экономия от пережога топлива в этом случае $148320 \times 0,01 = 1483,2$ литра, что при средней цене 18 руб./литр составит около 27000 рублей за 6 месяцев.

Годовой экономический эффект от очистки (забитой отложениями) водяной системы тепловоза составит около 56000 рублей. В эту сумму не вошел экономический эффект на упрощение технологического процесса ремонта и эксплуатации дизеля (расходы на подготовку и смену воды, которые должны быть про-

изведены на необработанной системе, смену и ремонт забитых секций холодильника и пр.), увеличение безаварийного срока службы водяной системы.

Окупаемость обработки 12–14 месяцев. Точно оценить экономический эффект от очистки водяной системы локомотива с применением разработанной технологии можно только экспериментальным методом путем обработки водяных систем достаточно большого количества локомотивов (желательно в одном депо) со строгим контролем расхода топлива, моторного масла, пробега и выполненной поездной работы.

Энергетический метод водоподготовки для уменьшения процессов электрохимической и микробиологической коррозии

В период с 04.04.2018 г. по 22.05.2019 г. проведены обработка с применением ЭМВ и наблюдения за системой охлаждения дизеля тепловоза ТГМ4 №1989 в АО «Подольское ППЖТ», о чем был составлен соответствующий акт. Обработка тепловоза проведена без вывода его из эксплуатации и нарушения сроков регламентных работ.

Таблица 1

**Результаты осмотра водяной системы тепловоза 2М62У №0083 в депо Унеча
 (секции Б, обработанной с применением ЭМВ и секции А, необработанной)**

№ п/п	Наименование	Секция А	Секция Б	Результаты сравнения
1	Втулки цилиндров	На поверхности охлаждения втулок наблюдается равномерный налет толщиной от 0,5 до 1,0 мм светло-серого цвета, плотный, прочно сцепленный с металлом.	Поверхности охлаждения практически чистые	Обработка с применением ЭМВ очищает поверхность охлаждения от накипно-коррозионных отложений
2	Поршни	На головках поршней наблюдается равномерный нагар толщиной до 1,5 мм		—
3	Компрессионные кольца	Компрессионные кольца находятся в рабочем состоянии		—
4	Маслосъемные кольца	На кольцах 2 и 4 левых цилиндров наблюдаются вязкие отложения	Кольца в рабочем состоянии	На секции Б маслосъемные кольца выглядят чище
5	Рубашка охлаждения цилиндров	На смачиваемой поверхности плотные, толщиной до 0,2 мм равномерные отложения серого цвета с бугорками высотой до 1,5 мм	На смачиваемой поверхности обширные чистые области (до 80%). В локализованных зонах с пониженной скоростью воды наблюдаются рыхлые, легкоудаляемые отложения бурого цвета	Обработанная поверхность выглядит чище
6	Трубопроводы водяной системы	Трубопроводы практически чистые		—
7	Секции холодильника	Унифицированная секция – время пролива 38 секунд. Водяная секция – время пролива 129 секунд (после очистки 68 секунд)	Унифицированная секция – время пролива 33 секунды. Водяная секция – время пролива 39 секунд	Холодильник на секции Б значительно чище
<i>Примечание.</i> Состояние холодильника определялось на проливочном стенде. Идентичные по конструкции и месту установки секции проливались водой без предварительной очистки.				

В качестве эксперимента система охлаждения работала на неподготовленной воде, состав которой приведен в табл. 2. Антикоррозионные присадки не вносились.

При изучении коррозионных процессов в системе охлаждения дизелей тепловозов [1] отмечено два вида коррозии: электрохимическая и микробиологическая, обусловленная жизнедеятельностью различных бактерий. Следы биокоррозии обнаружены непосредственно прикрепленными к поверхности конструкции

(рис. 5) и мигрирующими вместе с транспортирующей их водой. Особенно четко этот вид представлен на образцах-индикаторах, находящихся более 1,5 месяцев в системе водяного охлаждения дизеля тепловоза (рис. 6). Как показал опыт, увеличение количества этой группы отложений особенно интенсивно происходит в пластиковых сетях при использовании низкозамерзающих жидкостей.

О том, что эти бактерии жизнеспособны до $t=80-85^{\circ}\text{C}$, свидетельствуют работы специали-

Таблица 2

**Результаты химического анализа воды в системе охлаждения
дизеля тепловоза до обработки ЭМВ**

№ п/п	Показатели	Значения	Нормативы Минтранса России
1	pH, 26°C	8,95	10,8–11,2
2	Взвеси, мг/л	0,85	0,0
3	Жесткость J_0 , мг-эquiv./л	3,25	2,15
4	Ca^{2+} , мг/л	20,00	
5	Mg^{2+} , мг/л	27,40	
6	$Fe_{\text{общ}}$, мг/л	0,24	
7	Щелочность $Щ_0$, мг-эquiv./л	2,24	1,5–2,5
8	HCO_3^- , мг/л	125,70	
9	CO_3^{2-} , мг/л	5,40	
10	Cl^- , мг/л	39,20	≤30,0
11	SO_4^{2-} , мг/л	2,20	
12	Na^+ , мг/л	3,30	
13	S, мг/л	223,40	
14	I_k , (мг-эquiv./л) ²	2,24	
15	pH, при 20°C при 80°C	8,03 7,16	
16	J_R , при 20°C при 80°C	7,11 5,02	

стов института микробиологии РАН [2;3]. Бактерии заведомо присутствуют как в тепловых сетях, так и в системах водяного охлаждения дизелей тепловозов.

Поперечный разрез бугорка биоржавчины представлен на рис. 5. Он состоит из налета живых бактерий и продуктов их жизнедеятельности (довольно прочных). Биоржавчина значительно уменьшает теплоотдачу материала. Создаются идеальные условия для развития под бугорком электрохимической коррозии. Кроме того, возникают термические напряжения, исчерпываются упруго-пластические свойства материала и происходит разрушение конструкции [4].

В результате применения ЭМВ происходит размытие бугорков биоржавчины и образование по поверхности металла защитного слоя. Эффект особенно ощутим при сравнении внешнего вида конструкции до и после обработки (рис. 7). Через 3 месяца после ЭМВ толщина отложений составляла 10–15 мм, через 12 месяцев – 2...5 мм.

Также известно, что электрохимическая коррозия устраняется ингибиторами, а микробиологическая

– окислителями (хлор и его соединения) [5], т.е. с применением диаметрально противоположных технологий. В вышеуказанные добавки, применяемые, в частности, в водяных системах локомотивов, вводят ингибиторы, а они усиливают биокоррозию, тем самым способствуя разрушению конструкций.

О прекращении жизнедеятельности железистых бактерий в результате применения ЭМВ в системе водоохлаждения дизеля испытуемого тепловоза свидетельствует кратное уменьшение содержания остаточного железа с 11,4 до 0,03 мг/л за год, а также результаты микробиологических исследований.

При этом скорость электрохимической коррозии (рис. 8) была снижена в 4 раза. Скорость слива (что свидетельствует об очистке системы) увеличена с 0,294 до 0,748 л/с. Расчетный показатель суммарного эффективного сечения трубок вырос с 9 до 66% (рис. 8).

Это хорошо коррелируется с характером температурных полей работающих радиаторов через 12 месяцев после применения ЭМВ (рис. 9).



Рис. 5. Размытие «колпаков» микробиологической коррозии в результате применения ЭМВ

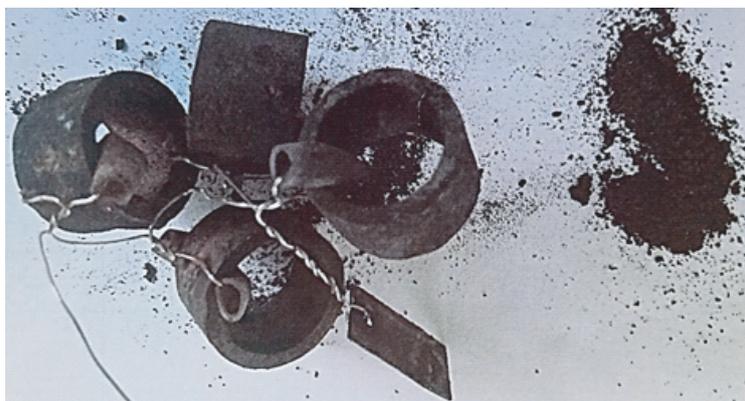


Рис. 6. Вид биокоррозии на образцах-индикаторах, извлеченных из систем водяного охлаждения через 1,5 месяца после их постановки

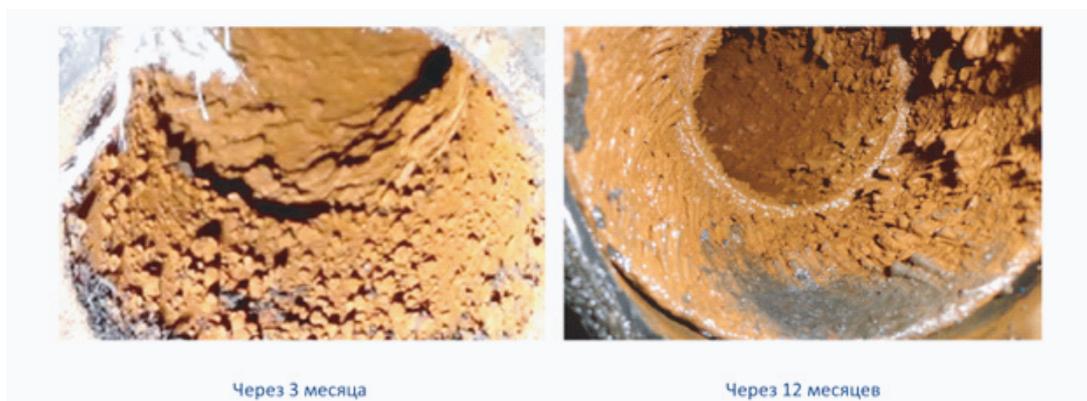


Рис. 7. Сравнительное состояние трубы подачи воды от дизеля к радиаторам через 3 и 12 месяцев после обработки

Для сравнения в состав системы были введены два новых радиатора (см. поз. 7,10 рис. 9).

Перепад температур между верхними и нижними точками работающих радиаторов до обработки составлял 0,9–1,65°C, т.е. практически работали только два новых радиатора. После обработки 5–7°C. Не в полной мере работоспособны только три радиатора из 16. Но при этом процесс очистки продолжался.

Характеристики охлаждающей воды приведены в соответствии с нормативами Минтранса России. В частности, жесткость после ЭМВ составила 1,2 мг-экв/л при допустимой 2,5 мг-экв/л; содержание взвесей – 0.

Общий вид маслоохладителя и состояние в местах подключения радиаторов после ЭМВ приведены на рис.10,11.

В самом дизеле выявлено появление защитной пленки под отложениями. Отмечено, что при использовании воды гидрокарбонатного класса отложения в

системе двухслойные. Прилегающий к металлу слой чисто накипной, состоящий из солей кальция и магния и поверхностный слой с преобладанием соединений железа (рис. 12). Он наиболее трудно удаляем, его толщина 0,5–0,6 мм при общей толщине слоя 1,2 мм.

Для сравнения приведено состояние парового котла, работающего на воде гидрокарбонатного класса, отапливаемого углем. При использовании ЭМВ в течение года была получена экономия угля в размере 300 тонн.

В результате работ установлено, что качество исходной воды не влияет на получение окончательных положительных результатов и приводится в соответствие с существующими нормативными документами в результате экологичной обработки с применением ЭМВ. Система очищается и консервируется на длительное время (5–7 лет при однократной обработке) от воздействия электрохимической и микробиологиче-

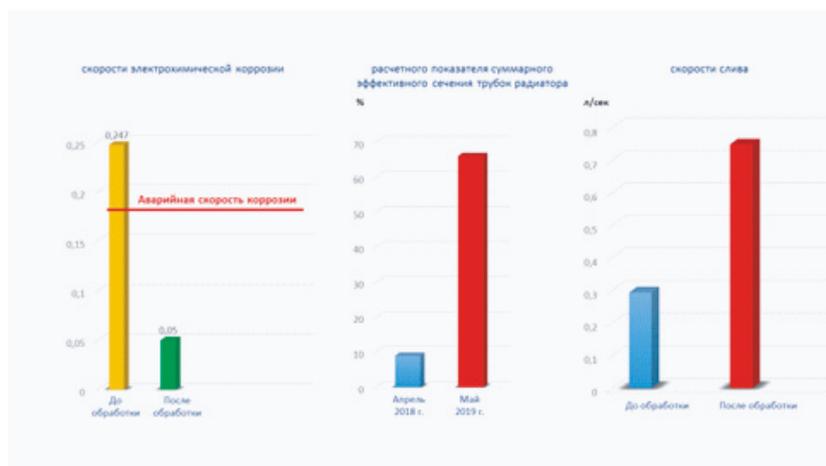


Рис. 8. Динамика изменений в результате обработки скорости электрохимической коррозии, расчетного показателя суммарного эффективного сечения трубок радиатора и скорости слива в течение 12 месяцев после применения ЭМВ

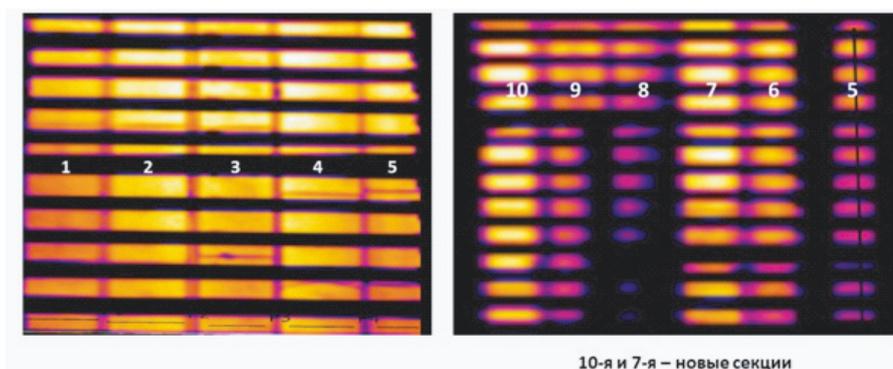


Рис. 9. Температурные поля работающих радиаторов через 12 месяцев после применения ЭМВ



Рис. 10. Общий вид маслоохладителя после обработки, гидравлической промывки и механической очистки

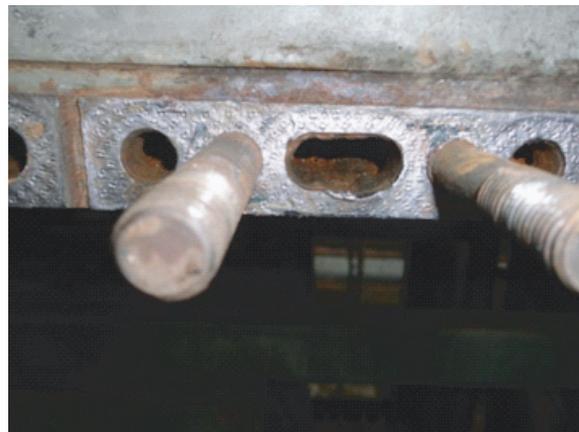


Рис. 11. Состояние системы в местах подключения радиаторов после обработки



Рис. 12. Особенности очистки отложений системы водоохлаждения тепловоза (парового котла) при использовании воды кальций-гидрокарбонатного класса

ской коррозии в рамках единой технологии, и совершенно не обязательно создавать для этого рН равным 10,8–11,2. При этом не разрушаются любые конструкционные материалы: черные цветные металлы, в том числе алюминий и их сплавы, пластики, керамика, резинотехнические изделия.

По сравнению с Инкорт-8МЗ годовые затраты на применение ЭМВ более чем в два раза ниже [6].

Пути развития ЭМВ для систем водоохлаждения дизелей тепловозов

Следует отметить, что метод совместим с применением ингибиторных присадок. Совместимость его с нитрито-фосфатной присадкой без щелочи проверена на 4 системах водоохлаждения дизелей тепловозов 2М62У и ЧМЭЗ в 2005–2006 годах.

Совместимость с Инкорт-8МЗ и низкотемпературной жидкостью марки 40 (ГОСТ 159-52) рекомендованной для тепловозных двигателей в зимнее время

определялось по относительной плотности пробы того и другого компонента с энергентом по отношению к плотности пробы нового Инкорт-8МЗ и низкотемпературной жидкости. Было экспериментально доказано, что энергент (химически нейтральный состав) не взаимодействует химически и физически с компонентами Инкорт-8МЗ и низкотемпературной жидкости, в том числе не разрушая присадок. Энергент также не растворяется в воде и указанных составах.

Кроме того, состав низкотемпературной жидкости марки 40 с энергентом проверен при обработке ЭМВ вагонов состава поезда «Невский экспресс» на Октябрьском электровагоноремонтном заводе (ОЭВРЗ) (рис. 13).

Результаты работ были представлены на третьей научно-практической конференции «Перспективы развития сервисного обслуживания локомотивов» 11–12 октября 2018 года [7]. После этого в 2019 году от руководства ООО «ЛокоТех» было направ-



Рис. 13. Использование ЭМВ при капитальном ремонте систем теплоснабжения пассажирских вагонов на ОЭВРЗ

лено в РУТ (МИИТ) письмо о возможности проведения совместных работ (НИОКР) по данному вопросу и заключения договора по проекту «Экологическая защита систем водяного охлаждения тепловозов». Разработана программа испытаний для проверки метода на базе сервисного локомотивного депо Тюмень (СЛД Тюмень) на локомотивах серий: ТЭП70, ТЭМ18ДМ, ТЭМ7, 2ТЭ116 с выделением 16 секций. Для определения успешности испытаний рекомендованы такие технологические показатели, такие как скорость коррозии и количество железа в хладагенте. Последний из указанных параметров определяет наличие в системе микробиологической коррозии.

Разработан план испытаний. Предусмотрена отчетность, определяющая динамику процессов в водяной системе. Для проведения работ авторами были предоставлены результаты отказов систем водяного охлаждения дизелей тепловозов в СЛД Тюмень за 2018 год, образцы заправляемой в системы воды, присадок за различные этапы эксплуатации с целью определения научно-технологического подхода к проблеме. Практически это был второй выход на локомотивы, через 13 лет после первого, когда, имея качественный и экологичный продукт, мы не получили дальнейшего выхода к проблеме. Но тогда «шел» Инкорт-8МЗ. Дальнейшая работа под вопросом.

Но целым рядом работ, проводимых в институте микробиологии РАН доказано, что микробиологическая коррозия существует и при температурах 80–85°C. Процессы коррозии разрушительны для конструкционных материалов, в том числе и для алюминиевых конструкций. Ингибиторные комплексы, справляясь с электрохимической коррозией, только усиливают микробиологическую. Причем высокие требования к качеству воды остаются те же.

В рамках единой технологии на сегодняшний день с двумя видами коррозии может экологично совладать только отечественный энергетический метод водоподготовки — ЭМВ, за вышеупомянутые 13 лет вышедший на другой, более качественный уровень развития. Следует отметить, что и новые разработанные ингибиторные комплексы не отменяют высоких требований к качеству заправляемой воды.

Путем дальнейшего развития данного метода в системах охлаждения дизелей локомотивов может стать выполнение уже разработанного конкретного плана по экологической защите систем водяного охлаждения двигателей тепловозов.

Это даст возможность выполнения нескольких задач:

- во-первых, на базе депо, в том числе и ОАО «РЖД», создать с минимально возможными затратами пункты получения (с применением ЭМВ) воды питьевого качества с кратно уменьшенными коррозионностью и интенсивностью накипеобразования. Использовать полученную воду как для нужд самих ремонтных предприятий, железнодорожных поселков, так и для заправки водой подвижного состава (пассажирских вагонов и систем водоохлаждения дизелей тепловозов);

- во-вторых, использовать метод для очистки систем водоохлаждения дизелей тепловозов, в том числе и устаревших модификаций от продуктов взаимодействия ОЖ с металлом при различных методах водоподготовки. Добиться консервации системы, защиты ее от электрохимической и микробиологической коррозии при капитальных и депо-ремонтах. Использовать положительные аспекты применения ингибиторных комплексов.

Это позволит значительно снизить стоимость и продолжительность капитальных и депо-ремонтных работ.

Причем технико-экономическое обоснование применения ЭМВ для антикоррозионной и антиадгезионной обработки систем водяного охлаждения дизелей локомотивов при капитальных и деповских ремонтах было в свое время предоставлено в ООО «ЛокоТех».

Заключение

1. Одной из причин выхода из строя систем водоохлаждения дизелей тепловозов являются коррозионные разрушения. В сводной инструкции по приготовлению и применению охлаждающей жидкости ПКБ ЦТ. 25.0088 указано 6 видов ингибиторных комплексов, предназначенных для решения этой проблемы, в том числе и Инкорт-8МЗ и DIESSAFE 120. Причем разработка последних не отменила высоких требований к качеству заправляемой в систему воды.

2. Рассматривая процессы внутренней коррозии в системах водоохлаждения дизелей тепловозов, следует учитывать как процессы электрохимической, так и микробиологической коррозии, вызываемой различными бактериями и грибами.

3. В соответствии с работами ученых Института микробиологии РАН им. С.Н. Виноградского микробиологическая коррозия весьма активна до температур 80–85°C, т.е. бактерии, жизнедеятельность которых приводит к коррозионным разрушениям конструкционных материалов присутствуют в системах водоохлаждения в период их эксплуатации.

4. Микробиологическая коррозия устраняется окислителями, а электрохимическая – ингибито-

рами. Известно, что ингибиторы усиливают микробиологическую коррозию. Именно этот фактор недооценивался при разработке вышеупомянутой инструкции.

5. В рамках единой технологии с двумя видами коррозии (микробиологической и электрохимической) справляется разработанный учеными-железнодорожниками ЭМВ. Он приводит качество воды, заправляемой в системы в соответствие с нормативными документами, кратно уменьшая при этом коррозионность среды и интенсивность ее накопления.

6. Метод применим для широкого спектра конструкционных материалов и совместим с любым видом охлаждающей жидкости. Может быть использован при капитальных и деповских ремонтах в открытых, закрытых системах; для новых объектов, а также находящихся в длительной эксплуатации.

7. Применение ЭМВ осуществляется без вывода обрабатываемого оборудования из эксплуатации.

8. Обработка осуществляется одним циклом (с возможной корректировкой) на срок 5–7 лет.

9. ЭМВ является самым экономичным способом устранения причин коррозионных разрушений по сравнению с существующими. Так, по сравнению с Инкорт-8М годовые затраты на применение ЭМВ более чем в 2 раза ниже.

10. ЭМВ в полной мере соответствует требованиям ГОСТ 10150-88 Двигатели судовые, тепловозные и промышленные. Общие технические условия [8]. 

Литература

1. Торопов, М.Н. Энергетический метод водоподготовки (ЭМВ) для повышения надежности и ресурса систем водоохлаждения дизелей тепловозов / М.Н.Торопов, Н.В.Васильев, А.С.Селиванов. –Текст: непосредственный // Промышленный транспорт XXI век. –2019. –№3–4.
2. Розанова, Е.П. Распространение сульфатвосстанавливающих бактерий в трубопроводах тепловой сети и причины появления в воде сероводорода / Е.П. Розанова, Л.А.Ентальцева. –Текст: непосредственный // Микробиология. –1999. –Т. 68, №1. –С. 100–106.
3. Микроорганизмы в тепловых сетях и внутренняя коррозия стальных трубопроводов / Е.П. Розанова [и др.]. –Текст: непосредственный // Микробиология. –2003. –Т.72, №2. –С. 212–213.
4. 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.
5. Воинцева, И.И. Продление периода эксплуатации трубопроводов, систем водоохлаждения из стальных и чугунных труб / И.И.Воинцева, М.Г.Новиков, О.А.Продоус. –Текст: непосредственный //Инженерные системы. –АВОК Северо-Запад. –2019. –№1. –С. 44–47.
6. Новые ресурсосберегающие экологичные технологии повышения надежности и ресурса систем водоохлаждения дизелей локомотивов, водопроводных и энергетических систем ремонтных предприятий / М.Н Торопов, В.М. Круглов, В.З. Кокоткин, А.С. Селиванов, И.Е. Перков, Н.В. Васильев. –Текст: непосред-

ственный // Перспективы развития сервисного обслуживания локомотивов: материалы 3-й научно-практической конференции. – Москва: «ЛокоТех», 2018. – С. 380–384.

7. Энергетический метод водоподготовки применительно к объектам транспорта / М.Н. Торопов, П.П. Бегунов, И.Е. Перков, А.С. Селиванов, Н.В. Васильев. – Текст: непосредственный // Наука и техника транспорта. – 2022. – №2. – С. 26–33.

8. ГОСТ 10150-88 Двигатели судовые, тепловозные и промышленные. Общие технические условия = Marine, locomotive and industrial engines. General: государственный стандарт Союза ССР: утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 15.12.88 №4130: взамен ГОСТ 4393-82 и ГОСТ 10150-82 / разработан Министерством тяжелого, энергетического и транспортного машиностроения СССР. – Москва: Издательство стандартов, 1989. – Текст: непосредственный.

9. ГОСТ 10150-2014 Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Общие технические условия Reciprocating internal combustion engines. General specifications: межгосударственный стандарт: издание официальное: принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 14 ноября 2014 г.) №72-П: дата введения 2016-01-01 / разработан Обществом с ограниченной ответственностью «Центральный научно-исследовательский институт (ООО ЦНИДИ)». – Москва: АО «Кодекс», 2022. – Текст: непосредственный.

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕОРИИ ИГР ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ

Рассмотрен вопрос оптимизации процесса технической эксплуатации систем железнодорожной автоматики и телемеханики с распределением финансовых ресурсов при помощи методов теории игр. Приведена постановка задачи оптимизации в железнодорожной отрасли, а также составлен алгоритм принятия решения на основе теоретико-игрового подхода.

Ключевые слова: железнодорожная автоматика и телемеханика, риск, потери поездо-часов, теория игр, оптимизация

EDN: QEEKIF

Как известно, основная задача систем железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ) заключается в обеспечении потребной пропускной способности участков железных дорог и железнодорожных станций, а также нормативного значения уровня безопасности движения поездов. Нормативное значение уровня безопасности определяется установленными значениями интенсивностей опасных отказов для различных систем ЖАТ. В свою очередь фактическое значение наличной пропускной способности должно быть больше или равно значению потребной пропускной способности рассматриваемого железнодорожного участка или станции [1].



А.В. Горелик



А.В. Истомин

Помимо технической оснащенности железнодорожного участка и функционального ресурса систем ЖАТ [2] на фактическую величину наличной пропускной способности влияют две случайные величины: интенсивность отказов систем ЖАТ и время восстановления после отказа. Значения этих показателей в совокупности влияют на величину потерь поездо-часов, вызванную отказами систем ЖАТ. Технический риск, связанный с функционированием систем ЖАТ, представляет собой произведение [3]:

$$R_3(t) = P_3(t) \cdot T_{30}(t), \quad (1)$$

Горелик Александр Владимирович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Системы управления транспортной инфраструктурой» Российского университета транспорта (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.

Истомина Елена Владимирович, ассистент кафедры «Системы управления транспортной инфраструктурой» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: эффективное распределение ограниченных ресурсов систем железнодорожной автоматики и телемеханики с разработкой программных продуктов решения задачи оптимизации. Автор 13 научных работ.

Кузьмина Елена Витальевна, аспирант кафедры «Системы управления транспортной инфраструктурой» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: повышение эксплуатационных характеристик объектов транспортной инфраструктуры, а также разработка методов оценки эффективности сервисного обслуживания. Автор девяти научных работ.

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

где $P_3(t)$ – вероятность возникновения отказа системы ЖАТ за заданный интервал времени;

$T_{30}(t)$ – потери поездо-часов из-за возникших отказов за заданный интервал времени.

На железнодорожном транспорте, в соответствии с отраслевыми нормативами, различают три категории отказов в зависимости от величины ущерба, связанного с этими отказами [4]. Отказы третьей категории существенного влияния на перевозочный процесс не оказывают. Таким образом, формулу (1) можно представить с учетом только первых двух категорий отказов систем ЖАТ как

$$R_{12}(t) = P_{12}(t) \cdot T_{12}(t). \quad (2)$$

где $P_{12}(t)$ – вероятность возникновения отказа 1-й или 2-й категории за заданный интервал времени;

$T_{12}(t)$ – потери поездо-часов из-за отказов 1-й и 2-й категории за заданный интервал времени.

Любые мероприятия по снижению уровня риска требуют соответствующих затрат. В основе управления рисками, связанными с эксплуатацией систем ЖАТ, положена модель ALARP, представленная на рис. 1. Она позволяет разделить количественные значения риска на некоторые качественные уровни, каждый из которых имеет отличные от других характеристики и свойства [5;6].

В зеленой зоне модели уровней ALARP расположены объекты, для которых величина риска настолько низка, что не требуется ее обработка и согласование с руководителями подразделения. Желтый уровень отличается от предшествующего требованием согласования уровня риска с лицом, принимающим решение, и необходимостью мониторинга и обработки полученных данных. При нежелательном уровне риска, как правило, выполняются операции по снижению уровня риска, либо же уровень риска сохраняется, если его снижение в данный момент невозможно

или нецелесообразно политике компании. В красной зоне риск должен исключаться.

Оценка уровней рисков возможна с использованием матрицы рисков, пример такой матрицы для объектов ЖАТ приведен в табл. 1. Она представлена в виде двумерной матрицы рисков, характеризующей риски потерь поездо-часов из-за отказов каждой отдельной системы ЖАТ.

С помощью матрицы рисков определяют фактические, расчетные, потенциальные и прогнозные уровни риска. Без предварительного анализа и сравнения уровней риска между собой невозможно эффективно управлять надежностью систем ЖАТ и распределять финансовые, материальные и трудовые ресурсы [7].

Нормированное значение и граница матрицы рисков должны соответствовать границе доверительного интервала, в котором с заданной вероятностью попадает значение случайной величины потерь поездо-часов [8]. В таком случае появляется возможность регулировать периодичность технического обслуживания и планировать за счет различных улучшающих мероприятий уменьшение риска потерь поездо-часов, задавая различные цели и прогнозируя результат.

Таким образом, возникает задача оптимального использования имеющихся ресурсов с целью достижения минимального значения потерь поездо-часов для каждого отдельного объекта ЖАТ (прироста значения этого показателя за определенный период), либо, например, задача минимизации финансовых ресурсов для обеспечения требуемых уровней риска функционирования для определенного множества объектов ЖАТ [9].

Для решения подавляющего большинства оптимизационных задач используются, как известно, методы математического программирования. Применительно к рассматриваемой проблеме в работе [10] иссле-

Зона	Описание
Недопустимый	Риск должен исключаться. Обработка риска необходима.
Нежелательный	Риск может быть принят при согласии руководства ОАО «РЖД», в случае, когда снижение риска невыполнимо или нерационально. Обработка риска сводится к устранению последствий.
Допустимый	Риск принимается при соответствующем мониторинге и контроле и при согласии руководства ОАО «РЖД». Обработка риска не требуется или сводится к устранению последствий.
Не принимаемый в расчет	Риск принимается без согласия руководства ОАО «РЖД». Обработка риска не требуется.

Рис. 1. Модель уровней ALARP и планируемые мероприятия в зависимости от уровня риска

Таблица 1

Матрица рисков, связанных с уровнем надежности функционирования системы ЖАТ

Уровни частоты ущерба		Уровни последствий возникновения отказов объекта ЖАТ (потери поездо-часов)			
		незначительный	значительный	существенный	критический
		1	2	3	4
Частое	Ч	Допустимый	Нежелательный	Недопустимый	Недопустимый
Вероятное	В	Допустимый	Нежелательный	Нежелательный	Недопустимый
Случайное	С	Допустимый	Допустимый	Нежелательный	Недопустимый
Редкое	Р	Не принимаемый в расчет	Допустимый	Нежелательный	Нежелательный
Крайне редкое	К	Не принимаемый в расчет	Допустимый	Допустимый	Нежелательный
Маловероятное	М	Не принимаемый в расчет	Не принимае- мый в расчет	Допустимый	Нежелательный

дована общая задача оптимального распределения ресурсов подразделений, занимающихся эксплуатацией систем ЖАТ для минимизации ущерба, вызванного их ненадежной работой. В работе предложена математическая модель для ее решения, являющаяся аналогом табличной (матричной) модели, используемой для решения классической транспортной задачи. В качестве метода решения описан адаптированный к рассматриваемой задаче оптимизации метод потенциалов. Также рассматривается возможность применения к генетическим алгоритмам технологии параллельного программирования для прикладных задач оптимального распределения ресурсов по критерию минимизации потерь поездо-часов или финансовых потерь, вызванных ненадежной работой при эксплуатации объектов транспортной инфраструктуры [11].

Рассмотрим задачи оптимизации ресурсов, связанных с эксплуатацией объектов ЖАТ.

Первая задача заключается в минимизации потребного объема материальных ресурсов, выделяемых на техническое содержание некоторого числа объектов железнодорожной инфраструктуры. При этом величина риска функционирования объектов ЖАТ (среднего или конкретного для каждого объекта) не должна превышать нормативного (допустимого) значения.

Итак, пусть имеется n объектов ЖАТ перегонных и станционных систем на рассматриваемом железнодорожном участке. Для каждого i -го объекта известно фактическое значение величины суммарного риска $R_{\phi 1,2}^i$ за рассматриваемый период времени t . Кроме того, известно потребное количество финансовых ресурсов $V_p^{\text{потр}}$, величину которых требуется минимизировать.

Всё множество N объектов ЖАТ представим в виде разбиения на четыре подмножества $N_{нд}$, $N_{нж}$, $N_д$, $N_{нпр}$ в зависимости от уровня риска (рис. 2):

$$N = N_{нд} \cup N_{нж} \cup N_д \cup N_{нпр}. \quad (3)$$

Пример разбиения всего множества объектов ЖАТ сети железных дорог по указанным множествам приведен на рис. 3.

В качестве ключевого показателя эффективности деятельности хозяйства автоматики и телемеханики ОАО «РЖД» в соответствии с Транспортной стратегией Российской Федерации на период до 2030 года используется доля инфраструктуры Единой опорной сети, находящаяся в нормативном состоянии (табл. 2).

При этом нормативное состояние объектов ЖАТ определяется уровнем риска функционирования соответствующих объектов ЖАТ (уровень риска «не принимаемый в расчет» или «допустимый»). Данный показатель рассчитывается для всей сети железных дорог.

Поэтому в рассматриваемой задаче целесообразно выделить два подмножества объектов ЖАТ — с недопустимым ($N_{нд}^{\phi}$) и нежелательным ($N_{нж}^{\phi}$) уровнями риска, мощности которых необходимо свести к нормативным значениям $|N_{нд}^n|$ и $|N_{нж}^n|$ соответственно:

$$\begin{cases} |N_{нд}^{\phi}| \leq |N_{нд}^n| \\ |N_{нж}^{\phi}| \leq |N_{нж}^n| \end{cases}. \quad (4)$$

Значения мощностей подмножеств $N_{нд}$ и $N_{нж}$ удобно представить в процентном отношении к мощности подмножества N :

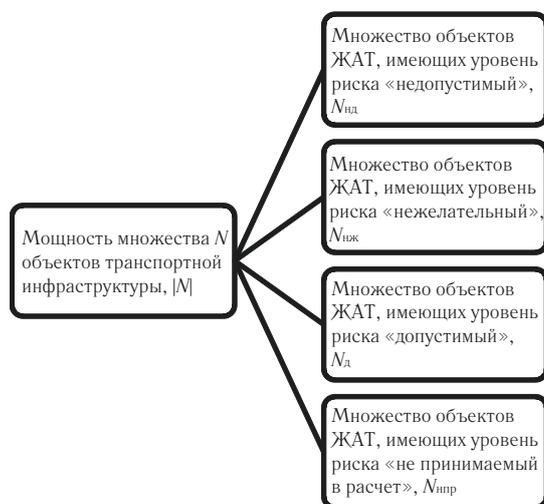


Рис. 2. Совокупная мощность рассматриваемых объектов ЖАТ

Дирекция инфраструктуры	Уровни риска потерь поездо-часов для станций (перегонов)							
	Недопустимый		Нежелательный		Допустимый		Не принимаемый в расчет	
	Количество объектов	Доля, %	Количество объектов	Доля, %	Количество объектов	Доля, %	Количество объектов	Доля, %
Октябрьская	176	12	103	7	81	6	1108	75
Калининградская	3	4	1	1	0	0	80	95
Московская	224	18	113	9	100	8	827	65
Горьковская	104	13	54	7	55	7	561	72
Северная	98	12	47	6	22	3	635	79
Северо-Кавказская	67	8	74	9	33	4	688	80
Юго-Восточная	39	7	24	4	21	4	469	85
Приволжская	75	14	54	10	30	6	370	70
Куйбышевская	26	3	25	3	5	1	742	93
Свердловская	98	11	89	10	64	7	663	73
Южно-Уральская	68	13	37	7	25	5	405	76
Западно-Сибирская	38	6	54	9	114	18	423	67
Красноярская	77	21	35	9	21	6	242	65
Восточно-Сибирская	67	14	31	6	36	7	351	72
Забайкальская	80	22	34	9	44	12	201	56
Дальневосточная	123	13	54	6	14	1	747	80
Сеть	1363	12	829	7	665	6	8472	75

Рис. 3. Распределение объектов (станций и перегонов) на сети железных дорог по уровням риска потерь поездо-часов

Таблица 2

**Показатели эффективности деятельности в соответствии
 с Транспортной стратегией Российской Федерации на период до 2030 года**

Показатель	Единица измерения	2019 год	2024 год	2030 год
Доля инфраструктуры Единой опорной сети в нормативном состоянии, не менее	%	62	80	85

$$\begin{cases} \frac{|N_{нд}^{\phi}|}{|N|} \cdot 100\% \leq \frac{|N_{нд}^{\eta}|}{|N|} \cdot 100\% \\ \frac{|N_{нж}^{\phi}|}{|N|} \cdot 100\% \leq \frac{|N_{нж}^{\eta}|}{|N|} \cdot 100\% \end{cases} \quad (5)$$

Для выполнения ограничений (5) необходимо найти минимальный потребный объем финансовых ресурсов, т.е. минимизировать $V_p^{потр}$.

Очевидно, что при заданных нормативных значениях уровней риска функционирования для каждого i -го объекта ЖАТ $R_{1,2}^{ni}$ задача оптимизации ресурсов $V_p^{потр}$ является существенно более сложной и может быть записана в следующем виде:

$$\begin{cases} R_{1,2}^{\phi i} \leq R_{1,2}^{\eta i}, \forall i = 1, \dots, n \\ V_p^{потр} \rightarrow \min \end{cases} \quad (6)$$

Вторая задача оптимизации заключается в оптимальном распределении нормативного объема ресурсов V_p^{η} , обеспечивающем наименьшее количество объектов ЖАТ с недопустимым или нежелательным уровнями риска функционирования.

Пусть задано ограниченное количество финансовых ресурсов V_p^{η} , которые требуется эффективно распределить на техническое содержание n объектов ЖАТ, при этом сумма мощностей подмножеств объектов ЖАТ с недопустимым $|N_{нд}^{\phi}|$ и нежелательным $|N_{нж}^{\phi}|$ уровнями риска должны стремиться к минимуму:

$$\begin{cases} |N_{нд}^{\phi}| + |N_{нж}^{\phi}| \rightarrow \min \\ V_p^{потр} \leq V_p^{\eta} \end{cases} \quad (7)$$

Так как мощности двух рассматриваемых подмножеств уменьшаются, то очевидно, что суммарная мощность двух других подмножеств $N_{нд}^{\eta}$ и $N_{нж}^{\eta}$ стремится к максимуму:

$$|N_{нд}^{\phi}| + |N_{нж}^{\phi}| \rightarrow \min \Rightarrow |N_{нд}^{\eta}| + |N_{нж}^{\eta}| \rightarrow \max. \quad (8)$$

В случае, когда исходные данные или их часть являются случайными величинами, решение оптимизационной задачи выполняется методами стохастического программирования, а при недетерминированной (неопределенной) исходной информации оптимизаци-

онные задачи могут быть решены с использованием результатов теории игр [12].

В рассмотренных выше задачах исходная информация о частоте отказов 1-й и 2-й категории различных объектов ЖАТ и потерь поезд-часов, вызванных этими отказами, является неопределенной, а, значит, для решения такой задачи целесообразно применить методы теории игр.

Теория игр — современный метод поиска оптимальной выигрышной стратегии в процессе игры. Игра — это процесс конфликтного взаимодействия нескольких лиц, которые соперничают между собой за некий выигрыш. У игроков имеются стратегии поведения, то есть совокупности возможных действий с необходимыми затратами и возможными выигрышами.

В классической теории игр каждое последующее действие непосредственно связано с предыдущим игровым шагом, у игроков есть полное дерево возможных стратегий оппонентов, за счет этого исключается рассмотрение случайности [13]. В нашем случае это невозможно, поэтому грамотный учет влияния неопределенности является ключевым элементом в процессе моделирования теоретико-игровой концепции.

Рассматривая специфику теории игр, отметим, что существует большое множество различных вариантов распределения ресурсов (стратегий игрока) [14]. Каждая стратегия приводит к тому или иному эффекту, величина которого имеет количественную оценку. Очевидно, что каждая стратегия ведет развитие игры к определенному решению задачи из множества возможных решений, которые в свою очередь можно упорядочить от наихудшего к наилучшему. Считается, что каждый из игроков стремится играть рационально — т.е. выбирать оптимальную стратегию, которая приведет к наилучшему результату при наименьших затратах. Таким образом, в случае победы одного из игроков для него обеспечена максимальная эффективность финансовых вложений.

Чаще всего исследуют антагонистические игры с двумя участниками, при которых выигрыш одного лица соответствует величине проигрыша другого.

При наличии неопределенности, когда невозможно предсказать последовательность действий оппонента (внешней среды), применяют инструментальный раздел теории игр, основанный на так называемых «играх с природой». Обычно окружающая среда (природа) учитывается в качестве игрока, который с определенной вероятностью избирает одну из стратегий игры.

Рассмотрим обобщенный алгоритм решения сформулированных задач оптимизации, основанный на теоретико-игровом подходе (рис. 4).

Реализация алгоритма решения начинается с описания сценария игры: явно указываются исходные данные и множество игроков – природа и защитник. Примеры анализа различных сценариев приведены на рис. 5.

При этом можно в общем случае предположить, что природе присуща логика действий рационального игрока, и учитывать это при прогнозировании ходов. Однако, в случае выбора природой оптимального сценария ущерб от действий природы будет максимальным и, следовательно, потребуется избыточное количество ресурсов для его предотвращения. Такой сценарий выделен на рис. 5 зеленым цветом.

Исходные данные передаются игрокам в шаге 3 алгоритма (см. рис. 4). Исходными данными «природы» будут являться распределения случайных величин (для каждого i -го объекта ЖАТ) прогнозного значения потерь поездо-часов. Исходные данные для сценариев стратегии защитника рассмотрим в виде типичной для динамического программирования задачи распределения ресурсов.

Пусть в соответствии с задачей оптимизации (7) имеется конечный объем финансовых ресурсов $V_p = y$. Данный объем следует распределить оптимальным образом между k улучшающими мероприятиями из множества $M = \{m_1, m_2, \dots, m_k\}$. Каждое j -е мероприятие m_j приводит к снижению прогнозного значения потерь поездо-часов, вызванных отказами i -го объекта ЖАТ в соответствии с функцией выигрыша $m_{ij}(y)$ в зависимости от вложенного объема ресурсов. Множество функций $M_{ij} = \{m_{i1}(y), m_{i2}(y), \dots, m_{ik}(y)\}$ мощностью $n \times k$ заданы аналитически, графически или в виде таблиц. При этом следует выделить минимально значимый объем ресурсов u , при использовании которого прогнозное значение потерь поездо-часов может быть снижена на 1 поездо-час хотя бы



Рис. 4. Обобщенный алгоритм решения задачи на основе теоретико-игрового подхода

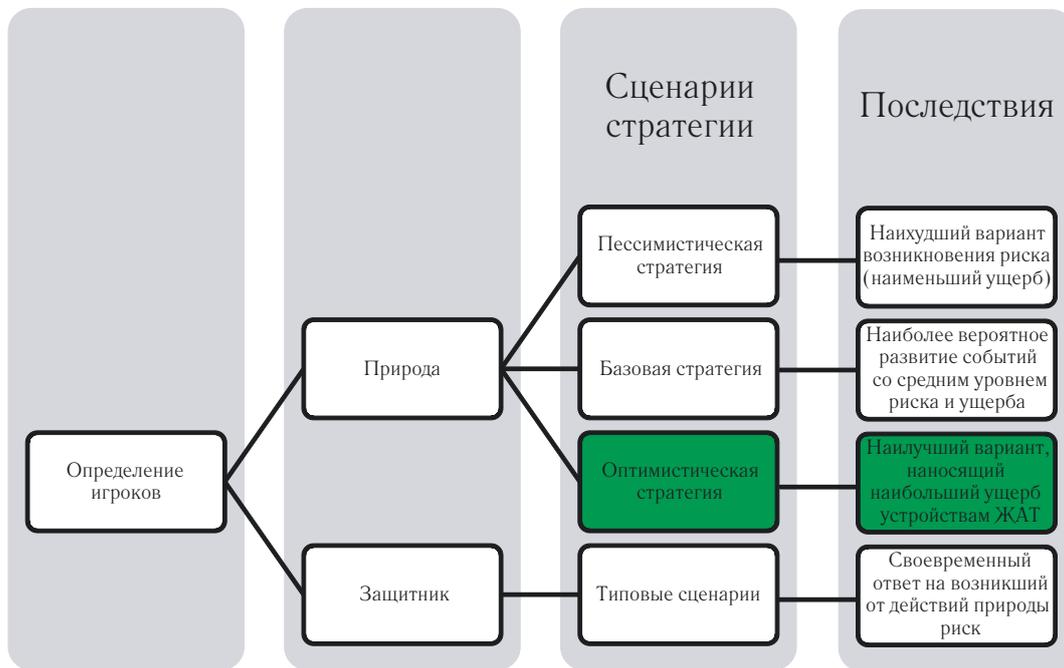


Рис. 5. Совокупность сценариев стратегии игры двух игроков

для одного объекта ЖАТ из рассматриваемого множества объектов N за счет какого-либо улучшающего мероприятия из множества мероприятий M . В этом случае:

$$\frac{y}{u} = s \rightarrow \sum_{i=1}^s u_i = y. \quad (9)$$

Пример табличной формы записи функций выигрыша $m_{ij}(y)$ приведен на рис. 6.

Для каждого i -го объекта ЖАТ функции выигрышей $m_{ij}(y)$ от реализации j -го улучшающего мероприятия могут быть получены в общем случае методами статистического анализа либо экспертным методом с использованием системы коэффициентов либо укрупненных расходных ставок. При опросе экспертов функция выигрышей $m_{ij}(y)$ может быть представлена, например, как аналог функции полезности мероприятия (функция полезности Неймана-Моргенштерна) с учетом определенного набора оценочных критериев. При этом целесообразно множество улучшающих мероприятий M разбить на четыре подмножества с учетом особенностей планирования соответствующих ресурсов, приведенных в работах [15; 16]:

$$M = M_{ТО} \cup M_{ПТ} \cup M_{КР} \cup M_{МО}, \quad (10)$$

где $M_{ТО}$ – подмножество улучшающих мероприятий,

связанных с технологическим обеспечением процессов технической эксплуатации объектов ЖАТ;

$M_{ПТ}$ – подмножество улучшающих мероприятий, связанных с изменением периодичности и трудоемкости процессов по технической эксплуатации объектов ЖАТ включая автоматизацию;

$M_{КР}$ – подмножество улучшающих мероприятий, связанных с проведением капитального ремонта (частичного или полного) объектов ЖАТ;

$M_{МО}$ – подмножество улучшающих мероприятий, связанных с модернизацией и обновлением объектов инфраструктуры.

Таким образом, для отдельного i -го объекта ЖАТ из таблицы, представленной на рис. 6, может быть выбрано j -е улучшающее мероприятие (из множества $M = (m_1, m_2, \dots, m_n)$) m_{ij} и соответствующий ему требуемый объем ресурсов ω_b , с учетом ограничения

$$\sum_{b=1}^n \omega_b \leq y, \text{ а также ограничений, указанных в задачах}$$

оптимизации (5) и (7). Совокупность улучшающих мероприятий для всех объектов ЖАТ из множества N будет представлять одну из стратегий защитника. При этом на некоторые объекты ЖАТ улучшающие мероприятия могут не планироваться, как и затраты на их проведение, с учетом прогнозного уровня риска

функционирования этих объектов на каждом шаге (периоде планирования ресурсов).

Кроме того, для отдельных объектов ЖАТ из множества N может, в общем случае, выбрано несколько улучшающих мероприятий из множества M , принадлежащих различным подмножествам согласно выражению (10). Также мощность множества $W = \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_s\}$ может быть увеличена за счет снижения величины приращения объемов финансовых ресурсов $\Delta u = \omega_i - \omega_{i-1}$.

В процессе моделирования игры происходит выборка сценариев развития игры, после чего для каждого из сценариев формируются совокупности платежных матриц защитника, общий вид которой приведен на рис. 7.

В платежную матрицу для каждой из стратегий игрока с учетом совокупности факторов k (влияние хода «природы» на процесс функционирования устройств и систем ЖАТ) вносятся оценочные значения Y_{qk} , отражающие величину выигрыша или про-

игрыша защитника при выборе одной из стратегий на текущем шаге моделирования игры.

Решение задачи оптимизации носит многоэтапный характер и требует значительных вычислительных мощностей. На основе данных платежной матрицы может быть получена максиминная оценка стратегии, выполнение которой гарантирует максимальный показатель эффективности при наихудших условиях реализации стратегии.

$$W = \max_{i \in \overline{1, q}} \min_{j \in \overline{1, k}} Y_{ij}. \quad (11)$$

Вместе с показателем эффективности W в общем случае может быть получена оптимальная (наилучшая) стратегия защитника, которую можно эффективно использовать в системах поддержки принятия решений по управлению железнодорожной инфраструктурой.

Дальнейшее исследование и решение рассмотренной оптимизационной модели позволит создать эффективный инструмент для управления инфра-

Вложения, u , тыс. руб.	Снижение величины потерь поездочасов, вызванных отказами i -го объекта ЖАТ как выигрыш от j -го мероприятия (поездочасов или %)									
	$m_{11}(y)$	$m_{12}(y)$...	$m_{1k}(y)$	$m_{21}(y)$	$m_{22}(y)$...	$m_{2k}(y)$...	$m_{nk}(y)$
$u = \omega_1$										
$2u = \omega_2$										
$3u = \omega_3$										
...										
$su = \omega_s$										

Рис. 6. Табличная форма записи функций выигрыша

Допустимые стратегии управления	Номер массива факторов				
	1	2	3	...	k
C_1	Y_{11}	Y_{12}	Y_{13}	...	Y_{1k}
C_1	Y_{21}	Y_{22}	Y_{23}	...	Y_{2k}
C_1	Y_{31}	Y_{32}	Y_{33}	...	Y_{3k}
...
C_q	Y_{q1}	Y_{q2}	Y_{q3}	...	Y_{qk}

Рис. 7. Платежная матрица защитника

структурой железнодорожного транспорта, что в последующем даст возможность для решения целого ряда задач, включающих в себя:

- оптимальное распределение ресурсов при эксплуатации инфраструктуры железнодорожного транспорта;
- эффективный алгоритм распределения капитальных вложений на обновление объектов транспортной инфраструктуры;
- обоснование риск-ориентированного планирования процесса технической эксплуатации систем ЖАТ. 

Литература

1. Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте: учебное пособие / А.В. Горелик, И.А. Журавлев, Н.А. Тарадин, П.А. Неваров. – Москва: Российский университет транспорта (МИИТ), 2019. – URL: http://www.rgotups.ru/images/data/Posobia/Automatika_telemech_i_svaz_na_gdt.pdf, свободный. – Загл. с экрана. – ISBN 978-5-7473-0945-6. – EDN: VDZGPY.
2. Планирование и оценка технологического оснащения дистанций СЦБ / А.В. Горелик, С.О. Синельников, И.А. Журавлев, А.В. Груздева. – Текст: непосредственный // Автоматика, связь, информатика. – 2021. – №6. – С. 2–5. – DOI: 10.34649/AT.2021.6.6.001.
3. Веселова, А.С. Принципы оценивания рисков, связанных с ненадежной работой объектов железнодорожной автоматики / А.С. Веселова. – Текст: непосредственный // Наука и техника транспорта. – 2017. – №1. – С. 46–50. – EDN: YHWPKV.
4. Бочков, К.А. Метод для расчётных оценок характеристик безопасности железнодорожной автоматики / К.А. Бочков, Д.В. Комнатный. – Текст: непосредственный // Мир транспорта. – 2020. – Т.18, №3(88). – С. 164–173. – DOI: 10.30932/1992-3252-2020-18-164-173. – EDN: CIPBZD.
5. Шубинский, И.Б. Основные научные и практические результаты разработки системы УРРАН / И.Б. Шубинский, А.М. Замышляев. – Текст: непосредственный // Железнодорожный транспорт. – 2012. – №10. – С. 23–28. – EDN: PEMSHD.
6. Реализация методологии УРРАН в хозяйстве автоматики и телемеханики / В.В. Аношкин, А.В. Горелик, Д.М. Поменков, С.Б. Смагин. – Текст: непосредственный // Автоматика, связь, информатика. – 2017. – №6. – С. 2–6. – EDN: YRHXXH.
7. Оценка функционального ресурса систем железнодорожной автоматики и телемеханики / Болонский Д.Н., Веселова А.С., Горелик А.В. и [др]. – Москва, 2015. – 27 с. – Рус. – Деп. в ВИНТИ РАН, №188 – В2015. – Текст: непосредственный.
8. Оценка влияния технической оснащённости железнодорожного участка системами железнодорожной автоматики и телемеханики на показатели перевозочного процесса / Горелик А.В., Орлов А.В., Малых А.Н., Романов Н.В. – Москва, 2015, 2019. – 18 с. – Рус. – Деп. в ВИНТИ РАН, №90 – В2015, 2019. – Текст: непосредственный.
9. Оптимизационная задача распределения ресурсов при эксплуатации инфраструктуры железнодорожного транспорта / А.В. Горелик, А.М. Алешкин, О.С. Миненков, В.С. Федоров // Наука и бизнес: пути развития. – 2021. – №6. – С. 38–40.
10. Горелик, А.В. Оптимизация ресурсов при управлении технической эксплуатацией систем автоматики и телемеханики / А.В. Горелик, А.В. Орлов, Д.В. Сперанский. – Текст: непосредственный // Известия Саратовского университета. Новая серия: Математика. Механика. Информатика. – 2021. – Т.21, №3. – С. 379–389.
11. Шиловская, Н.А. Теория игр: учебник и практикум для вузов / Н.А. Шиловская. – Москва: Издательство Юрайт, 2023. – 318 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-9916-8264-0. – Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/512353> (дата обращения: 21.02.2023). ISBN - 978-5-9916-8264-0.
12. Голдуева, Д.А. Принятие решений в условиях неопределённости на основе теории игр с природой / Д.А. Голдуева, М.А. Мокшанина. – Текст: непосредственный // Вестник Пензенского государственного университета. – 2020. – №4(32). – С. 130–140. – EDN: GANUUZ.

13. Челноков, А.Ю. Теория игр: учебник и практикум для вузов / А.Ю. Челноков. – Москва: Издательство Юрайт, 2023. – 223 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-00233-1. – Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/511218> (дата обращения: 21.02.2023). – ISBN 978-5-534-00233-1.

14. Фролова, Т.В. Теория игр: игры с природой / Т.В. Фролова. – Текст: непосредственный // Известия Института систем управления СГЭУ. – 2020. – №1(21). – С. 217–221. – EDN: SCAOCN.

15. Горелик, А.В. Использование метода экспертных оценок для ранжирования объектов железнодорожной автоматики и телемеханики при планировании капитального ремонта / А.В. Горелик, В.С. Дорохов. – Текст: непосредственный // Наука и техника транспорта. – 2019. – №2. – С. 8–19.

16. Анализ эффективности обновления и модернизации систем железнодорожной автоматики с учетом классификации железнодорожных линий / А.В. Горелик, В.С. Дорохов, С.Е. Иконников, П.А. Неваров. – Текст: непосредственный // Современные проблемы совершенствования работы железнодорожного транспорта. – Москва: Московский государственный университет путей сообщения Императора Николая II. – 2017. – №13. – С. 26–31.

АНАЛИЗ ВОПРОСОВ, СВЯЗАННЫХ С ПРОВЕДЕНИЕМ ЭКСПЕРТИЗЫ ПРОЕКТНО-СМЕТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ ПО ОБЪЕКТАМ ИНФРАСТРУКТУРЫ ОАО «РЖД» И ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЕРТНЫХ ЗАКЛЮЧЕНИЙ

На основе анализа наиболее часто встречаемых замечаний в проектно-сметной документации при проведении комплексной экспертизы по объектам инфраструктуры ОАО «РЖД» экспертной группой РУТ (МИИТ) было установлено распределение экономии денежных средств по статьям затрат исходя из 100%. Пятьдесят процентов снижения затрат приходится на обоснование правильности принимаемых решений в проекте организации строительства. Общее уменьшение сметной стоимости строительства объекта составляло от 7 до 15% в зависимости от вида объекта, проектного института, влияния строительной организации на процесс проектирования.



Н.И. Беряков

Ключевые слова: экспертиза, проектно-сметная документация, замечания, экономия, рекомендации

EDN: UKLDOK

В процессе организации работы по подготовке проектной документации для реализации инвестиционной программы в филиалах ОАО «РЖД» сложились четыре основные модели проведения ведомственной экспертизы проектной документации по объектам строительства:

- проведение экспертизы технической и технологической части проектной документации специалистами технических служб, проверкой смет отделами экспертизы ДКС с последующим рассмотрением на рабочей группе или экспертном совете. Такую модель практикуют подавляющее количество дорог, ДКСС, ДКРС;
- проведение экспертизы технической и технологической части проектной документации с помощью ориентированной структуры (ДКТБ, ПКБ) проверкой смет отделами экспертизы ДКС с последующим утверждением экспертным советом;
- проведение экспертизы технической и технологической части проектной документации специалистами специально созданных групп (Центр на Северно-Кавказской железной дороге);

- проведение экспертизы силами собственных подразделений или привлечение сторонних организаций по договору.

При проведении ведомственной экспертизы обычно существует следующая практика — Заказчик (ОАО «РЖД») предоставляет Исполнителю проектную документацию и результаты изыскательских работ на бумажном носителе в двух экземплярах, необходимые для проведения экспертизы, соответствующие по составу и содержанию требованиям действующих нормативно-правовых актов.

Заказчик, после получения от Исполнителя перечня замечаний по проектной документации по результатам изыскательских работ передает указанные рекомендации специализированным организациям, осуществлявшим разработку проектной документации и проведение инженерных изысканий для проведения корректировки или представления обоснованных возражений по заявленным в соответствии с перечнем замечаний несоответствиям.

После устранения замечаний и (или) подготовки мотивированных возражений специализированными

Беряков Николай Иванович, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры «Здания и сооружения на транспорте» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: экспертиза проектно-сметной документации объектов инфраструктуры ОАО «РЖД», повышение эффективности экспертных заключений. Автор 11 научных работ.

организациями, указанные материалы подлежат передаче Исполнителю для проверки и оформления положительного заключения по проекту.

На основе анализа технико-технологической экспертизы по данным Управления комплексной экспертизы проектов ОАО «РЖД» были выделены 7 групп замечаний и определен процент от общего количества замечаний в данной группе, в частности:

Группа 1. Замечания к конструктивным и технологическим хозяйствам (ЦП, ЦШ, ЦЭ, ЦД, ЦВ, ЦТ), экологии и т.д. — 41,3%;

Группа 2. Замечания к техническим параметрам объекта (несоответствие физических объемов работ, производительности, мощности, состава оборудования, материалов и т.д.) — 5,6%;

Группа 3. Замечания к технологии и организации производства СМР (сроки и последовательность выполнения работ, применяемой техники, транспортных схем и т.д.) — 27,8%;

Группа 4. Замечания к комплектности проектной документации (отсутствие разделов в соответствии с ТЗ, ТУ, ИД или НД, отсутствие согласований) — 0%;

Группа 5. Замечания к качеству оформления проектной документации (отсутствие схем, чертежей, реквизитов, наименований и т.д.) — 88,9%;

Группа 6. Замечания к достаточности материалов инженерных изысканий или материалов, обосновывающих проектные решения (дополнительные решения) — 28,6%;

Группа 7. Прочие (не относящиеся ни к одной из групп, такие как отсутствие заявки, превышение лимита и т.д.) — 9,5%.

Удельный вес каждой группы из общего количества замечаний представлен на рис. 1.

Как видно из рис. 1 наибольший удельный вес составляют группа 2 (25%) и группа 3 (20%). В частности, по группе 2 экспертной группой РУТ (МИИТ) были установлены наиболее часто встречающиеся следующие замечания:

- по многим видам работ в проекте отсутствуют необходимые данные для определения их объемов, а именно схемы и конструкция подмостей и обстроек опор, основных размеров и типа несущих элементов временных опор для разборки старого и монтажа нового моста, характеристик переездов и прочее;

- объемы работ в сводной ведомости по многим позициям не привязаны к нумерации или обозначениям конкретных объектов и деталей;

- в пояснительной записке представляется ведомость объемов основных строительных и монтажных работ укрупнено и не соответствует детализации локальных смет, не отражены работы в усложняющих условиях производства работ (стесненность, движение поездов, сеть высокого напряжения и т.д.).

По группе 3 — следующие замечания:

- доставка и выгрузка сетчатых конструкций, проволочки осуществляется без обоснования в проекте с железнодорожных платформ с перегрузкой на автосамосвалы к месту производства работ, вместо выгрузки щебня и бутового камня в «блуждающем карьере» и осуществления завоза железнодорожным транспортом без перегрузок;

- работы по выправке пути с подъемкой и срезкой балласта на подходах к мосту в календарном плане

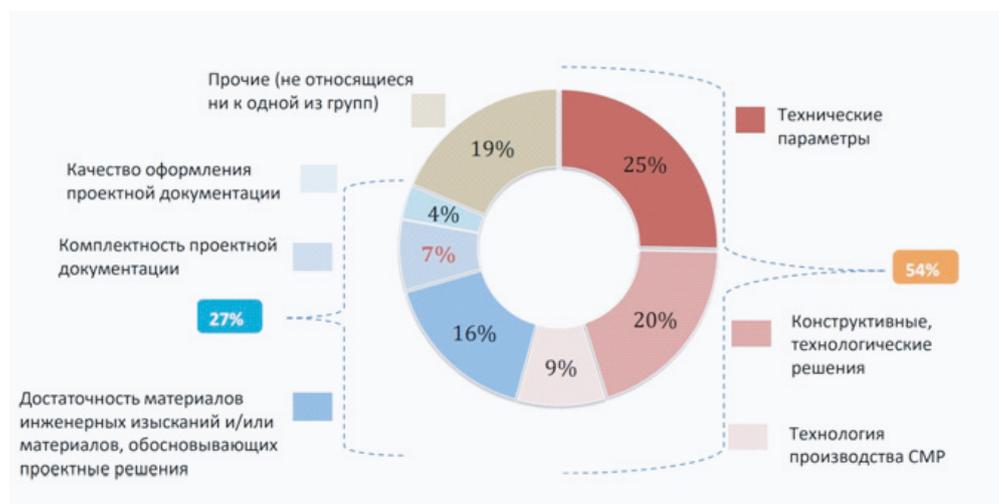


Рис. 1. Основные замечания технико-технологической экспертизы по проектной документации, разработанной АО «Росжелдорпроект»

«АНАЛИЗ ВОПРОСОВ, СВЯЗАННЫХ С ПРОВЕДЕНИЕМ ЭКСПЕРТИЗЫ ПРОЕКТНО-СМЕТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ ПО ОБЪЕКТАМ ИНФРАСТРУКТУРЫ ОАО «РЖД» И ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЕРТНЫХ ЗАКЛЮЧЕНИЙ»

строительства не отражаются и не увязываются с монтажными работами по замене пролетного строения;

- конструкция сложных вспомогательных устройств не показывается в рабочих чертежах;
- объемы подготовительного периода не относящиеся к временке не согласовываются с Заказчиком (длинная подъездная дорога, снос строений и т.д.). В проекте (как и в задании на корректировку проекта) не указывается категория дороги, устанавливающая в соответствие с нормативными документами основные параметры земляного полотна и верхнего строения пути;
- отсутствуют разрезы по проездам, строительной площадке, монтажной площадке, что затрудняет понимание технологии производства строительной площадки, монтажной площадки, проездов и объездов;
- проектное решение содержит временную автодорогу (объезды), однако в проектно-сметной документации и в проекте организации строительства (ПОС) не представлены все необходимые чертежи по ней (план, поперечные профили, геометрические размеры, объемы основных работ);
- транспортная схема доставки строительных материалов и конструкций не согласовывается со службой пути и Заказчиком;
- не представляется официальный документ, подтверждающий количество пар поездов, проходящих в сутки на объекте строительства.

Что касается выполнения ведомственной экспертизы только экономической части проекта, то в процессе проверки достоверности определения сметной стоимости по объектам капитального и текущего ремонта экспертной группой РУТ (МИИТ) были выявлены следующие основные недостатки:

- проектно-сметную документацию часто разрабатывают сами строительные организации с вытекающими отсюда последствиями. Отсутствует не только сам раздел ПОС в проектах, где он нужен, но и общая пояснительная записка. Завышение сметной стоимости отмечается практически по каждому объекту, не обосновываются применяемые коэффициенты в пояснительной записке. Имеет место отсутствие понимания формирования локальных, объектных смет и сводного сметного расчета;
- возникают вопросы с достоверностью применяемых прайс-листов, в основном с оборудованием. Стоимость оборудования не согласовывается и не утверждается Заказчиком. Очень высокий удельный вес материалов в общей смете по объектам ресурсосбережения, СЦБ и связи, транспортной безопасности (около 80%); по платформам, вокзалам, административным зданиям – 40%.

На основе анализа наиболее часто встречаемых ошибок в проектно-сметной документации при проведении комплексной экспертизы по объектам инфраструктуры ОАО «РЖД» стоимостью менее 150 млн руб. в базе экспертной группой РУТ (МИИТ) установлено следующее распределение экономии денежных средств по статьям затрат исходя из 100% (рис. 2):

- за счет правильности принимаемых решений в разделе ПОС – 50%;
- за счет правильности обоснования основных конструктивно-технологических решений – 10%;
- за счет правильности обоснования единичных расценок в локальных сметах – 15%;
- за счет правильности применения коэффициентов на движение $K_{дв}$, на стесненность $K_{ст}$, в зоне ЛЭП $K_{лэп}$, на работы в окно $K_{окно}$ – 15%;
- за счет правильности применения нормативных документов ОАО «РЖД» – 10%.

Общее снятие денежных средств составляло от 10 до 35% от общей сметы.

Как видно из рис. 2 основное снятие денежных средств приходилось на ПОС и конструктивно-технологические решения, а именно за счет сложных вспомогательных обустройств, временных конструкций (разобрал, собрал, переставил и далее), отсыпки и разборки, ремонта подъездной дороги, дублирования работ по временным зданиям и сооружениям, транспортной схемы доставки материалов и т.д.

Что касается экспертизы только экономической части проектно-сметной документации (без учета влияния конструктивно-технологической части и раздела ПОС), то экспертной группой РУТ (МИИТ) установлено следующее распределение экономии денежных средств по статьям затрат исходя из 100% (рис. 3):

- за счет правильности обоснования единичных расценок в локальных сметах – 25%;
- за счет правильности применения коэффициентов на движение $K_{дв}$, на стесненность $K_{ст}$, в зоне ЛЭП $K_{лэп}$, на работы в окно $K_{окно}$ – 35%;
- за счет правильности применения нормативных документов ОАО «РЖД» (в том числе индексы пересчета) – 15%;
- за счет стоимости материалов и оборудования – 25%.

В целом уменьшение общей сметной стоимости от результатов экспертизы только экономической части проекта составляло от 5 до 10%.

По данным Управления комплексной экспертизы проектов ОАО «РЖД» существуют следующие сдерживающие факторы при проведении технико-технологических экспертиз проектов:

- недостаточное количество специалистов в службах дорог и дирекциях;



Рис. 2. Процент снижаемых денежных средств по видам затрат при реконструкции и модернизации объектов

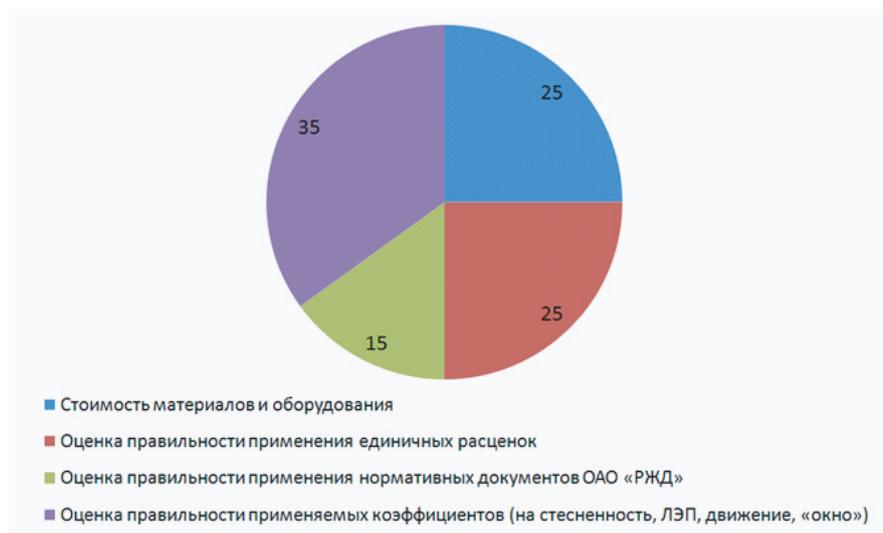


Рис. 3. Процент снимаемых денежных средств по видам затрат при капитальном и текущем ремонте объектов

- выполнение технико-технологической экспертизы в дополнение к своим непосредственным обязанностям;
- увеличение потока поступающей документации;
- неравномерная загрузка действующих сотрудников отделов экспертиз, как по годам, так и по месяцам (70% работ приходится на последние 4–5 месяцев).

Вышеперечисленные факторы не позволяют в полной мере экспертным подразделениям ОАО «РЖД»

контролировать ситуацию по вопросам компетентности и полноты проводимой экспертизы, что отражено на основании данных по Управлению комплексной экспертизы проектов ОАО «РЖД» (рис. 4).

Подводя некоторые итоги можно сказать, что за счет проводимой экспертной группой РУТ (МИИТ) ведомственной экспертизы по объектам транспортной инфраструктуры сметной стоимостью до 150 млн руб. (в базисных ценах) можно сделать следующие выводы:

«АНАЛИЗ ВОПРОСОВ, СВЯЗАННЫХ С ПРОВЕДЕНИЕМ ЭКСПЕРТИЗЫ ПРОЕКТНО-СМЕТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ ПО ОБЪЕКТАМ ИНФРАСТРУКТУРЫ ОАО «РЖД» И ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЕРТНЫХ ЗАКЛЮЧЕНИЙ»

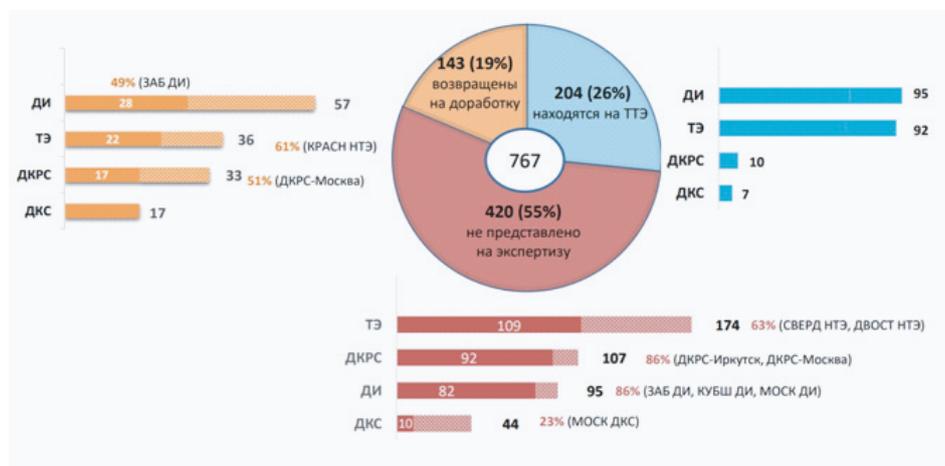


Рис. 4. Объекты строительства текущего года, не обеспеченные проектной документацией получившей заключения внутренней экспертизы: ДКРС – дирекция по комплексной реконструкции железных дорог и строительству объектов; ДКСС – дирекция по строительству сетей связи; ДИ – дирекция инфраструктуры; ТЭ – трансэнерго; на железных дорогах – Забайкальской, Куйбышевской, Московской, Свердловской, Дальневосточной

- результаты экспертизы проектно-сметной документации рабочих проектов позволили повысить качество проектируемых объектов и получить экономию денежных средств за последние 4 года более 6,5 млрд руб. по объектам стоимостью в базисных ценах до 150 млн руб. Общее количество проверяемых объектов составляло около 400 штук с объемом СМР свыше 60 млрд руб. (в текущих ценах);
- анализ проектно-сметной документации показал в среднем уменьшение сметной стоимости от 7 до 15% в зависимости от вида объекта, проектного института, влияния строительной организации на процесс проектирования (когда генподрядчиком по проектированию и строительству одновременно является строительная организация).

Были сформированы рекомендации по улучшению проведения ведомственной экспертизы и повышению качества проектных работ, а именно:

- целесообразно назначить на дорогах ответственных за подготовку технико-технологических экспертиз;
- выполнение экономической части экспертизы целесообразно осуществлять совместно с разделами ПОС;
- выстроить систему анализа замечаний внутренней экспертизы не реже двух раз в год, с подведением итогов совместно с проектными организациями и заказчиками. 

Литература

1. Методические рекомендации по проведению ведомственной экспертизы по объектам строительства, реконструкции и капитального ремонта инфраструктуры ОАО «РЖД» (утв. Распоряжением ОАО «РЖД» от 28.12.2012 №2736р). / Н.И. Беряков, В.В. Соловьев, Л.С. Лянгузова. – Москва: ОАО «РЖД», 2012. – 204 с. – Текст: непосредственный.
2. Методические рекомендации по составу разделов обоснования инвестиций и требований к их содержанию (включая расчет экономической эффективности) для инвестиционных проектов ОАО «РЖД» (утв. Распоряжением ОАО «РЖД» от 17.12.2012 №384р) / Н.И. Беряков, В.В. Соловьев, С.Н. Беряков. – Москва: ОАО «РЖД», 2012. – 95 с. – Текст: непосредственный.
3. Положение об организации и проведении экспертизы предпроектной, проектной документации и результатов инженерных изысканий в ОАО «РЖД» (утв. Распоряжением ОАО «РЖД» от 04.12.2020 № 2674/р). – Москва: ОАО «РЖД», 2020. – 31 с. – Текст: непосредственный.
4. Порядок определения стоимости строительства объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта и других объектов ОАО «РЖД» с применением отраслевой сметно-нормативной базы ОСНБЖ-2001 (утв. Распоряжением ОАО «РЖД» от 29.12.2011 № 2821р). – Москва: ОАО «РЖД», 2011. – 162 с. – Текст: непосредственный.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ГРУЗОВЫХ ПЕРЕВОЗОК НА ЛИНИИ ДМИТРОВ – СОНКОВО – МГА



С.П. Вакуленко



Д.Ю. Роменский

Дефицит провозной способности железнодорожных полигонов при перевозках грузов в адрес портовых регионов является актуальной проблемой в условиях изменения конъюнктуры рынка железнодорожных перевозок. В статье проанализированы варианты увеличения провозной способности по малоиспользуемой магистрали Дмитров – Сонково – Мга, предложены варианты по модернизации линии для интенсификации движения поездов.

Ключевые слова: провозная способность, малоинтенсивная линия, малоедейственная линия, пропускная способность, электрификация

EDN: TJJVBB

В связи с увеличенным прогнозируемым объемом перевозок в адрес портов Северо-Западного региона согласно Транспортной стратегии Российской Федерации до 2025 года, в настоящее время ограниченная пропускная способность железнодорожного транспортного коридора Москва – Санкт-Петербург требует принятия управленческих решений по развитию и модернизации железнодорожных направлений с целью наращивания их пропускной способности, оптимизации грузового движения и местной грузовой работы. В условиях интенсификации грузо-

вого и пассажирского движения одним из возможных вариантов решения проблемы является специализация железнодорожных линий по видам движения. В рамках развития скоростного пассажирского сообщения между Москвой и Санкт-Петербургом высокоскоростные поезда «Сапсан» были запущены по линии Санкт-Петербург – Бологое – Тверь – Москва (далее – «Октябрьская магистраль»). Наличие скоростного пассажирского движения сделало данную магистраль непригодной для пропуска транзитных грузовых вагонопотоков. Грузовые поезда создают повышен-

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

Роменский Дмитрий Юрьевич, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Управление транспортным бизнесом и интеллектуальные системы» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: железнодорожная грузовая и пассажирская логистика, пассажирские перевозки, контейнерные перевозки. Автор 48 научных работ.

Калинин Кирилл Антонович, старший преподаватель кафедры «Управление транспортным бизнесом и интеллектуальные системы» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: организация скоростного и высокоскоростного движения, моделирование работы транспортных систем, развитие пассажирской и грузовой инфраструктуры, внедрение инновационных технологий на железнодорожном транспорте. Автор 35 научных работ.

Рыбаков Павел Валерьевич, ассистент кафедры «Управление транспортным бизнесом и интеллектуальные системы» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: интермодальные грузовые перевозки, пассажирские перевозки в междугороднем сообщении. Автор одной научной работы.

ный физический износ элементов верхнего строения пути железной дороги и делают опасным движение «Сапсанов» по данной линии. В связи с этим грузовое движение переведено на кружные маршруты, главным образом на Ярославское направление (линия Санкт-Петербург – Мга – Волховстрой – Бабаево – Вологда – Ярославль – Москва) и на Рижское направление (линия Санкт-Петербург – Луга-1 – Дно – Великие Луки – Ржев-Балтийский – Шаховская – Москва). Одним из возможных способов увеличения пропускной и провозной способности данного коридора является строительство выделенной пассажирской линии ВСЖМ-1 для перевода на нее основных пассажирских поездопотоков, что высвободит пропускную способность «Октябрьской магистрали» для тяжеловесных грузовых поездов [1]. Задержка реализации проекта ВСЖМ-1 относительно анонсированных сроков приводит к снижению конкурентоспособности железнодорожного транспорта и к уменьшению занимаемой им доли рынка грузовых перевозок в рассматриваемом транспортном коридоре [2;3].

Тенденции развития железнодорожных маршрутов в створе коридора Москва – Санкт-Петербург

С запуском высокоскоростного поезда «Сапсан» с «Октябрьской магистрали» был вынесен весь трафик грузового движения, кроме местной грузовой работы и нескольких ускоренных контейнерных поездов сообщением Санкт-Петербург – Москва. Это было сделано в связи с большой разностью времени хода грузовых и скоростных пассажирских поездов и вызываемого этим большого коэффициента съема. Грузовое движение с «Октябрьской магистрали» было выведено на кружные маршруты:

- Ярославское направление: линия Санкт-Петербург – Мга – Волховстрой – Бабаево – Вологда – Ярославль – Москва;
- Рижское направление: линия Санкт-Петербург – Ордеж – Новосокольники – Шаховская – Москва [4].

На Савеловское направление (линию Санкт-Петербург – Мга – Будогощь – Сонково – Савёлово – Дмитров – Москва), идущее параллельно «Октябрьской магистрали» (рис. 1), ввиду его низкой пропускной способности грузовое движение не переносилось до 2019 года, когда были введены в эксплуатацию первые реконструированные объекты инфраструктуры (разъезды, системы блокировки, главные пути и др. [5])[4]. Все перечисленные кружные маршруты, в соответствии с их текущей технической оснащённостью, не имеют необходимых ресурсов для обеспечения перевозок требуемого количества

грузов [1]. В связи с этим возможны и необходимы следующие сценарии реконструктивных мероприятий и вариантов организации потоков грузовых поездов:

- при задержке ввода в эксплуатацию ВСЖМ-1 относительно анонсированных сроков «Октябрьская магистраль» не сможет пропускать требуемое количество пар грузовых поездов и в этом случае целесообразно проведение мероприятий по развитию пропускной способности Савеловского направления (1 сценарий);
- сооружение третьего главного пути на участке Горы – Мга – Волховстрой Ярославского направления, т.к. при существующей технической оснащённости линия перегружена, но для сооружения дополнительного главного пути требуется организация продолжительных строительных работ с перерывами в движении поездов («технологическими окнами») (2 сценарий);
- при своевременном вводе в эксплуатацию ВСЖМ-1 исключается потребность в развитии Савеловского направления, т.к. часть поездопотоков с Ярославского направления будет перенаправлена на «Октябрьскую магистраль» (3 сценарий) [4].

В зависимости от того, будет ли построена ВСЖМ-1, зависят загрузка и перспективы развития участка Савеловского направления. Согласно анализу роста объемов перевозок грузов к Северо-Западным портам за прошлые годы, в процессе изучения производственного потенциала железнодорожного коридора Москва – Санкт-Петербург были разработаны этапы увеличения провозной и пропускной способности железнодорожной линии Мга – Дмитров для первого сценария реорганизации потоков грузовых поездов [4].

В статье приведено по одному варианту для трех видов тяги (тепловозная, электрическая на переменном токе, электрическая на постоянном токе), позволяющих освоить максимальные размеры движения без укладки второго главного пути на участке Мга – Дмитров.

Савеловское направление включает в себя участки, которые в соответствии с [6] по интенсивности движения можно определить как линию с преимущественно грузовым движением 3–5 классов.

Определение пропускной способности вариантов реконструкции линии Дмитров – Мга

Наличная пропускная способность на однопутном участке определяется в соответствии с Приказом Министерства транспорта Российской Федерации от 19.07.2018 № 266 «Об утверждении Методики определения пропускной и провозной способностей

инфраструктуры железнодорожного транспорта общего пользования» в парах поездов.

При определении пропускной способности участка использовались парные графики движения [7].

Схема железнодорожных направлений в коридоре Москва – Санкт-Петербург приведена на рис.1.

Для определения «узких мест» железнодорожных направлений определяется наличная пропускная способность отдельно каждого перегона рассматриваемого участка, в данном случае участка Савёлово – Будогощь. Наличная пропускная способность определяется отношением суточного бюджета времени к периоду графика движения поездов.

Текущая техническая оснащённость Савёловского направления позволяет обеспечивать размеры движения равные 10 парам поездов в сутки. На участках Дмитров – Савёлово и Будогощь – Мга используются электропоезда постоянного тока ВЛ10У, 2ЭС4К, 3ЭС4К, а на участке Савёлово – Будогощь – тепловозы 2ТЭ116, 2М62, 2ТЭ25КМ. Ограничивающим перегонем при текущей технической оснащённости является перегон Сандово – Пестово.

Вариант 1 предусматривает введение в эксплуатацию 8 разъездов на Савёловском направлении и автоматической блокировки на участке Будогощь – Сонково – Савёлово. Тяговый подвижной состав, который используется в настоящее время (электропоезда постоянного тока ВЛ10, 2ЭС4К, 3ЭС4К и тепловозы 2ТЭ116, 2М62), заменяется новым под-

вижным составом (тепловоз 2ТЭ25КМ и электропоезда постоянного тока 2ЭС4К, 3ЭС4К). Капитальные вложения включают в себя затраты на развитие существующей инфраструктуры разъездов и автоматической блокировки.

Вариант 2 предусматривает введение в эксплуатацию 8 разъездов на Савёловском направлении, автоматической блокировки на участке Будогощь – Сонково – Савёлово и электрификацию участка Будогощь – Сонково – Савёлово переменным током с задействованием электропоездов переменного тока 2ЭС5К.

Вариант 3 предусматривает ввод в эксплуатацию 8 разъездов на Савёловском направлении и автоматической блокировки на участке Будогощь – Сонково – Савёлово и электрификацию участка Будогощь – Сонково – Савёлово постоянным током. На всем Савёловском направлении предусматривается использование электропоездов постоянного тока серии 2ЭС4К и 3ЭС4К.

Экономическая эффективность от электрификации участка Будогощь – Савёлово показана в табл. 1

Капитальные вложения, эксплуатационные расходы и сроки окупаемости Савёловского направления при реконструкции

Себестоимость перевозки груза является важнейшим обобщающим показателем, характеризу-

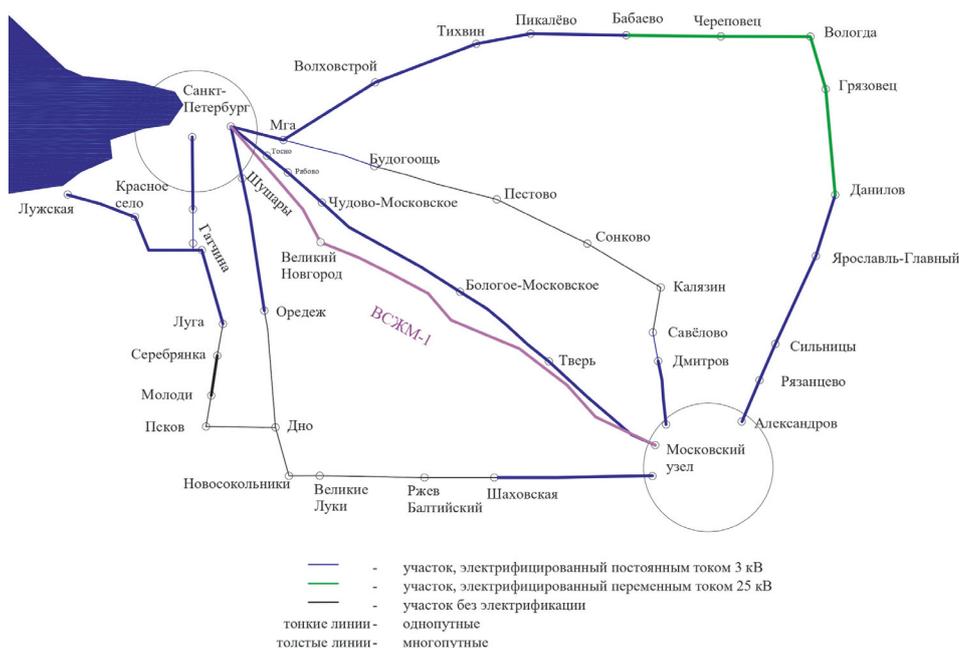


Рис. 1. Схема железнодорожных направлений в коридоре Москва – Санкт-Петербург

ющим эффективность работы железнодорожного транспорта и показателем конкурентоспособности по сравнению с прочими видами транспорта. Один из основных применимых методов расчета себестоимости грузовых перевозок – это метод единичных расходных ставок [8].

Сумма эксплуатационных расходов вычисляется следующим образом:

$$\mathcal{E}_{(\text{ОАО «РЖД»}+г.о.)i} = \mathcal{E}_{(\text{ОАО «РЖД»}i} + \mathcal{E}_{г.о.}, \quad (1)$$

где $\mathcal{E}_{(\text{ОАО «РЖД»}i}$ – всего расходов по ОАО «РЖД» при i -м виде тяге поездов (тепловозная, электровозная при переменном токе, электровозная при постоянном токе);

$\mathcal{E}_{г.о.}$ – расходы грузоотправителя по аренде вагонов.

$$\mathcal{E}_{(\text{ОАО «РЖД»}i} = \mathcal{E}_{(y.-пост.)i} + \mathcal{E}_{(y.-пер.)i}, \quad (2)$$

где $\mathcal{E}_{(y.-пост.)i}$ – условно-постоянные расходы;

$\mathcal{E}_{(y.-пер.)i}$ – условно-переменные расходы.

Условно-переменные расходы включают в себя: затраты на локомотиво-километры, локомотиво-часы, локомотиво-бригадо-часы, вагоно-километры, тонно-километры брутто вагонов и локомотивов, расходы топлива (электроэнергии) на тягу поездов, отправленные грузовые вагоны (начальные операции), грузовые отправки (хозяйство грузовой и коммерческой работы), простой под сменой локомотива.

Условно-постоянные расходы рассчитываются в процентах от условно-переменных:

$$\mathcal{E}_{(y.-пост.)i} = \frac{(MS_{пост.} + MS_{пер.}) \cdot K_{(y.-п.)эл.} + MS_{теп.} \cdot K_{(y.-п.)теп.}}{(MS_{пост.} + MS_{пер.} + MS_{теп.})} \times (\mathcal{E}_{(y.-пер.)i} + \mathcal{E}_{г.о.}), \quad (3)$$

где $K_{(y.-п.)i}$ – коэффициент пересчета условно-постоянных издержек при i -м виде тяги;

MS_i – локомотиво-километры для локомотива i -го типа.

Капиталовложения для пропуска n -го количества пар поездов в сутки с j -й пакетностью графика движения поездов при i -м виде тяги:

$$K_i = C_{пост.ij} + C_{раз.ij} + C_{фид.ij} + C_{сп.ij} + C_{т.э.ij} + \mathcal{E}_{пер.ij} + \mathcal{E}_{ст.+раз.ij}, \quad (4)$$

где $C_{пост.ij}$ – затраты на строительство приемоотправочных путей;

$C_{раз.ij}$ – затраты на строительство разъездов;

$C_{фид.ij}$ – затраты на строительство фидеров;

$C_{сп.ij}$ – затраты на строительство стрелочных переводов;

$C_{т.э.ij}$ – затраты на строительство тяговых электроподстанций;

$\mathcal{E}_{пер.ij}$ – затраты на электрификацию перегонов;

$\mathcal{E}_{ст.+раз.ij}$ – затраты на электрификацию станционных путей и разъездов [9].

В табл. 1 показаны капитальные вложения и эксплуатационные расходы для каждого из приведенных вариантов.

Электрификация линии Будогощь – Сонково – Савёлово постоянным током является перспективной в связи с ликвидацией участков с различными системами электрификации. Обслуживание электровозов может производиться на станциях Санкт-Петербургского железнодорожного узла.

Расчет сроков окупаемости производился по следующим формулам.

Срок окупаемости при электрификации постоянным/переменным током по сравнению с неэлектрифицированной линией составляет:

$$K_{ок.} = \frac{\mathcal{E}_{общ.и}}{\Delta \mathcal{E}_{эксп.}}, \quad (5)$$

где $\mathcal{E}_{общ.и}$ – суммарные затраты для i -го варианта;

$\Delta \mathcal{E}_{эксп.}$ – разница эксплуатационных расходов между вариантом с электрификацией и вариантом без электрификации за год.

Таблица 1

Капитальные вложения и эксплуатационные расходы для приведенных вариантов

Варианты реконструкции, млн руб.	Капитальные вложения, млн руб.	Эксплуатационные затраты (все издержки ОАО «РЖД» и вагонных операторов), млн руб. на пару поездов		
		Варианты пакетности		
		1	1,5	2
Вариант 1	8041,89	95,5	121,5	143,2
Вариант 2	66531,39	84,62	105,7	119,9
Вариант 3	74026,29	82,05	102,5	116,2

$$\Theta_{\text{общ.}i} = K_{\text{ин.}i} + \Theta_{\text{ОАО «РЖД»+г.о.}} \cdot 365, \quad (6)$$

где $K_{\text{ин.}i}$ – затраты на инвестиции i -го варианта.

$$\Delta \Theta_{\text{эсп.}} = \Theta_{(\text{ОАО «РЖД»+г.о.})\text{не эл.}} \cdot 365 - \Theta_{(\text{ОАО «РЖД»+г.о.})\text{эл.}} \cdot 365. \quad (7)$$

Пример. Срок окупаемости от модернизации линии Мга-Сонково-Дмитров по сравнению с неэлектрифицированной линией Мга–Сонково–Дмитров при пакетном графике с пакетностью графика движения поездов 1,5 приведен в табл. 2 (величины капитальных вложений и эксплуатационных затрат взяты из табл. 1).

Аналогично для других вариантов рассчитан срок окупаемости.

В табл. 3 представлена годовая экономия эксплуатационных расходов линии Мга – Дмитров с электрифицированным постоянным/переменным током участком Будогощь – Савёлово, по сравнению с неэлектрифицированным участком Будогощь – Савёлово.

Электрификация однопутной линии Будогощь – Савёлово показывает, что это экономически эффективно при размерах движения поездов, равных 30 парам поездов в сутки, а при размерах движения 40 пар поездов в сутки укладка второго главного пути и электрификация будут иметь небольшие сроки окупаемости.

Выводы

В статье рассмотрены конкурентоспособные варианты модернизации Савёловского направления, направленные на увеличение пропускной способности железнодорожного коридора Москва – Санкт-Петербург.

Определена пропускная способность Савёловского направления для каждого из вариантов реконструкции, произведены расчеты капитальных вложений и себестоимости грузовых перевозок с помощью метода единичных расходных ставок. Согласно данной методике показаны условно-переменные и условно-постоянные эксплуатационные расходы ОАО «РЖД» при пропуске увеличенного грузопотока в адрес портов Финского залива.

На железнодорожной линии Савёлово – Будогощь движение поездов осуществляется при помощи тепловозной тяги, но при электрификации линии и замене тепловозов электровозами экономия возможна по следующим позициям:

- сокращение эксплуатационных расходов на тягу поездов (см. табл. 3);
- электровозы постоянного или переменного тока имеют большие межремонтные пробеги и менее трудозатратны при техническом обслуживании и ремонтах;
- улучшение эксплуатационных показателей (см. табл. 3).

Согласно результатам, приведенным в табл. 3, электрификация участка Будогощь – Савёлово переменным током по сравнению с электрификацией участка Будогощь – Савёлово постоянным током имеет следующие недостатки:

- срок окупаемости на 11% больше;
- суточные эксплуатационные расходы выше на 3%;
- островные плечи локомотивов переменного тока;
- необходимость наличия депо для локомотивов переменного тока;
- неполная выработка электровозов переменного тока;

Таблица 2

Срок окупаемости финансовой составляющей Савёловского направления после модернизации

№ Варианта (вид тяги)	Капитальные вложения	Разница эксплуатационных расходов	Срок окупаемости
	$K_{\text{пер/пост/теп}}$	$\Delta \Theta_{\text{эсп.}}$	$K_{\text{ок.}}$
1 Вариант (тепловозная)	8041,89	–	–
2 Вариант (электровозная, ток переменный)	66531,39	5767	18 лет 4 мес.
3 Вариант (электровозная, ток постоянный)	74026,29	6909,45	16 лет 2 мес.

Таблица 3

Капитальные вложения и эксплуатационные расходы для приведенных вариантов

	Вид тока: постоянный (3 кВ) переменный (25 кВ)	Размер движения (пакетность)	Годовая экономия эксплуатационных расходов, млн руб.	Срок окупаемости, год, мес.
Однопутная линия Мга – Дмитров	3 кВ	24(1)	4909,25	21 г. и 3 мес.
	25 кВ	24(1)	3971,2	24 г. и 6 мес.
	3 кВ	30(1,5)	5949,5	16 лет и 2 мес.
	25 кВ	30(1,5)	7117,5	18 лет и 4 мес.
	3 кВ	34(2)	8504,5	11 лет и 11 мес.
	25 кВ	34(2)	9855	13 лет
Двухпутная линия Мга – Дмитров	3 кВ	34	10114,1	18 лет
	25 кВ	34	11437,9	19 лет 1 мес.
	3 кВ	40	11899	14 лет и 10 мес.
	25 кВ	40	13468,5	16 лет и 2 мес.

• затраты времени для смен локомотивов в преимущественном и не преимущественном направлениях на станциях Будогощь, Савёлово.

В статье указана пропускная способность однопутной линии при различных вариантах пропуска поездов на Савёловском направлении (34 пары поездов в сутки). Определены минимальные размеры движения, при которых электрификация линии экономически оправдана, это – 30 пар поездов в сутки. При этом предлагается использовать пакетную схему пропуска с пакетностью графика движения поездов 1,5. Произведен расчет потребного количества приемо-отправочных путей на отдельных пунктах, расположенных на Савёловском направлении.

Рассчитаны эксплуатационные затраты и капитальные вложения для различных вариантов пропуска поездов. Срок возврата инвестиций от экономии эксплуатационных расходов благодаря электрификации участка Будогощь – Савёлово переменным током составляет 18 лет и 4 месяца, а при электрификации участка Будогощь – Савёлово постоянным током составит 16 лет и 2 месяца.

Таким образом, наиболее целесообразным вариантом развития Савёловского направления при размерах движения менее 40 поездов в сутки является электрификация его постоянным током, внедрение 8 разъездов и обновление подвижного состава. А при размерах движения более 40 поездов в сутки – укладка второго главного пути на участке Мга – Дмитров, электрификация участка Будогощь – Савёлово постоянным током, обновление подвижного состава.



Литература

1. Возможность возвращения грузовых перевозок на главный железнодорожный ход Санкт-Петербург – Москва / С.П. Вакуленко, А.В. Колин, П.А. Егоров, К.А. Калинин. – Текст : непосредственный // Экономика железных дорог. – 2021. – № 12. – С. 31–42.
2. О целесообразности грузовых перевозок на главном железнодорожном ходу Санкт-Петербург – Москва / С.П. Вакуленко, А.В. Колин, П.А. Егоров, К.А. Калинин. – Текст : непосредственный // Железнодорожный транспорт. – 2022. – № 3. – С. 16–23.
3. Калинин, К.А. О комплексном подходе к анализу линий ВСЖМ / К.А. Калинин. – Текст: непосредственный // Вестник РГУПС. – 2021. – № 2. – С. 137–147. – DOI: 10.46973/0201–727X_2021_2_137.
4. Санкт-Петербургский транспортный узел: перспективы развития. Часть 1. Организация пригородных и пригородно-городских пассажирских перевозок железнодорожным транспортом / С.П. Вакуленко,

А.В. Колин, Д.Ю. Роменский, А.М. Насыбуллин, П.А. Кузин: монография; под ред. С.П. Вакуленко; отв. ред. Г.С. Дугин; науч.ред. С.М.Резер: Российский университет транспорта (МИИТ). –Москва: ВИНТИ РАН, 2020. –192 с. –Текст: непосредственный.

5. Эффективность эксплуатации и обслуживания малоинтенсивных железнодорожных линий: монография / С.П. Вакуленко, А.В. Колин, Н.Ю. Евреенова, Д.Ю. Роменский, К.В. Голиков; отв. ред Г.С. Дугин; Российская академия наук, Российский университет транспорта (МИИТ). –Москва: ВИНТИ РАН, 2018. –217 с. –ISBN 978-5-902928-79-9. –Текст: непосредственный.

6. Сводная ведомость классов и специализации железнодорожных линий ОАО «РЖД», утверждена распоряжением ОАО «РЖД» от 31.12.2015 г. №3188р.

7. Абрамов А.А. Управление эксплуатационной работой: учеб. пособие / А.А. Абрамов. –Ч.2: График движения поездов и пропускная способность: –Москва: РГОТУПС,2002. –171 с. –ISBN 5-7473-0116-0. – Текст: непосредственный.

8. Себестоимость железнодорожных перевозок: учебник для студентов вузов ж.-д. трансп./ Н.Г. Смехова, А.И. Купоров, Ю.Н. Кожевников [и др.]; под ред. Н.Г. Смеховой, А.И. Купорова. –Москва: Маршрут, 2003. –496 с. –ISBN 5-89035-091-9. –Текст: непосредственный.

9. Экономика транспорта: учебник и практикум для вузов / Е.В. Будрина [и др.]; под ред. Е.В. Будриной. –Москва: Издательство Юрайт, 2023. –366 с. –(Высшее образование). –ISBN 978-5-534-00238-6. –Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. –URL: <https://urait.ru/bcode/511635> (дата обращения: 23.01.2023).

МЕТОДИКА СБОРА ДАННЫХ О ТЕХНИЧЕСКОМ СОСТОЯНИИ ЦЕЛЬНОКАТАНЫХ КОЛЕС, НАХОДЯЩИХСЯ В ЭКСПЛУАТАЦИИ

В статье рассмотрена методика сбора данных о техническом состоянии цельнокатаных колес, находящихся в эксплуатации. Показан алгоритм получения первичных исходных данных о техническом состоянии колес, поступающих в депо на освидетельствование. Дан образец заполнения натурального колесного листа.

Ключевые слова: технологические процессы, подвижной состав, технологическая документация, вагоноремонтное производство

EDN: GTSRLD

Методика устанавливает алгоритм получения информации о техническом состоянии цельнокатаных колес на предприятиях, ремонтирующих пассажирские вагоны.

В основе настоящей методики получения первичных исходных данных лежит технология освидетельствования колесных пар, применяемая в настоящее время в пассажирских вагонных депо (ЛВЧД). Однако применяемая в настоящее время в ЛВЧД технология освидетельствования не может быть напрямую (без изменений) использована для получения данных о техническом состоянии цельнокатаных колес, так как вся информация, формируемая в процессе освидетельствования, «привязана» к номеру колесной пары, а не к номеру колеса. Номер колесной пары определяется в учетных формах по номеру оси, а колеса



К.А. Сергеев



О.И. Мироненко

обозначаются, как «правое» и «левое». Поэтому для получения данных о техническом состоянии конкретного колеса необходимо иметь дополнительную информацию о привязке колеса к оси в любой момент времени в течение его жизненного цикла.

В общем случае необходимую первичную информацию о техническом состоянии цельнокатаных колес можно получить разными способами:

- путем корректировки технологии ведения учетных форм, применяемой в настоящее время в ЛВЧД при освидетельствовании колесных пар и проведении натурального обследования парка колес вагонов, приписанных к конкретному ЛВЧД;
- путем создания деповской базы данных «Электронные паспорта колесных пар пассажирских вагонов, приписанных к конкретному ЛВЧД»;

Сергеев Константин Александрович, доктор технических наук, доцент кафедры «Нетяговым подвижной состав» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: технологическая подготовка производства вагоноремонтных предприятий. Автор 139 научных работ, в том числе двух монографий.

Мироненко Олег Игоревич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Нетяговым подвижной состав» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: динамика систем, организация вагонной отрасли, дистанционные образовательные технологии. Автор 27 научных работ, в том числе четырех учебных пособий.

Кривич Ольга Юрьевна, кандидат технических наук, доцент, начальник Учебного отдела учебно-методического многофункционального центра Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: повышение эффективности технологической подготовки вагоноремонтного производства, оценка потребительских свойств продукции железнодорожного транспорта. Автор 56 научных работ.

• путем создания общесетевой базы данных «Электронные паспорта колесных пар», как это делается в настоящее время в грузовых вагонных депо.

Все эти способы реальны, не противоречат, а дополняют друг друга. В частности, проведение натурного обследования парка колес вагонов, приписанных к ЛВЧД, позволит собрать информацию для создания деповской, а затем и общесетевой баз данных «Электронные паспорта колесных пар пассажирских вагонов». Настоящая методика регламентирует первый из вышеперечисленных способов получения первичных исходных данных.

1. Алгоритм получения первичных исходных данных о техническом состоянии колес, поступающих в депо на освидетельствование (ежедневное непрерывное обследование)

1.1. Первую операцию выполняет мастер (или другой работник) колесно-роликового производственного участка (далее КРУ) пассажирского депо, а именно:

- заполняет (как заполнял до обследования) форму ВУ-51;
- вносит в ВУ-51 дополнительные экспериментальные данные (рис. 1).

Примечание: дополнительная информация снимается (списывается) с наружной грани обода каждого колеса (рис. 2).

1.2. Вторую операцию выполняет мастер (или другой работник) колесно-роликового производственного участка пассажирского депо, а именно:

- заполняет (как заполнял до обследования) журнал ВУ-53;
- ксерокопирует журнал ВУ-53.

Форма ВУ-51
Утверждена МПС в 1978 г.
Составляется в одном экземпляре

ж. д. 8
Натурный колесный листок
приход 4011

Дата поступления	№ классиф. пары	Тип	Диаметр обода по колесу	Дата и пункт последнего формирования	последнего освидетельствования и монтажа в вагон родильного цеха/депо
10.11.09	39-85	РУ 1	903	10.8-11-03	231-III-06

Включена в код вагона: 94660719
Поступила от ВЧД, ВКМ, завода, ЦПО: _____
№ инспекционной ведомости: _____
Исправная (нового формирования или отремонтированная) репарация (по факту по классификации): 14
Вид требуемого ремонта: Дем ОК

19... г. *op- [подпись]* Подпись: *[подпись]*

Рис. 1. Образец заполнения натурального колесного листа

1.3. Третью операцию «Пробег вагона» выполняет оператор вагонной группы депо. Он распечатывает электронные паспорта вагонов, из-под которых выкачены колесные пары.

1.4. Четвертую операцию обследования «Группирование полученной информации» выполняет мастер (или другой работник) КРУ. Он собирает документы за смену, а именно:

- ксерокопии заполненных листков ВУ-51 (см. образец на рис. 1);
- ксерокопии заполненных страниц журнала ВУ-53;

• электронные паспорта вагонов, из-под которых выкачены колесные пары сменной программы КРУ.

Технология получения первичных данных о состоянии цельнокатаных колес приведена в таблице.

Исходная информация — данные, полученные по вышеуказанному алгоритму, содержатся в трех группах документов:

- натурные колесные листки ВУ-51 (ксерокопии);
- страницы журнала ВУ-53 (ксерокопии);
- паспорта вагонов, из-под которых выкачены колесные пары сменной программы (ксерокопии).

В этих типовых документах содержится достаточно много информации, которая не относится к решению поставленных в настоящей работе задач. Поэтому необходимо выбрать информацию, относящуюся только к цельнокатаным колесам. Перечень первичных исходных данных о техническом состоянии цельнокатаных колес, необходимых для последующей оценки их потребительских свойств, приведен в соответствующих документах.

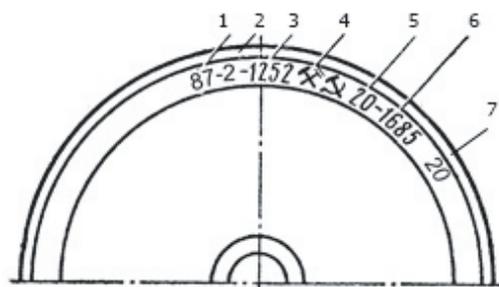


Рис. 2. Знаки на колесе: 1 – год; 2 – сталь; 3 – плавка; 4 – клейма МПС; 5 – изготовитель колеса; 6 – номер колеса; 7 – собственник

Таблица 1

Технология получения первичных данных о техническом состоянии цельнокатаных колес на предприятиях, ремонтирующих пассажирские вагоны

№ операции	Наименование операции	Исполнитель	Место проведения операции	Оборудование, оснастка	Содержание операции
001	Получение первичных данных для «Натурного колесного листа» ВУ-51	Мастер (или другой работник КРУ)	Площадка для натурной описи ступивших колесных пар	Измерительный инструмент	1.1 Заполнить «Натурный колесный листок» (как обычно) ВУ-51 1.2 Внести в ВУ-51 дополнительную информацию о правом и левом колесах 1.3 Заполнить листки ВУ-51 для всех поступающих в депо колесных пар 1.4 Сделать ксерокопии заполненных листков
002	Получение первичных данных для «Журнала ремонта и оборота колесных пар» ВУ-53»	Мастер (или другой работник КРУ)	КРУ	Измерительный инструмент, шаблоны, дефектоскопы	2.1 Заполнить «Журнал ремонта и оборота колесных пар» ВУ-53 (как обычно) 2.2 Сделать ксерокопии заполненных страниц журнала ВУ-53
003	Получение первичных данных о пробеге вагона, из под которого выкачена колесная пара	Оператор вагонной группы	Рабочее место оператора вагонной группы	ПЭВМ, АСУПВ	Распечатать электронные паспорта вагонов, из-под которых выкачены колесные пары
004	Группирование полученной информации	Мастер (или другой работник КРУ)	КРУ	Папка скоросшиватель, степлер	Собрать и скрепить в единый пакет документы, полученные за конкретную смену, а именно: • ксерокопию заполненных листов ВУ-51; • ксерокопию заполненных страниц журнала ВУ-53; • электронные паспорта вагонов, из-под которых выкачены колесные пары сменой программы КРУ.

ПРОБЛЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РЕЛЕЙНЫХ СИСТЕМ АВТОБЛОКИРОВКИ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ МОНТАЖА ОБОРУДОВАНИЯ



В.С. Кузьмин



А.К. Табунщиков

В статье рассмотрены вопросы обеспечения функциональной безопасности систем интервального регулирования движения поездов на примере системы числовой кодовой автоблокировки. На основе результатов анализа сформулированы основные требования к техническим решениям, направленным на исключение случаев ложной свободности из-за изменений монтажа оборудования.

Ключевые слова: интервальное регулирование, железнодорожная автоматика и телемеханика, изменение алгоритма работы

EDN: SZXLXB

Опасные необнаруживаемые отказы устройств железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ) являются одной из основных причин перехода ответственного технологического процесса движения поездов в опасное состояние. Такие опасные отказы представляют собой некорректное поведение устройств ЖАТ, при котором формируются приказы разрешения на движение, не соответствующие фактической поездной обстановке или состоянию объектов инфраструктуры (в частности, положению стрелок), причем существующие технические меры в виде систем технической диагностики и мониторинга, а также внешние признаки не позволяют локомотивным устройствам безопасности, локомотивным бригадам и дежурно-диспетчерскому персоналу своевременно сформировать меры по переводу технологического процесса движения поездов в безопасное состояние. На практике такие

отказы называют ложной свободностью (рельсовой цепи или в более общем виде - путевого участка).

Возможны три причины возникновения необнаруживаемых опасных отказов устройств ЖАТ:

- поступление на вход функционального блока устройства ЖАТ, используемого для проверки условий по безопасности и формирования приказов разрешения (запрета) на движение, некорректной информации о текущей поездной обстановке и состоянии объектов инфраструктуры;
- изменение алгоритма работы устройств ЖАТ в части исключения проверки одного или нескольких условий по безопасности при формировании приказов разрешения (запрета) на движение;
- исключение влияния функционального блока, используемого для проверки условий по безопасности и формирования приказов разрешения (запрета)

Кузьмин Владислав Сергеевич, ассистент, аспирант кафедры «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: исследование и разработка технических и организационных мер для повышения качества технического обслуживания и ремонта локомотивных устройств безопасности. Автор 55 научных работ. Имеет 29 патентов на изобретения.

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

Антонов Антон Анатольевич, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: исследование и разработка элементов индуктивной связи систем регулирования движения поездов. Автор 20 научных работ. Имеет четыре патента на изобретения.

на движение, на транслируемый устройством ЖАТ тип сигнала разрешения на движение (формирование приказов разрешения на движение вне зависимости от результата проверки условий по безопасности).

Вопросы, связанные со снижением вероятности возникновения или исключением опасных необнаруживаемых отказов устройств ЖАТ определенных видов, рассматриваются при решении задач обеспечения их функциональной безопасности. В рамках соответствующей теории были детерминированы основные дестабилизирующие факторы, приводящие к возникновению рассматриваемых необнаруживаемых опасных отказов: отказы непосредственно устройств ЖАТ; мешающее влияние на работу устройств ЖАТ внешних факторов; ошибки, появление которых связано с выполнением работ по техническому обслуживанию и ремонту устройств ЖАТ [1]. Также были разработаны методы обеспечения функциональной безопасности [2;3]. В настоящее время в качестве одного из наиболее перспективных направлений в данной области рассматривается создание систем, использующих цифровые двойники и технологии, связанные с искусственным интеллектом. По мнению авторов их применение позволит добиться повышения уровня безопасности движения поездов [4;5].

Несмотря на развитие теории, на практике задача обеспечения функциональной безопасности для находящихся в эксплуатации в течение уже продолжительного времени систем и устройств ЖАТ на релейной элементной базе остается достаточно актуальной. Известны случаи, когда опасное состояние ответственного технологического процесса движения поездов возникает и по причине некорректного поведения схем, содержащих реле первого класса надежности, вследствие изменений в монтаже между отдельными функциональными блоками. В случае, описанном в [6], изменение монтажа между приборами в рамках выполнения работ по ремонту привело к изменению алгоритма работы отдельной сигнальной установки системы регулирования движения поездов. Последнее послужило причиной транспортного происшествия, приведшего к столкновению попутно следующих поездов.

В отношении систем интервального регулирования движения поездов, выполненных на релейной элементной базе, вопросы контроля правильности монтажа рассматривались достаточно редко. Среди основных работ в данной области техники следует считать [7], в которой в качестве причин появления ошибок в монтаже, выполненном по электронной документации, рассматривались изменения, возникающие в результате кибератаки на соответствующие базы данных. В [8] было предложено устройство, предна-

значенное для обнаружения факта изъятия приборов из релейной схемы. При этом следует отметить, что в указанных работах задача контроля ошибок монтажа в релейных системах интервального регулирования движения поездов с децентрализованным размещением оборудования, в частности для системы числовой кодовой автоблокировки переменного тока, не рассматривалась.

С учетом этого, целью настоящей работы является разработка технических мер по предупреждению столкновения поездов из-за изменений монтажа в системах регулирования и управления движением поездов с децентрализованным размещением оборудования.

Для достижения поставленной цели первоначально следует осуществить анализ функционирования отдельной сигнальной установки системы числовой кодовой автоблокировки на предмет необнаруживаемых другими функциональными блоками системы, локомотивными устройствами безопасности, локомотивными бригадами или дежурно-диспетчерским персоналом железных дорог отказов в форме ложной свободности одного или нескольких путей участков.

В общем виде структурная схема, описывающая взаимодействие отдельной сигнальной установки систем интервального регулирования движения поездов с децентрализованным размещением оборудования с внешними источниками и потребителями информации (терминалами) приведена на рис. 1.

Канал *A* обеспечивает передачу локомотивным бригадам с использованием путей светофоров приказов разрешения на движение, содержащих информацию о допустимой и при необходимости предупредительной скоростях движения для путевого участка между любыми двумя последовательно расположенными сигнальными установками, например $N+1$ и N . Канал *B* обеспечивает функционирование системы автоматической локомотивной сигнализации и взаимодействие с основными локомотивными устройствами безопасности. Канал *C* необходим для контроля состояния ограждаемого сигнальной установкой путевого участка. Канал *D* используется в системах сигнализации с числом приказов разрешения на движение больше одного для трансляции информации о состоянии путей участков, следующих за ограждаемым. При необходимости может быть введен канал *E* (на рис. 1 не показан) для организации взаимодействия сигнальной установки с системами диспетчерской централизации или контроля, а также системами технической диагностики и мониторинга. Каналы *B*, *C* и *D* являются логическими, могут быть разделены (по времени, частоте, применяемому коду или по среде распространения сигналов) или же использовать одну

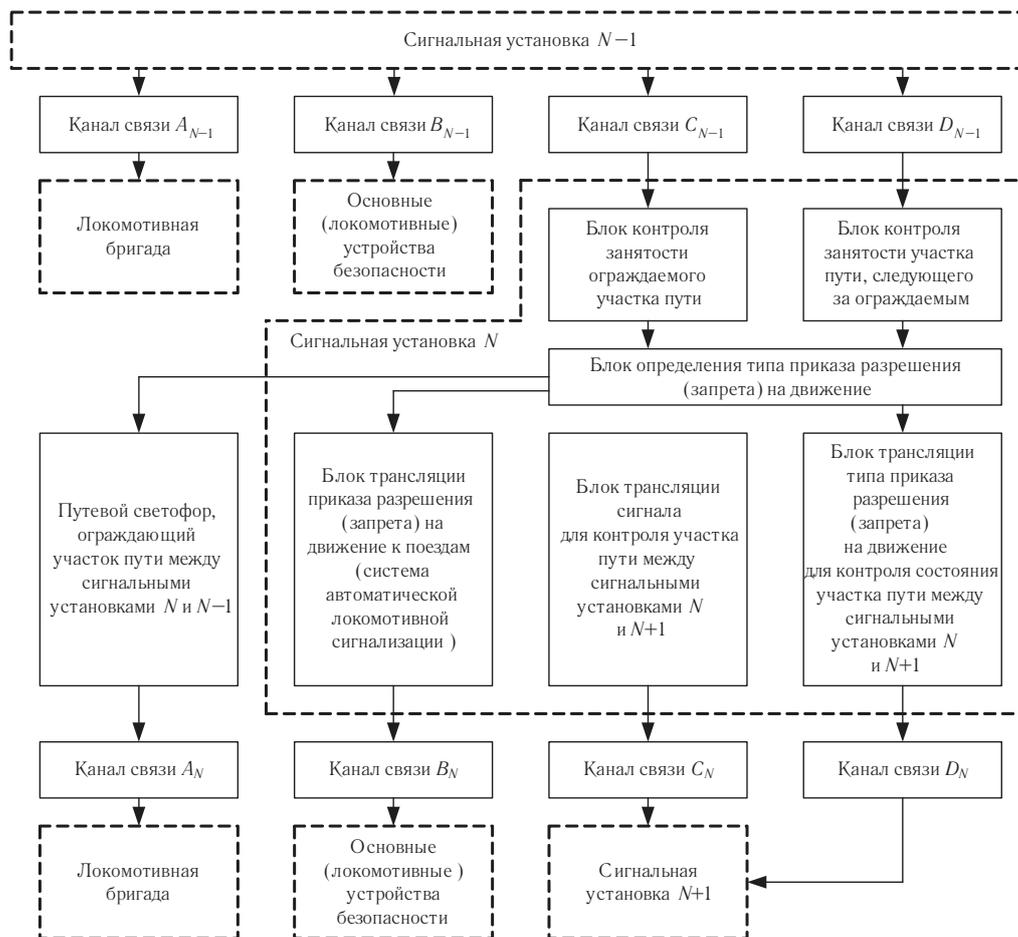


Рис. 1. Обобщенная структурная схема, описывающая взаимодействие сигнальных установок систем интервального регулирования движения поездов с децентрализованным размещением оборудования между собой и с другими системами

и ту же линию связи как в случае с числовой кодовой автоблокировкой.

Анализ обобщенной структурной схемы позволяет определить общий признак необнаруживаемых со стороны локомотивных бригад опасных отказов устройств ЖАТ — трансляция одинаковых приказов разрешения на движение по каналам A и B , т.е. с использованием путевых светофоров и средств автоматической локомотивной сигнализации. Отметим, что в случаях, когда информация, поступающая по каналам A и B различается, отказ следует считать обнаруживаемым локомотивными бригадами. Однако даже в этом случае следует принимать меры по автоматическому ограничению скорости на основании более запрещающего приказа.

Для анализа возможных причин возникновения ложной свободности путевых участков в системах интервального регулирования движения поездов с

децентрализованным размещением оборудования на примере числовой кодовой автоблокировки разработана модель, описывающая в форме диаграммы потоков данных работу отдельной сигнальной установки (рис. 2).

Результаты анализа диаграммы потоков данных показывают, что единственно возможным с практической точки зрения искажением информации в системе является искажение информации на входе или выходе реле Ж, которое хранит в себе информацию о текущем (с учетом инерционности системы) состоянии оградяемой рельсовой цепи и оказывает влияние на последующее формирование приказов разрешения на движение поездов как путевым светофором, так и транзитным реле. Именно такое искажение информации и послужило причиной столкновения на перегоне Алеур—Бушулей [6]. Искажения информации в других точках (см. рис. 2) также возможны, но

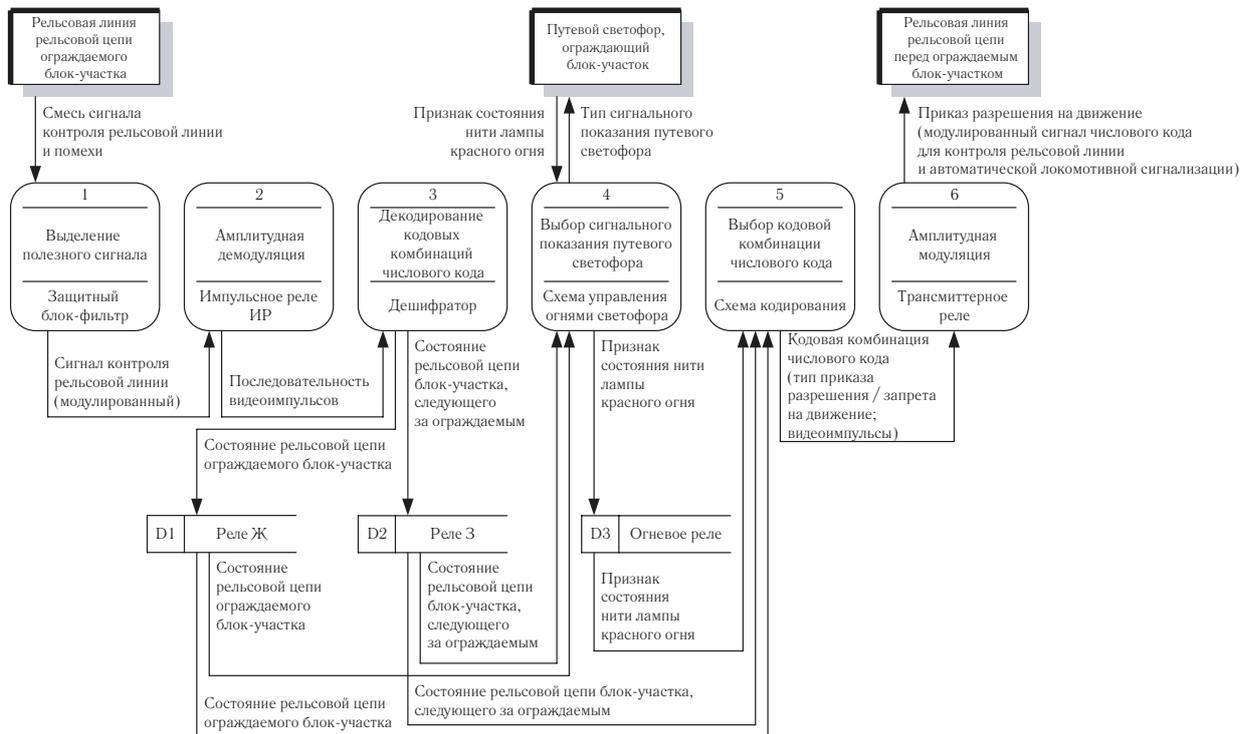


Рис. 2. Диаграмма потоков данных системы регулирования движения поездов с децентрализованным размещением оборудования (на примере сигнальной установки числовой кодовой автоблокировки переменного тока)

являются труднореализуемыми в полевых условиях: потребуется применение дополнительного оборудования или создание значительного количества новых соединений (информационных связей).

Разработку технических мер по предупреждению столкновения поездов из-за изменений монтажа в системах регулирования и управления движением поездов с децентрализованным размещением оборудования следует начать с определения требований к их функционированию. В общем виде технические решения должны обеспечивать:

- обнаружение опасных отказов в работе сигнальной установки системы интервального регулирования с децентрализованным размещением оборудования, заключающееся в формировании приказов разрешения на движение, не соответствующих фактической поездной обстановке;
- уведомление дежурно-диспетчерского персонала об ошибочных приказах разрешения на движение, формируемых системой регулирования движения поездов, с указанием соответствующего путевого участка;
- уведомление локомотивных бригад об ошибочных приказах разрешения на движение, формируемых соответствующими путевыми светофорами или

локомотивным светофором по сигналам от путевых устройств;

- автоматическое снижение фактической и допустимой скоростей движения на участках приближения к сигнальной установке, формирующей ошибочные приказы разрешения на движение, с использованием локомотивных устройств безопасности.

Техническое решение, направленное на обнаружение опасных отказов систем регулирования движения поездов с децентрализованным размещением оборудования, должно учитывать инерционность системы при формировании ею приказов разрешения на движение. В качестве формируемых приказов разрешения на движение должны рассматриваться не только сигнальные показания путевых светофоров, но и транслируемые в рельсовые линии сигналы автоматической сигнализации. Данная мера позволит снизить влияние возможных рисков, связанных с человеческим фактором при наличии обнаруживаемых опасных отказов систем регулирования (несоответствие сигнальных показаний локомотивного и путевого светофоров) на уровень безопасности движения поездов.

Рассмотрим общие принципы обнаружения опасных отказов в работе отдельной сигнальной установки.

Как уже было отмечено ранее, типовые блоки, хранящие информацию о фактическом состоянии ограждаемой рельсовой цепи, например, только реле Ж контролируемой сигнальной установки, не могут служить достоверным источником информации. Учитывая это, возможны следующие варианты контроля работы отдельной сигнальной установки:

1. По сигналу контроля ограждаемой рельсовой линии и формируемым на его основании с учетом инерционности системы приказам разрешения на движение.

2. Централизованно по состоянию сигнальных реле контролируемой и следующей по ходу движения сигнальной установки.

Первый вариант (рис. 3,а) позволяет осуществлять проверку условий по безопасности и формирование приказов запрета на движение децентрализовано. При этом для решения задачи обнаружения опасных отказов не требуется организации дополнительного канала передачи информации. Следует отметить, что применяемое в таком случае оборудование является сложным, так как требует использование двух каналов обработки аналоговых сигналов, включающих в себя фильтры, амплитудные демодуляторы и дешифраторы для получения информации о типах приказов разрешения (запрета) на движение, поступающих из ограждаемой рельсовой линии и транслируемых в рельсовую линию, предшествующую ограждаемой.

Второй вариант (рис. 3,б), хотя и требует построения каналов связи между каждой сигнальной уста-

новкой и блоком централизованного контроля, но при этом выглядит более предпочтительным. При таком варианте реализации оказывается возможным оперировать только логическими сигналами, что позволяет существенно упростить работу блока контроля и обеспечить уведомление дежурно-диспетчерского персонала.

Вариант, при котором обнаружение ошибок может осуществляться по состоянию сигнальных реле следующей по ходу движения сигнальной установки и формируемым с учетом инерционности системы приказам разрешения на движение предшествующей сигнальной установки, не рассматривается, так как допускает возможность искажения информации при использовании проводных линий связи для организации информационного взаимодействия между блоками контроля смежных сигнальных установок.

С учетом выбранного варианта реализации контроля, отдельную сложность представляет решение задачи передачи в автоматическом режиме на поезда информации о достоверности приказов разрешения на движение, поступающих от путевых устройств. Здесь возможны несколько вариантов. Первый сводится к недопуску трансляции в рельсовую линию ложных приказов разрешения на движение. Такой вариант, хотя и является достаточно простым с точки зрения реализации, имеет существенный недостаток, заключающийся в возможности его обхода изменением монтажа той же сигнальной установки. Второй вариант — организация дополнительного канала передачи

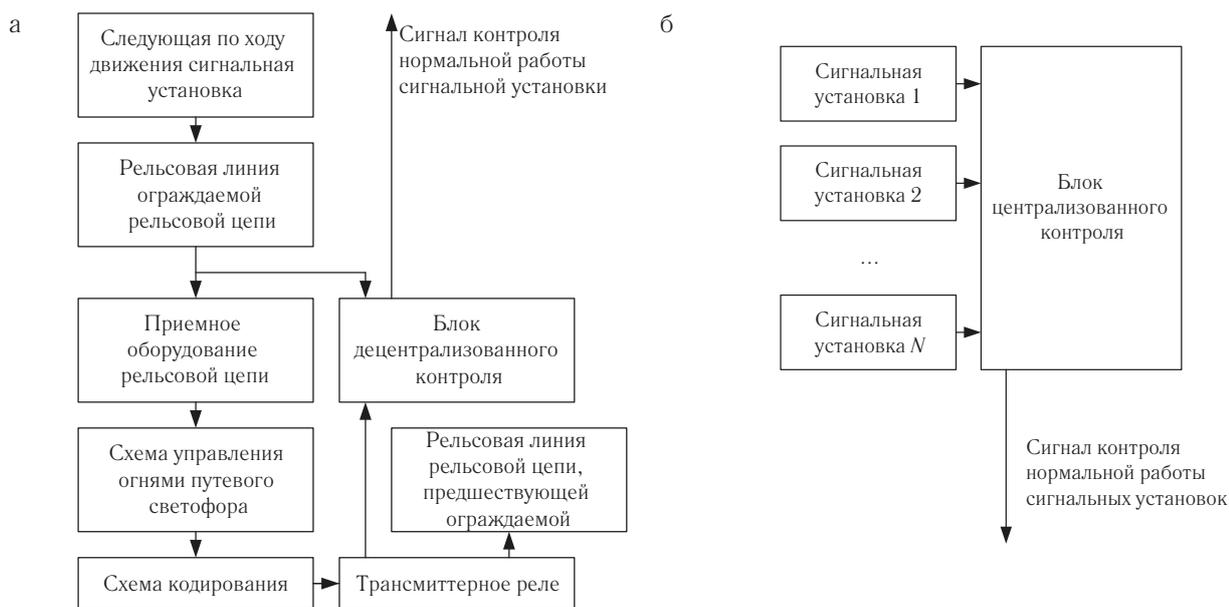


Рис. 3. Варианты реализации контроля опасных отказов в децентрализованных системах регулирования движения поездов

информации «путь — локомотив». Примером применения дополнительного канала может служить решение, описанное в [9]. Ключевой особенностью при реализации такого варианта должна быть независимость канала передачи приказов разрешения на движение и канала передачи информации о достоверности таких приказов. В рамках данного направления специалистами кафедры «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте» Российского университета транспорта разработан ряд технических решений, в частности [10].

Предложенное решение работает следующим образом. С использованием технических средств диагностики и мониторинга непрерывно контролируется состояние сигнальных реле. На основе полученных данных о состоянии сигнальных реле каждой отдельной сигнальной установки непрерывно определяют тип приказа разрешения на движение, формируемого сигнальной установкой и регистрируют его. Кроме того, непрерывно логически контролируют проследование поездов по перегону.

В случае возникновения ложной свободности ввиду отказа сигнальной установки (из-за ее неисправности или же по причине внешнего вмешательства в ее работу) формируют известительные сигналы к дежурно-диспетчерскому персоналу и поездам, находящимся на соответствующем пути перегона и приближающимся к соответствующему путевому участку. Тем самым обеспечивается предварительное информирование причастного персонала железных дорог об отсутствии правильной работы отдельной сигнальной установки системы интервального регулирования движения поездов, снижается уровень неопределенности,

при котором персоналу предстоит принимать решения о реализации процесса движения поездов.

При приближении к соответствующему путевому участку, приказы разрешения на движение для которого не являются верными, на расстоянии одного блок-участка формируют и передают к поезду сигнал об ограничении допустимой скорости до уровня, обеспечивающего возможность остановки при обнаружении локомотивными бригадами препятствия движению поезда. Сигнал формируется путевыми устройствами и передается к поезду по каналам автоматической локомотивной сигнализации: по линиям индуктивной связи (рельсовым линиям) или по радиоканалу. При этом каналы, по которым передаются приказы разрешения (запрета) на движение и сведения о достоверности таких приказов, должны быть разделены по частоте, применяемому коду или среде распространения сигналов. Получение на поезде сигнала об ограничении допустимой скорости до уровня, обеспечивающего возможность остановки при обнаружении препятствия движению поезда, позволяет далее реализовать физическое ограничение скорости посредством алгоритмов работы бортовых устройств безопасности, исключая или по крайней мере существенно снижая последствия столкновения поездов на перегоне.

Диаграмма потоков данных, описывающая особенности взаимодействия блока контроля с внешними терминалами для предложенного решения, приведена на рис. 4.

Разработанные технические решения используют инфраструктуру внешних систем, в частности систем диагностики и мониторинга, диспетчерской централи-

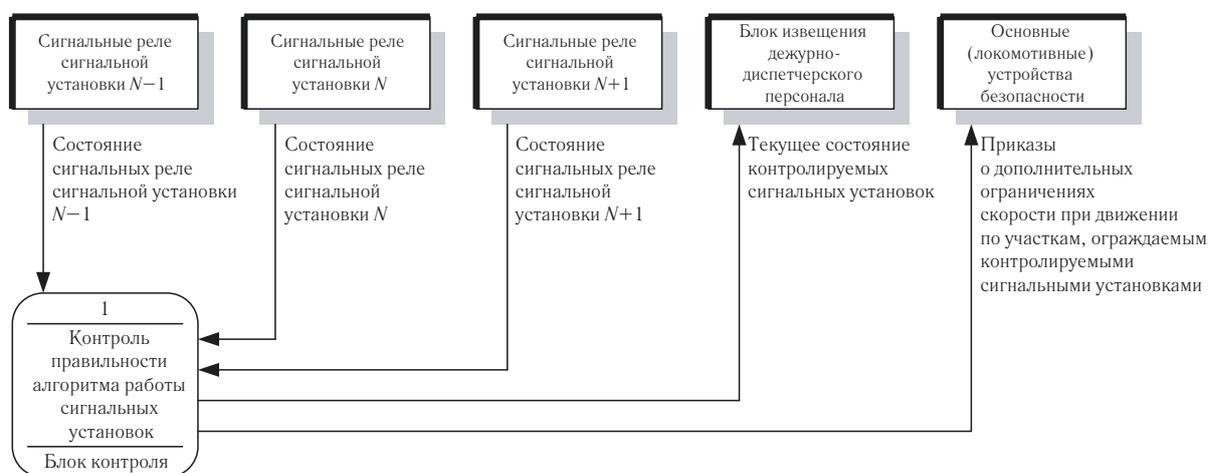


Рис. 4. Диаграмма потоков данных, описывающая взаимодействие блока контроля с внешними терминалами

зации или контроля для принятия решений о регулировании фактической и допустимой скоростей движения поездов на участке пути.

Следует отметить, что для решения задачи по предупреждению столкновения поездов из-за изменения монтажа элементов систем интервального регулирования движения поездов возможен и иной подход: изменение алгоритма функционирования только основных локомотивных локомотивное устройство безопасности может включать дополнительное ограничение скорости на небезопасном расстоянии от впередилежащего препятствия — другого железнодорожного подвижного состава. Данный недостаток увеличивает риски столкновения поездов в условиях ограниченной видимости.

В заключении следует отметить, что при построении любого из рассмотренных технических решений имеет место следующее допущение: одновременное (с учетом инерционности системы интервального регулирования движения поездов) изменение монтажа двух последовательно размещаемых на перегоне сигнальных установок будем считать пренебрежимо малым.

Заключение

На основе предложенных обобщенной структурной схемы и диаграммы потоков данных, описывающих функционирование отдельной сигнальной установки, были определены основные признаки необнаруживаемых опасных отказов систем интервального регулирования движения поездов с децентрализованным размещением оборудования. В результате разработки технических мер по предупреждению столкновения поездов из-за изменений монтажа в системах регулирования и управления движением поездов с децентрализованным размещением оборудования предложено использовать блок централизованного контроля, так как такое решение позволит как упростить принципы его работы, так и существенно снизить влияние человека на работу предлагаемых технических решений. Для исключения столкновения поездов следует обеспечить передачу сигнала запрета на движение или приказа разрешения на движение с существенным ограничением скорости с использованием собственного канала автоматической локомотивной сигнализации.

Полученные результаты предполагается использовать при разработке технических решений, направленных на обеспечение функциональной безопасности систем регулирования движения поездов с децентрализованным размещением оборудования. 

Литература

1. Озеров, А.В. О подходах к обеспечению функциональной безопасности и надежности железнодорожных систем управления / А.В. Озеров. — Текст: непосредственный // Наука и технологии железных дорог. — 2021. — Т.5, №2(18). — С. 74–81.
2. Лисенков, В.М. Статистическая теория безопасности движения поездов: учебник для вузов / В.М. Лисенков. — Москва: ВИНТИ РАН, 1999. — 332 с. — ISBN 5-900242-29-3. — Текст: непосредственный.
3. Лисенков, В.М. Безопасность технических средств в системах управления движением поездов: монография / В.М. Лисенков. — Москва: Транспорт, 1992. — 192 с. — ISBN 5-277-01322-9. — Текст: непосредственный.
4. Шубинский, И.Б. О функциональной безопасности сложной технической системы управления с цифровыми двойниками / И.Б. Шубинский, Х. Шебе, Е.Н. Розенберг. — Текст: непосредственный // Надежность. — 2021. — Т.21, №1. — С. 38–44. — DOI 10.21683/1729-2646-2021-21-1-38-44.
5. Шубинский, И.Б. Цифровые технологии в обеспечении функциональной безопасности систем управления / И.Б. Шубинский, Е.Н. Розенберг. — Текст: непосредственный // Железнодорожный транспорт. — 2021. — №12. — С. 14–19.
6. Информационное письмо по случаю транспортного происшествия, допущенного 03.08.2021 на перегоне Алеур — Бушулей Забайкальской железной дороги — филиала ОАО «РЖД». — Текст: электронный // Уральское управление государственного железнодорожного надзора Федеральной службы по надзору в сфере транспорта (Уральское УГЖДН Федеральной службы по надзору в сфере транспорта) (г. Екатеринбург): РОСТРАНСНАДЗОР: официальный сайт. — 2021. — URL: <https://uugzdn.tu.rostransnadzor.gov.ru/%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8/novostiural/document/70920> (дата обращения 20.08.2022).

7. Ошибки в технической документации железнодорожной автоматики и телемеханики и их влияние на безопасность движения поездов / М.Н. Василенко, В.П. Бубнов, П.Е. Булавский, П.А. Василенко. – Текст: непосредственный // Автоматика на транспорте. – 2019. – Т. 5., №1. – С. 94–112. – DOI 10.20295/2412-9186-2019-1-94-112.

8. Патент №2238865 Российская Федерация, МПК В61L 3/20 (2000.01). Устройство интервального регулирования движения поездов: № 2001103004/11: заявл. 01.02.2001: опубл. 27.10.2004 / Полевой Ю.И., Яковлев В.Н., Звездин И.Н., Полевая Л.В., Яковлева Л.Ф. Трошина М.В.; Полевой Юрий Иосифович, Яковлев Вениамин Николаевич, Звездин Игорь Николаевич, Полевая Людмила Владимировна, Яковлева Людмила Федоровна, Трошина Марина Васильевна. – 6 с. : ил. – Текст: непосредственный.

9. Патент № 2491198 Российская Федерация, МПК В61L 3/12, В61L 25/00 (2006.01). Способ интервального регулирования движения поездов на перегоне с автоблокировкой и устройство для его осуществления : № 2012104346/11: заявл. 08.02.2012: опубл. 27.08.2013 / Воронин В.А., Марков А.В., Мурин С.А., Племяшов С.И., Розенберг Е.Н., Шухина Е.Е.; Открытое акционерное общество «Российские железные дороги». – 9 с.: ил. – Текст: непосредственный.

10. Патент №2775906 Российская Федерация, МПК В61L 3/12 (2006.01). Способ интервального регулирования движения поездов с использованием блок-участков и обнаружением коллизий: №2021136830: заявл. 13.12.2021: опубл. 11.07.2022 / Кузьмин В.С., Рожков А.С., Петров С.А., Табунщиков А.К.; Кузьмин Владислав Сергеевич. – 13 с.: ил. – Текст: непосредственный.

ДИНАМИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ЭКИПАЖА НА ВЯЗКО-УПРУГУЮ ПЛИТУ ОСНОВАНИЯ ГОРОДСКОГО ТРАНСПОРТА



Л.А. Илларионова



А.А. Локтев

В статье рассматриваются задачи определения динамического поведения плоских элементов с различными реологическими свойствами, в том числе с анизотропными свойствами. К таким элементам можно отнести железобетонные конструкции, из которых выполнено верхнее строение железнодорожного безбалластного пути или легкорельсового городского транспорта.

Ключевые слова: городской транспорт, безбалластное основание, упругая волна, математическая модель, динамическая нагрузка

EDN: CHMOKL

В наши дни все чаще можно встретить проектирования системы безбалластных путей для высокоскоростной и обычной железнодорожной инфраструктуры, в особенности для систем метро и легкорельсового транспорта.

Безбалластный путь, несомненно, имеет ряд преимуществ перед путем на балласте, таких как: четкая геометрия в плане, отсутствие вылета и взбалтывание частиц щебня, долгий срок службы, отсутствие проблем с контролем растительности на пути, уменьшение высоты конструкции. Основные преимущества безбалластного пути в туннелях заключаются в том, что основание (бетонное или асфальтовое) может быть непосредственно вставлено в основание туннеля,

а его строительная высота будет ниже, чем у пути с балластом, что позволяет уменьшить площадь поперечного сечения туннеля [1]. С уменьшением размера также может быть достигнуто значительное снижение затрат, к тому же практически отсутствует техническое обслуживание на этапах эксплуатации.

В отличие от балласта, безбалластная путевая система заменяется слоями из бетонно-битумной смеси или асфальта, поэтому имеет меньшую пластическую деформацию. Как правило, безбалластные пути состоят из стальных рельсов, железнодорожных скреплений и железобетонных плит [2;3].

Для уменьшения последствий динамического воздействия от подвижного состава используется кон-

Илларионова Лилия Алексеевна, старший преподаватель кафедры «Здания и сооружения на транспорте» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: проектирование объектов транспортной инфраструктуры, железнодорожный путь. Автор 29 научных работ.

Локтев Алексей Алексеевич, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой «Транспортное строительство» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: механика деформированного тела, моделирование объектов транспортной инфраструктуры, железнодорожный путь, реконструкция объектов исторического и архитектурного наследия. Автор 190 научных работ, в том числе трех монографий.

Боков Сергей Сергеевич, ассистент кафедры «Здания и сооружения на транспорте» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: моделирование объектов транспортной инфраструктуры, технологии информационного моделирования, системы автоматизированного проектирования строительных конструкций. Автор шести научных работ.

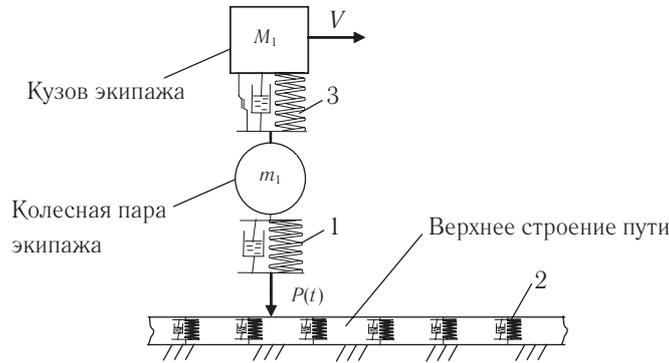


Рис. 1. Расчетная модель для вязкоупругой изотропной плиты верхнего строения: 1 – вязкоупругий элемент, моделирующий контакт колеса и поверхности рельса; 2 – вязкоупругий элемент, моделирующий верхнее строение пути; 3 – вязкоупругий элемент, моделирующий подрессоривания кузова относительно тележки экипажа; M_1 – масса кузова экипажа; m_1 – масса колесной пары; $P(t)$ – сила взаимодействия, V – скорость движения

струкция, в которой рельсовая плетя и железобетонная плита основания контактируют через композитный резинокордный наполнитель (рис. 1).

Представление плиты безбалластной конструкции рельсового пути содержит не только железобетонные плиты основания, но и резинокордные прокладки между рельсовыми плетями и подрельсовым основанием.

Для создания математической модели динамического деформирования конструкции пути под воздействием подвижной нагрузки предлагается рассмотреть плоский элемент, обладающей вязкоупругими свойствами, которые представляют не простейшими вязкоупругими элементами, типа Кельвина-Фойгта или Максвелла, а с помощью замены упругих механических характеристик материала операторами, содержащими функции релаксации [4–6].

Рассматривается вязкоупругая пластинка, вязкоупругие свойства материала которой учитываются при сдвиговых деформациях путем представления модуля сдвига (и, следовательно, модуля Юнга) в виде оператора [5]:

$$\tilde{\mu} = \mu_{\infty} \left[1 - \int_0^t g(t-t') \frac{d}{dt} dt' \right]. \quad (1)$$

Зависимость напряжения от деформации включает экспоненциальную функцию релаксации. При этом считается, что коэффициент Пуассона не зависит от вязкоупругих свойств материала [6–8].

С учетом вязкоупругих свойств материала при сдвиговых деформациях выражения для внутренних усилий (изгибающие моменты в разных плоскостях и поперечные силы в полярной системе координат примут вид:

$$\dot{M}_r = -D_{\infty} \Leftrightarrow \left[\left(\frac{\partial \dot{\beta}_r}{\partial r} + \sigma \frac{\dot{\beta}_r}{r} \right) - \int_0^t g(t-t') \Leftrightarrow \left(\frac{\partial \ddot{\beta}_r}{\partial r} + \sigma \frac{\ddot{\beta}_r}{r} \right) dt' \right], \quad (2)$$

$$\dot{M}_{\varphi} = -D_{\infty} \Leftrightarrow \left[\left(\frac{\dot{\beta}_r}{r} + \sigma \frac{\partial \dot{\beta}_r}{\partial r} \right) - \int_0^t g(t-t') \Leftrightarrow \left(\frac{\dot{\beta}_r}{r} + \sigma \frac{\partial \dot{\beta}_r}{\partial r} \right) dt' \right], \quad (3)$$

$$\dot{Q}_r = K \mu_{\infty} h \Leftrightarrow \left[\left(\frac{\partial \dot{W}}{\partial r} - \dot{\beta}_r \right) - \int_0^t g(t-t') \Leftrightarrow \left(\frac{\partial \dot{W}}{\partial r} - \dot{\beta}_r \right) dt' \right], \quad (4)$$

где $D_{\infty} = E_{\infty} (1 - \sigma^2)^{-1} h^3 / 12 \Leftrightarrow \mu_{\infty} = \frac{E_{\infty}}{2(1 + \sigma)} \Leftrightarrow$,

$g(t-t') = 1 - e^{-\Leftrightarrow \frac{t-t'}{\tau}} \Leftrightarrow$,

где $g(t)$ – функция релаксации ядрами, выбираемыми согласно рекомендаций [7]; t' – переменная интегрирования; E_{∞} и μ_{∞} – нерелаксированные значения модуля Юнга и модуля сдвига соответственно; h – толщина плиты; τ – время релаксации при наличии вязких свойств конструкции основания; β_r – угол поворота; D – цилиндрическая жесткость для приведенной модели.

Уравнения движения точек плитного элемента основания железнодорожного пути при этом остаются теми же, что для упругой изотропной пластины с учетом поперечного сдвига [9–12].

Коэффициенты отрезка степенного разложения по координате и времени для неизвестных функций опре-

деляются согласно алгоритму лучевого метода, в котором из уравнений движения приходим к системе рекуррентных дифференциальных уравнений, решая которую можно определить скачки искомых величин (представляющие собой коэффициенты лучевого разложения) с точностью до произвольных констант [9;13]:

$$\left(1 - \frac{\rho h^3 G^2}{12D}\right) \omega_{(k+1)} = 2 \frac{d\omega_{(k)}}{dt} + Gr^{-1} \omega_{(k)} + \omega_{(k)} \Gamma(0) + bGX_{(k)} + F_{1(k-1)}, \quad (5)$$

$$\left(1 - \frac{\rho G^2}{K\mu}\right) X_{(k+1)} = 2 \frac{dX_{(k)}}{dt} + Gr^{-1} X_{(k)} + X_{(k)} \Gamma(0) - G\omega_{(k)} + F_{2(k-1)}, \quad (6)$$

где $\Gamma(t) = \dot{g}(t)$ – ядро релаксации; $\Gamma(0)$ – ядро релаксации в начальный момент времени $t=0$.

При решении системы уравнений (5)–(6) получаем скорость вертикального перемещение плиты (прогиба), которая с точностью до постоянных интегрирования совпадает со скоростью перемещения точек упругой изотропной плиты, а вот выражение для поперечной силы содержит слагаемое, учитывающее вязкоупругие свойства материала плиты основания, которое задается через ядро функции релаксации для характерных временных деформирования.

$$Q_r \cong K\mu h \sum_{\alpha=1}^2 \sum_{k=0}^4 \frac{1}{k!} \left[\begin{aligned} & \left(-X_{(k)}^{(\alpha)} G^{(\alpha-1)} + \frac{dX_{(k-1)}^{(\alpha)}}{dt} G^{(\alpha-1)} - \omega_{(k-1)}^{(\alpha)} \right) + \\ & \left(-X_{(k-1)}^{(\alpha)} G^{(\alpha-1)} + \frac{dX_{(k-2)}^{(\alpha)}}{dt} G^{(\alpha-1)} - \omega_{(k-2)}^{(\alpha)} \right) \Gamma(0) + \\ & \sum_{i=0}^{k-2} \left(-X_{(i)}^{(\alpha)} G^{(\alpha-1)} + \frac{dX_{(i-1)}^{(\alpha)}}{dt} G^{(\alpha-1)} - \omega_{(i-1)}^{(\alpha)} \right) \Gamma(0)_{(k-i-1)} \end{aligned} \right] y_{\alpha}^k H(y_{\alpha}). \quad (7)$$

Определение коэффициентов степенных разложений с последующим вычислением постоянных, интегрируемых из начальных условий приложения динамической нагрузки, можно записать в виде искомых функций, например, силу воздействия, передаваемого от подвижного состава на верхнее строение пути можно представить в следующем виде [10;14]:

$$P(t) = E_1 \left\{ V_0 t - E_1 V_0 \left(\frac{1}{m} + \frac{2}{\rho h \pi r_0^2} \right) \frac{t^3}{6} + \frac{E_1 V_0 (G^{(1)} + G^{(2)}) t^4}{\rho h \pi r_0^3} - \frac{1}{6} - E_1 V_0 \left[\frac{(G^{(1)} + G^{(2)})^2}{\rho h \pi r_0^4} - \frac{E_1}{6} \left(\frac{1}{m} + \frac{2}{\rho h \pi r_0^2} \right)^2 + \frac{\Gamma(0)(G^{(1)} + G^{(2)})}{3 \rho h \pi r_0^3} \right] \frac{t^5}{20} \right\}. \quad (8)$$

Данное выражение (8) получено при учете шести членов степенного разложения, видна знакопеременная структура соотношения, это, наряду, с уменьшением абсолютных величин коэффициентов последующих слагаемых свидетельствует о сходимости получаемого решения [11;15]. Можно отметить, что вязкоупругие свойства материалов основания влияют только на коэффициент при t^5 , это свидетельствует о том, что вязкие свойства «включаются» в работу конструкции после упругих и играют существенную роль при наложении волновых процессов от динамического воздействия соседних колесных пар [16;17].

Для графической иллюстрации полученных аналитических выражений были определены максимальные значения контактной силы, передающиеся от экипажа верхнего строения пути для различных значений параметров вязкости, учитываемых через функцию релаксации для материалов верхнего строения пути [17–19]. Например, можно учитывать параметр вязкости для различных резинокордовых изделий (рис. 2).

На рис. 2 построены графики зависимости максимальных значений безразмерной контактной силы от безразмерного параметра вязкости пластинки для разных значений относительной жесткости буфера, моделирующего контакт колеса и рельса (кривая 1 построена при $\tilde{E} = 1,2 \cdot 10^{-6}$; кривая 2 – $\tilde{E} = 2,3 \cdot 10^{-6}$; кривая 3 – $\tilde{E} = 4,6 \cdot 10^{-6}$, другие параметры конструкции принимают следующие значения: $\tilde{m} = 25$, $\sigma = 0,3$, $\tilde{h} = 1$, $\tilde{E} = 1,1 \cdot 10^{-6}$, $\tilde{V} = 8,5 \cdot 10^{-3}$. Из рис. 2 можно увидеть, что максимальная контактная сила уменьшается с увеличением безразмерного параметра вязкости пластинки, т.е. с уменьшением времени релаксации [19;20].

Тильда над величиной обозначает, что данная функция записана и определена в безразмерном виде, это позволяет задавать геометрические, механические характеристики, но в первую очередь выявить соотношение

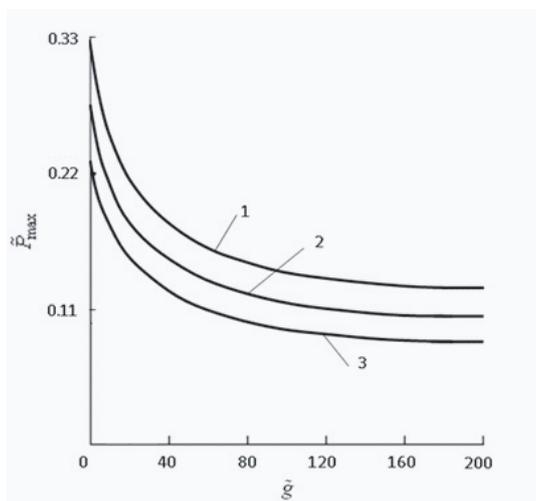


Рис. 2. Зависимость максимальной контактной силы от безразмерного параметра вязкости пластины при различных значениях относительной жесткости буфера \tilde{E}

оптимальных параметров. При значении параметра $\tilde{g} \approx 100$ происходит стабилизация изменения максимальной величины контактной силы на уровне примерно в два раза меньше, чем максимальная сила при $\tilde{g} \approx 0$, что соответствует упругой модели деформирования плиты основания железнодорожного пути. Предлагаемая модель позволяет описать имеющиеся инженерные решения железнодорожного пути с использованием резинокордных прокладок, что особенно актуально для рельсового транспорта городских агломераций [12]:

Заключение

Разработанная модель учета динамической подвижной нагрузки и деформирования плиты основания безбалластного железнодорожного пути с учетом волновых процессов и вязкоупругих свойств материалов конструкции позволит подобрать резинокордовый материал исходя из нормативных требований к шуму и вибрации на территориях, расположенных в непосредственной близости от железнодорожных путей. Зависимость акустического шума и вибрации среды, передаваемых как по воздуху, так и по грунту, в целом может быть охарактеризована полученными графическими зависимостями, которые могут быть адаптированы с помощью подбора требуемых параметров вязкости в представленных аналитических выражениях. 

Литература

1. Третьяков, В.В. Безбалластная конструкция Rheda. Использование безбалластных конструкций на железных дорогах России / В.В. Третьяков, О.Ю. Белоцветова, И.Б. Петропавловская, Т.И. Громова, И.В. Третьяков. — Текст: непосредственный // Внедрение современных конструкций и передовых технологий в путевое хозяйство, 2011. — Т. 4, №4 (4). — С. 43–46.
2. Savin A.V. The Service Life of Ballastless Track // Procedia Engineering. 2017. Vol. 189. Pp. 379–385. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.05.060 EDN: YPFVQX.
3. Савин, А.В. Критерии выбора конструкции безбалластного пути / А.В. Савин. — Текст: непосредственный // Путь и путевое хозяйство. — 2014. — №2. — С. 2–8.
4. Абдурашитов, А.Ю. Повышение эффективности использования колес и рельсов за счет разработки взаимоувязанных профилей рабочих поверхностей колес и рельсов / А.Ю. Абдурашитов. — Текст: непосредственный // Бюллетень Объединенного ученого совета ОАО «РЖД». — 2018. — №4. — С. 27–39. EDN: YXQACD.

5. Локтев, А.А. Удар вязкоупругого тела по упругой изотропной пластинке / А.А. Локтев. — Текст: непосредственный // Механика композиционных материалов и конструкций. — 2007. — Т. 13, №3. — С. 417–425. EDN: KPAJMD.
6. Loktev A.A., Loktev D.A. Transverse impact of a ball on a sphere with allowance for waves in the target // Technical Physics Letters, 2008, vol. 34, №11, p. 960–963.
7. Работнов, Ю.Н. Механика деформируемого твердого тела: учебное пособие для университетов / Ю.Н. Работнов. — Москва: Наука, 1979. — 744 с. — Текст: непосредственный.
8. 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. EDN: JSCUHY.
9. Algazin, S.D. On Discretization of a Two-Dimensional Laplace Operator in a Smooth Two-Dimensional Domain. Numerical Analysis and Applications [this link is disabled](#), 2021, 14(3), p. 220–224.
10. Гридасова, Е.А. Моделирование поведения сегмента рельсовой плети при динамическом воздействии / Е.А. Гридасова, А.А. Локтев, Л.А. Илларионова. — Текст: непосредственный // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия Естественные науки. — 2020. — №4(91). — С. 24–41.
11. Илларионова, Л.А. Моделирование анизотропной плиты основания безбалластного железнодорожного пути при динамических воздействиях / Л.А. Илларионова, А.А. Локтев. — Текст: непосредственный // Вестник МГСУ. Вып. 8. — 2020. — Т. 15. — С. 1111–1111. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.8.1111-1111.
12. Виноградов, В.В. Математическое моделирование участков переменной жёсткости перед искусственными сооружениями / В.В. Виноградов, А.А. Локтев, З.Т. Фазилова. — Текст: непосредственный // Мир транспорта. — 2018. — Т.16, №3 (76). — С. 72–85.
13. Rossikhin Yu.A., Shitikova M.V., Loktev A.A. The analysis of thin-walled building structures subjected to impact excitation // 4th International Ph.D. Symposium in Civil Engineering. 2002, p. 487–492.
14. Россихин, Ю.А. Удар шара о нелинейно упругий буфер, установленный на плите перекрытия / Ю.А. Россихин, М.В. Шитикова, А.А. Локтев. — Текст: непосредственный // Известия высших учебных заведений. Строительство. — 2004. — №11 (551). — С. 16–22.
15. 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.
16. Loktev A.A., Loktev D.A. Transverse impact of a ball on a sphere with allowance for waves in the target // Technical Physics Letters, 2008, vol. 34, №11, p. 960–963.
17. Локтев, А.А. Исследование динамических характеристик верхнего строения железнодорожного пути при динамическом воздействии / А.А. Локтев, А.В. Сычёва. — Текст: непосредственный // Наука и техника транспорта. — 2013. — №4. — С. 111–114.
18. 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. 2020, vol. 1116, p. 209–218.
19. Локтев, А.А. Выявление и детектирование внешних дефектов верхнего строения пути агрегированным методом на основе стереозрения и анализа размытия образа / А.А. Локтев, Д.А. Локтев. — Текст: непосредственный // Внедрение современных конструкций и передовых технологий в путевое хозяйство. — 2017. — Т. 11, №11 (11). — С. 96–100.
20. Локтев, Д.А. Использование метода анализа размытия изображения для определения внешних дефектов железнодорожного пути / Д.А. Локтев, Ю.А. Быков, Н.И. Коваленко. — Текст: непосредственный // Наука и техника транспорта. — 2016. — №1. — С. 69–75.

БЕЗОТКАЗНОСТЬ ИЗОЛЯЦИИ ТЭД ЭЛЕКТРОВОЗОВ ВОСТОЧНОГО ПОЛИГОНА

Выявлено, что наиболее слабым узлом тяговых электродвигателей (ТЭД) электровозов Восточно-Сибирской железной дороги и Красноярской железной дороги Восточного полигона, является изоляция. Найдены зависимости безотказности изоляции обмоток от температуры воздуха, позволяющие определить состояние изоляции обмоток ТЭД электровозов парков депо Восточного полигона.



Д.И. Бодриков



Д.А. Акулов

Ключевые слова: Восточный полигон РЖД, электровозы переменного тока, тяговые электродвигатели, изоляция обмоток

EDN: NQWXUY

Анализ безотказности (ТЭД) выполнен по основным электровозным депо Восточно-Сибирской железной дороги (ВСЖД): Нижнеудинск, Иркутск-Сортировочный, Улан-Удэ, Вихоревка, Северобайкальск, а также Красноярской железной дороги (КрасЖД): Иланская. При анализе использован показатель безотказности — параметр потока отказов ω , представляющий отношение количества отказов ТЭД и его узлов на миллион километров пробега группы контрольных электровозов. В каждом депо было обследовано не менее 20 электровозов ВЛ85 с ТЭД НБ-514 или (и) ВЛ80, на которых установлены двигатели НБ-418К6, НБ-418КР. Это позволяет получить объективные данные о безотказности изоляции тяговых двигателей.

Получены следующие результаты анализа безотказности ТЭД НБ-514 электровозов ВЛ85 депо ВСЖД.

Центрального направления ВСЖД: Нижнеудинск — 9,93 отказов/ 10^6 км; Иркутск-Сортировочный — 8,16 отказов/ 10^6 км; Улан-Удэ — 6,2 отказов/ 10^6 км.

Северного направления ВСЖД: Вихоревка — 23,85 отказов/ 10^6 км; Северобайкальск — 25,99 отказов/ 10^6 км.

Получены следующие результаты анализа безотказности ТЭД НБ-418К6 электровозов ВЛ80 депо ВСЖД.

Центрального направления ВСЖД: Нижнеудинск — 7,35 отказов/ 10^6 км; Иркутск-Сортировочный — 11,01 отказов/ 10^6 км; Улан-Удэ — 3,96 отказов/ 10^6 км.

Бодриков Денис Игоревич, ассистент кафедры «Электропоезда и локомотивы» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)), начальник отдела электрических машин ПКБ ЦТ ОАО «РЖД». Область научных интересов: имитационное моделирование, оптимизация работы станции стыкования, организация системы эксплуатации и ремонта, повышение безотказности локомотивов. Автор 25 научных работ.

Акулов Даниил Александрович, студент кафедры «Электропоезда и локомотивы» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: повышение безотказности локомотивов и электропоездов. Автор четырех научных работ.

Чубов Роман Сергеевич, аспирант кафедры «Тяговый подвижной состав» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: повышение надежности локомотивов. Автор 30 научных работ.

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

Смирнов Валентин Петрович, доктор технических наук, профессор кафедры «Тяговый подвижной состав» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: повышение безотказности локомотивов. Автор 164 научных работ. Имеет три патента на изобретения.

Северного направления ВСЖД: Вихоревка – 21,68 отказов/ 10^6 км; Северобайкальск – 15,99 отказов/ 10^6 км.

При рассмотрении данных об отказах ТЭД и их узлов сделаны следующие выводы:

- наибольшая интенсивность отказов ТЭД всех типов наблюдается у электровозов депо Вихоревка и Северобайкальск, которые эксплуатируются на северном направлении Тайшет – Таксимо;

- безотказность двигателей НБ-418К6 превышает безотказность двигателей НБ-514 электровозов ВЛ85 по депо: Вихоревка в 1,1 раза, Северобайкальск в 1,72 раза, Улан-Удэ в 1,57 раза, Нижнеудинск в 1,35 раза (в среднем по четырем депо в 1,44 раза);

- отказы двигателей НБ-514 электровозов ВЛ85, работающих в грузовом движении на северном направлении Тайшет – Таксимо (депо Вихоревка, Северобайкальск), в 2,76 раза превышают отказы ТЭД этого же типа электровозов депо Нижнеудинск и Улан-Удэ. Это вызвано большей нагрузкой ТЭД электровозов депо Вихоревка и Северобайкальск, а также увеличенной продолжительностью эксплуатации в условиях низкой температуры окружающей среды. Аналогичная закономерность наблюдается и по двигателям типа НБ-418К6 электровозов ВЛ80. Отказы ТЭД НБ-418К6 северного направления (депо Вихоревка и Северобайкальск) в 3,25 раза превышают отказы двигателей этого же типа электровозов центрального направления (депо Нижнеудинск, Улан-Удэ).

При рассмотрении данных об отказах ТЭД депо можно отметить, что на пробое (повреждения) изоляционных конструкций главного полюса (ГП) и дополнительного полюса (ДП) приходится 42,2% всех отказов двигателей НБ-514 электровозов ВЛ85. Отказы этих же изоляционных конструкций ТЭД НБ-418К6 электровозов ВЛ80 составляют 16,1% повреждений. Это указывает на более высокую безотказность изоляционных конструкций двигателей НБ-418К6 электровозов ВЛ80. Отказы межкатушечных соединений двигателей НБ-418К6 электровозов ВЛ80 в 1,68 раза превышают аналогичный показатель двигателей НБ-514 электровозов ВЛ85.

Установлен характер и причины отказов изоляционных конструкций двигателя НБ-514 электровозов ВЛ85. Выявлено, что пробой изоляции из-за ее перетираания в результате ослабления катушек на сердечниках ГП ТЭД НБ-514 электровозов ВЛ85 и НБ-418К6 электровозов ВЛ80 составляют соответственно 76,7 и 50% повреждений полюсов этого вида. Однако на эти отказы приходится 29,8% от всех неисправностей ТЭД НБ-514 электровозов ВЛ85, тогда как в двигателях НБ-418К6 электровозов ВЛ80 это

повреждение составляет лишь 3,7% от числа всех отказов. Подробные расследования этих явлений, проведенных в депо Нижнеудинск, показали, что массовый выход катушек ГП НБ-514 электровозов ВЛ85 по пробую обусловлен несовершенной клиновой конструкцией крепления их на сердечниках.

В эксплуатации отмечаются ослабления креплений катушек ГП и перетираания изоляции катушек в результате колебаний и соприкосновений с шихтованными сердечниками ГП. Пружинное крепление катушек ГП ТЭД НБ-418К6 электровозов ВЛ80 обеспечивает более высокую безотказность по сравнению с клиновым креплением катушек ГП ТЭД НБ-514 электровозов ВЛ85. На пробое изоляции ДП ТЭД НБ-514 электровозов ВЛ85 и НБ-418К6 электровозов ВЛ80 приходится соответственно 12,5 и 3,7% всех отказов, что свидетельствует о пониженной безотказности ДП НБ-514 электровозов ВЛ85. Подобный характер отказов ТЭД НБ-418К6 электровозов ВЛ80 и ТЭД НБ-514 электровозов ВЛ85 наблюдается и по другим депо ВСЖД и КрасЖД. Отказы ТЭД по пробую изоляции одна из важнейших проблем эксплуатации электроподвижного состава в условиях ВСЖД и КрасЖД.

Ранее полученные при исследовании ТЭД электровозов переменного тока зависимости параметров потоков отказов изоляции обмоток ТЭД НБ-514 электровозов ВЛ85 от среднемесячной температуры (рис. 1, 2) позволяют оценить состояние изоляции ТЭД электровозов парков депо Восточного полигона. Каждая из приведенных зависимостей параметров потоков отказов изоляции обмоток ТЭД НБ-514 электровозов одного и того же локомотивного депо от среднемесячной температуры воздуха с нарушенными функциями изоляции из-за чрезмерно низкой температуры воздуха в период экстремально холодной зимы (рис. 1) и после ультразвуковой пропитки (рис. 2) соответствует одному году эксплуатации электровозов депо.

Для оценки состояния изоляции остовных обмоток ТЭД НБ-514, НБ-418К6, НБ-418КР электровозов ВЛ85, ВЛ80Р, ВЛ80ТК парков депо Восточного полигона построены зависимости параметров потоков отказов изоляции обмоток от среднемесячной температуры воздуха, приведенные на рис. 3–6.

Проанализированы зависимости параметров потоков отказов остовных обмоток от среднемесячной температуры воздуха $\omega_{\text{ост}}(\vartheta_{\text{в}})$ депо Восточного полигона, приведенные на рис. 1–6. Зависимость параметра потока отказов изоляции обмоток $\omega_{\text{ост}}(\vartheta_{\text{в}})$, приведенная на рис. 1, возрастает с повышением температуры воздуха, что указывает на нарушение функций изоляции остовных обмоток. Увеличение

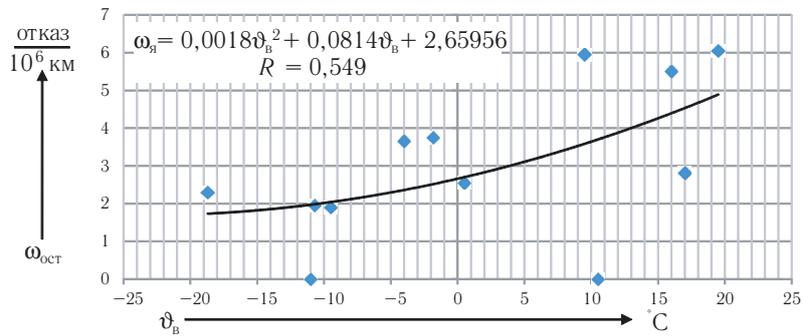


Рис. 1. Зависимость параметра потока отказов остовных обмоток с нарушенными функциями изоляции ТЭД НБ-514 от среднемесячной температуры воздуха

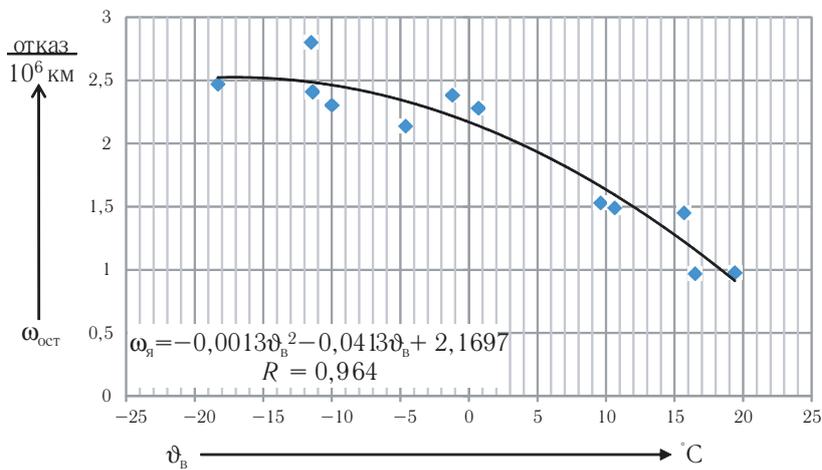


Рис. 2. Изменение параметра потока отказов изоляции пропитанных остовных обмоток ТЭД НБ-514 от среднемесячной температуры воздуха

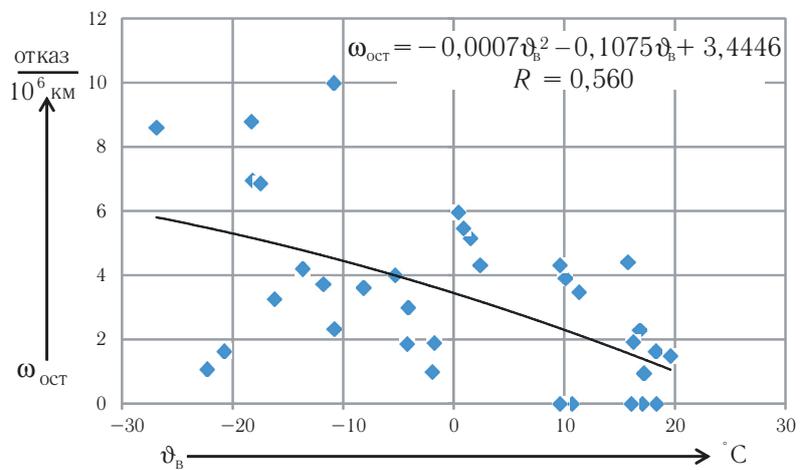


Рис. 3. Характер изменения параметра потока отказов остовных обмоток ТЭД НБ-514 электровозов ВЛ85 депо Нижнеудинск от среднемесячной температуры воздуха

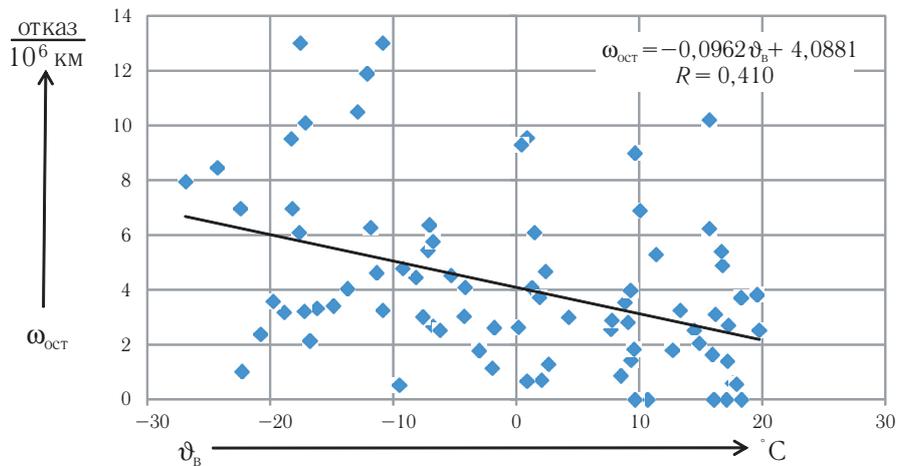


Рис. 4. Характер изменения параметра потока отказов остовных обмоток ТЭД НБ-418К6 электровозов ВЛ80Р депо Иланская от среднемесячной температуры воздуха

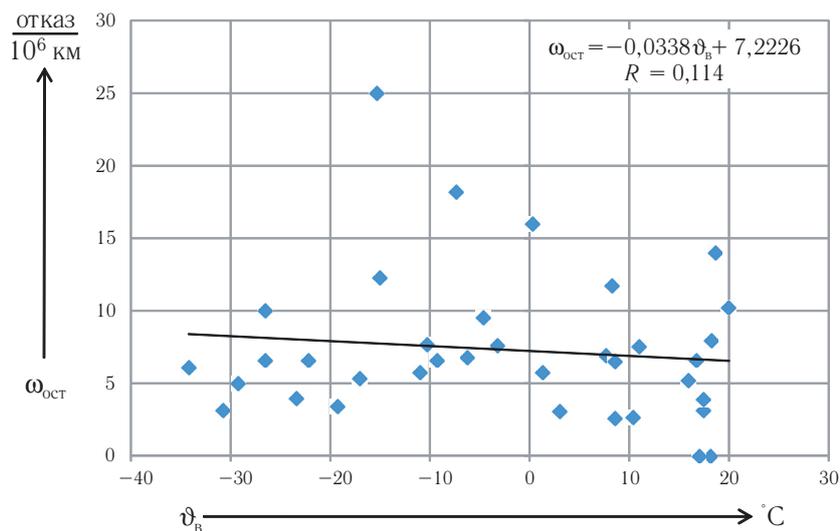


Рис. 5. Характер изменения параметра потока отказов остовных обмоток ТЭД НБ-514 электровозов ВЛ85 депо Вихоревка от среднемесячной температуры воздуха

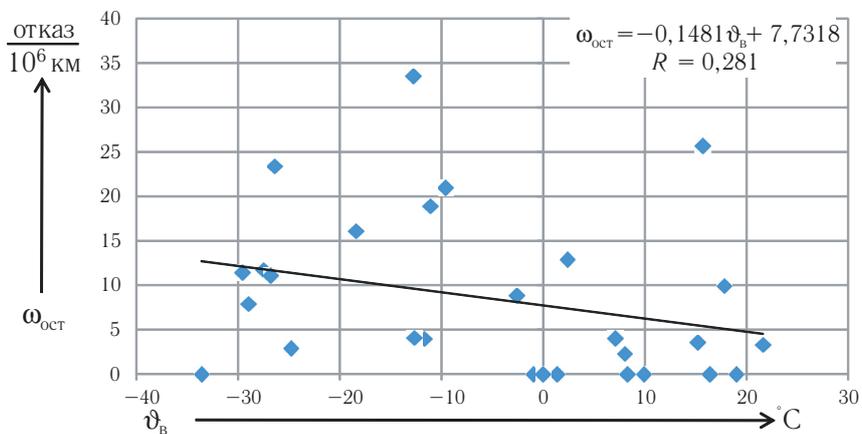


Рис. 6. Характер изменения параметра потока отказов остовных обмоток ТЭД НБ-418КР электровозов ВЛ80ТК депо Вихоревка от среднемесячной температуры воздуха

$\omega_{\text{ост}}$ в принятом для рассмотрения диапазоне температуры воздуха -20 до $+20$ °С от 1,7 до 5,0 отказов/ 10^6 км наблюдалось при эксплуатации ТЭД НБ-514 электровазов ВЛ85 депо Нижнеудинск центрального направления в течение одного года с экстремально холодной зимой. Все остальные зависимости $\omega_{\text{ост}}(\vartheta_{\text{в}})$ имеют характер снижения параметра потока отказов с увеличением температуры воздуха, что указывает на пропитку изоляции остовных обмоток. Наблюдается уменьшение $\omega_{\text{ост}}$ в принятом для рассмотрения диапазоне температуры от -20 до $+20$ °С от 2,5 до 1,0 отказа/ 10^6 км при эксплуатации ТЭД НБ-514 электровазов ВЛ85 депо Нижнеудинск центрального направления также в течение одного года эксплуатации после ультразвуковой пропитки и сушки в стандартной калориферной печи (см. рис. 2). При работе ТЭД НБ-514 электровазов ВЛ85 этого же депо в течение трех лет в том же диапазоне температуры воздуха наблюдалось снижение $\omega_{\text{ост}}$ от 5,5 до 1,2 отказов/ 10^6 км (см. рис. 3). В период семилетней эксплуатации ТЭД НБ-

418К6 электровазов ВЛ80Р депо Иланская на этом же направлении отмечалось уменьшение параметра потока отказов изоляции $\omega_{\text{ост}}$ в указанном диапазоне температуры воздуха от 6,0 до 2,1 отказов/ 10^6 км (см. рис. 4). При эксплуатации ТЭД НБ-514 электровазов ВЛ85 депо Вихоревка северного направления в течение трех лет отмечалось снижение параметра потока отказов в указанном диапазоне температуры воздуха от 7,9 до 6,9 отказов/ 10^6 км (см. рис. 5). При работе ТЭД НБ-418КР электровазов ВЛ80ТК депо Вихоревка северного направления в течение трех лет в том же диапазоне температуры воздуха наблюдалось увеличение $\omega_{\text{ост}}$ в 1,2 раза по сравнению с ТЭД НБ-514 электровазов ВЛ85 от 12,3 до 4,9 отказов/ 10^6 км (см. рис. 6). Переход с крепления главных и дополнительных полюсов, используемого в ТЭД НБ-418К6 электровазов ВЛ80Р, на клиновое крепление привел к увеличению пробоев изоляции остовных катушек ТЭД НБ-514 электровазов ВЛ85 в 1,83 раза, а ТЭД НБ-418КР электровазов ВЛ80ТК в 2,12 раза. 

Литература

1. Безотказность тяговых двигателей электровазов Восточного полигона / О.О. Соколов, Д.И. Бодриков, Р.С. Чубов, В.П. Смирнов. – Текст: непосредственный // Наука и техника транспорта. – 2022. – №4. – С. 17–19.
2. Смирнов, В.П. Непрерывный контроль температуры предельно нагруженного оборудования электроваза: монография / В.П. Смирнов. – Иркутск: Изд-во Иркут. гос. ун-та, 2003. – 328 с. – Текст: непосредственный.
3. Смирнов, В.П. Непрерывный контроль температуры предельно нагруженного оборудования электроваза: специальность 05.22.07: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Смирнов Валентин Петрович; ФГБОУ ОмГУПС, 2005. – 352 с. – Текст: непосредственный.

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ДИСТАНЦИОННОМ ПРОВЕДЕНИИ ЗАНЯТИЙ В ТРАНСПОРТНОМ ВУЗЕ



В.А. Бугреев



А.П. Чехов

Предложен обзор используемых в настоящее время средств телекоммуникаций, электронных изданий и т.д., которые дают возможность избежать существующих недостатков традиционных (очных) форм обучения. Это дает возможность поднять образовательный процесс на новый уровень. Рассмотрены психолого-педагогические аспекты проведения занятий, соответствующих требованиям времени.

Ключевые слова: цифровые технологии, учебная работа, электронный эмулятор

EDN: DIRBFF

В современном мире информационные технологии присутствуют практически во всех сферах человеческого общества. Не стали исключением учебные организации, причем на разных уровнях образования — от детских дошкольных организаций и школ до средних специальных и высших учебных заведений. В нашей стране информационные технологии позиционируются не как дополнительное средство обучения, а как неотъемлемая часть образовательных технологий. В последнее время становится все более актуальным создание и обслуживание информационно-образовательных подходов как открытого, так и дистанционного форматов.

К вопросам, решаемым информационными технологиями, в основном относятся следующие: использование цифровых технологий в учебной работе, использование средств контроля и измерения итогов учебной деятельности, вопросы воспитательного характера, самостоятельная работа студентов, научная работа, методическая работа, аппараты хозяйственной и управленческой структуры.

Все вышеперечисленные сферы образовательной организации, в которых в настоящее время информационные технологии применяются в учебной работе, безусловно помогают хорошо осваивать предметы и дают для преподавателей широкий спектр инструмен-

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

Чехов Антон Павлович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электрификация и электроснабжение» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: электрические машины, информационные технологии в производстве. Автор 46 научных работ, в том числе двух монографий и семи учебных пособий. Имеет три патента на изобретения.

Нигаи Руслан Михайлович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электрификация и электроснабжение» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: надежность и безопасность технических систем. Автор 35 научных работ.

Чехов Павел Антонович, аспирант кафедры «Электрификация и электроснабжение» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: информационные технологии, подвижной состав железных дорог. Автор пяти научных работ, в том числе одного учебного пособия.

тов для наиболее глубокого и разнообразного подхода к подаче учебных материалов [1].

В современной России, как и во всем мире, в последние годы все чаще стали использоваться дистанционные технологии обучения. Под дистанционным обучением понимается предоставление студенту учебного материала, как и процесс общения с преподавателем на основе использования сетевых технологий интернета, всевозможных обучающих систем и средств мультимедиа. Используемые в настоящее время средства телекоммуникаций, электронные издания и т.д. дают возможность избежать существующих недостатков традиционных (очных) форм обучения, что дает возможность поднять образовательный процесс на новый уровень.

Необходимо отметить тот факт, что дистанционные подходы к образовательным процессам экономически более эффективны на величину около 50% очных форм обучения. Это обусловлено таким показателем, как ориентация на большое количество студентов при уменьшении использования учебного аудиторного фонда.

Современные технологии проведения учебных занятий дистанционно включают в себя технические средства, интерфейсы и методы для самостоятельного освоения студентом запланированного учебного материала, но под контролем преподавателя. Как правило, эти технологии основываются на понимании того, что содержание запланированного к изучению учебного материала должно быть приведено в соответствие с его представлением. Подаваемый дистанционно учебный материал основывается на государственных образовательных стандартах и имеющимся в доступных открытых источниках материалах (электронные библиотеки, базы данных, банки знаний и т.д.

Первым из аспектов при проведении дистанционных занятий является психолого-педагогический аспект. Проведение учебных занятий в дистанционном режиме подразумевает взаимодействие преподавателя и студентов отдельно друг от друга, но при этом должны быть соблюдены все характерные для учебного процесса составляющие, такие как задачи обучения, содержание учебного материала, организационные моменты и непосредственно сами технические средства обучения. Соответственно при проведении занятий в дистанционном режиме можно говорить о том, что в этом процессе, помимо общения преподавателя и студентов и общения студентов между собой, присутствует непосредственно и сама техническая база для проведения занятий на расстоянии.

При дистанционном проведении занятий наиболее важными участниками процесса обучения являются студенты, перед которыми ставятся задачи освоения

нового учебного материала, во многом работая самостоятельно [2].

Далее следует профессорско-преподавательский коллектив, состоящий из преподавателей, которые привыкли проводить учебные занятия в очном формате, поэтому при проведении занятий дистанционно они ощущают психологический дискомфорт. В первую очередь это вызвано отсутствием живого общения «преподаватель – студент», появляется ощущение неудовлетворительной работы. С другой стороны, преподаватель, работая с большим количеством студентов в очном формате, например, проводя поточные лекции, вынужден быть в тонусе, удерживая слушателей в жестких дисциплинарных правилах. При проведении учебных занятий в дистанционном формате эти составляющие не так актуальны.

Как показывает практика, подача информации при проведении занятий дистанционно, лучше воспринимается студентами при подаче ее тематическими блоками. Такой подход позволяет акцентировать внимание студентов на наиболее важных законах, научных выкладках и зависимостях, в которые им необходимо вникнуть и запомнить. Специалисты в области психологии полагают что нормальный объем внимания – это около четырех условных единиц. То есть, среднестатистический студент может одновременно разбирать и осваивать до четырех терминов, элементов учебного слайда или определений. Поэтому при проведении дистанционных занятий рекомендуется разбирать не более четырех таких тематических блоков.

Еще один фактор, который является важным и который необходимо всегда удерживать на контроле при проведении занятий дистанционно – это всевозможные отвлекающие факторы. К таким можно отнести мобильные телефоны, гаджеты, находящиеся в доме родственники, домашние животные, бытовая техника, особенно та, которая является источниками шума и т.д.

Для того, чтобы снизить эти факторы, необходимо составить некий план для подготовки и проведения дистанционных занятий. Например, написать и выложить в чат студенческой группы инструкцию по подготовке к дистанционной паре. В эту инструкцию можно включить следующие пункты: проверить работоспособность компьютера, его подключение к интернету, переключить мобильный телефон в режим вибровозвонка, закрыть все не относящиеся к занятию программы, проинформировать членов семьи о времени вашего дистанционного занятия, одеться в соответствии с дресс-кодом обучающегося.

Из вышеизложенного следует, что студент взаимодействует с преподавателем посредством дистанционных технологий, а не работает со средствами обу-

чения. Преподавателю необходимо вводить в работу средства обучения, необходимые для полного получения знаний студентами.

При рассмотрении типов учебных занятий, можно выделить следующие: лекции, практические работы, семинарские занятия, лабораторные работы, самостоятельная работа студентов и т.д. На практике, при проведении дистанционных занятий, из вышеперечисленных типов наиболее сложно провести лабораторные работы по причине отсутствия лабораторного оборудования у студентов в домашних условиях, что лишает возможности наглядно проводить исследовательскую работу и не позволяет закрепить пройденный тематический учебный материал. Данная задача обычно решается двумя подходами — работа на программных эмуляторах либо просмотр проведения лабораторных работ по видеозаписям, в которых комментируется процесс проведения работы и описание результатов экспериментов.

Необходимо отметить тот факт, что при проведении лабораторных работ дистанционно отпадает необходимость проведения инструктажа по технике безопасности с оформлением соответствующего журнала, так как отсутствуют причины, способные нанести вред здоровью студента, например, такие, как удар током ввиду отсутствия непосредственного контакта с лабораторным оборудованием. Также необходимо дать подробный план по выполнению лабораторной работы. Пункты, которые должны войти в этот план, следующие: номер и название лабораторной работы в соответствии с ее описанием в рабочей программе, цели и задачи решаемые

в данной работе, краткое описание виртуального лабораторного эмулятора, схему опыта, описание шагов выполнения работы, таблицу полученных результатов и формулы для расчетов, используемые при обчете результатов эксперимента.

Заканчиваться отчет по лабораторной работе должен выводами, в которых студенты анализируют полученные результаты и подводят итоги по ним.

При проведении лабораторных работ дистанционно, на кафедре «Электрификация и электроснабжение» Российского университета транспорта применяются как программные эмуляторы, так и учебные видеофильмы по тематике лабораторных работ. Остановимся подробнее на программных эмуляторах. Чтобы сохранить тематику лабораторных работ, заявленных в соответствующих рабочих программах дисциплин, которые проводятся на кафедре, используются следующие программные эмуляторы: Electronics Workbench, Multisim и Atanua.

Electronics Workbench

Electronics Workbench является электронным эмулятором, в котором для удобства работы с пользователем используется доступный и понятный интерфейс (рис. 1). Этот эмулятор используется как в научных работах, так и в учебных как лабораторный комплекс с целью возможного изучения разных дисциплин, к примеру, таких, как электротехника, цифровая схемотехника, основы автоматики и др. [3].

Electronics Workbench позволяет имитировать для студента реальное место за лабораторным стендом,

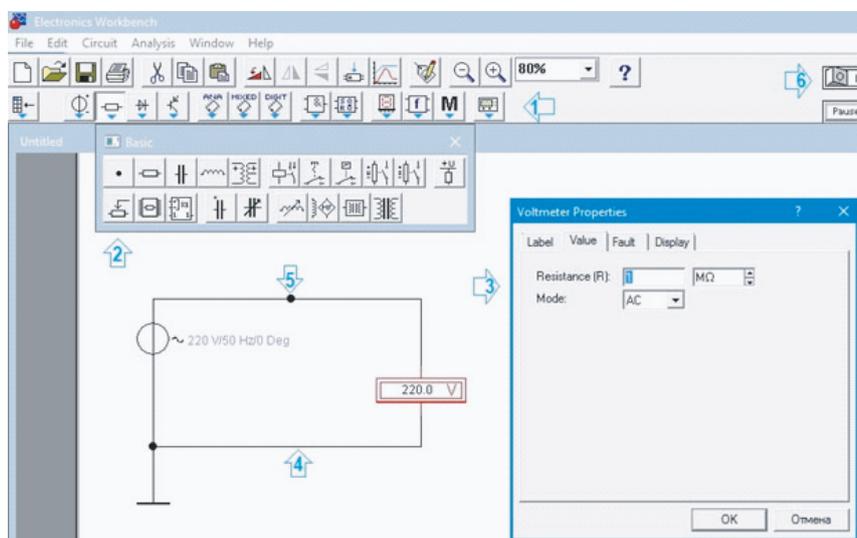


Рис. 1. Интерфейс Electronics Workbench

в дополнение к которому студент сразу получает в свое распоряжение весь спектр измерительных приборов, которые позволяют снимать данные в собранной на рабочем поле эмулятора схеме. Этот эмулятор позволяет исследовать простые и сложные схемы, основанные как на аналоговой, так на цифровой платформе.

Как и на реальном лабораторном стенде, студенту необходимо собрать схему, подключить приборы измерения и запустить моделирование процесса с целью получения результатов по собранной схеме. В Electronics Workbench эти задачи сводятся к переносу на рабочее поле элементов из ленты программы. Для более полного использования всех 14 библиотек, применяются специальные иконки на ленте, которые для облегчения работы, внешне похожие на группы элементов.

Рабочее поле эмулятора Electronics Workbench при размещении схемы на нем создает для студента наглядную картину соединений всех входящих в схему элементов и при этом позволяет видеть все схему целиком. Более того, эмулятор позволяет раскрашивать проводники в разные цвета, что в целом несомненно повышает читаемость схемы. Разноцветная раскраска также используется при исследовании

нескольких процессов в схеме при построении различных графиков. При этом, интерфейс Electronics Workbench коррелирует со всеми известным интерфейсом Windows, что бесспорно облегчает студентам работу в нем.

Интерактивный эмулятор Multisim

Multisim – это эмулятор, с помощью которого можно моделировать и проводить тестирование электрических схем на рабочем поле эмулятора. Этот эмулятор позволяет студентам освоить дисциплину «Электротехника», а также проявить свои знания при проектировании различных электрических схем.

Эмулятор содержит в своем составе практически все элементы для моделирования любых электрических схем. А удобный интерфейс помогает быстро собрать схему на рабочем поле и промоделировать процессы, протекающие в ней. Помимо этого, эмулятор позволяет использовать в схеме коммутирующие элементы и потенциометры и получать результат при этом в реальном масштабе времени [4].

Вид пользовательского интерфейса при запуске программы Multisim показан на рис. 2.

На примере схемы, собранной для моделирования (рис. 3) можно рассмотреть, например, как изме-

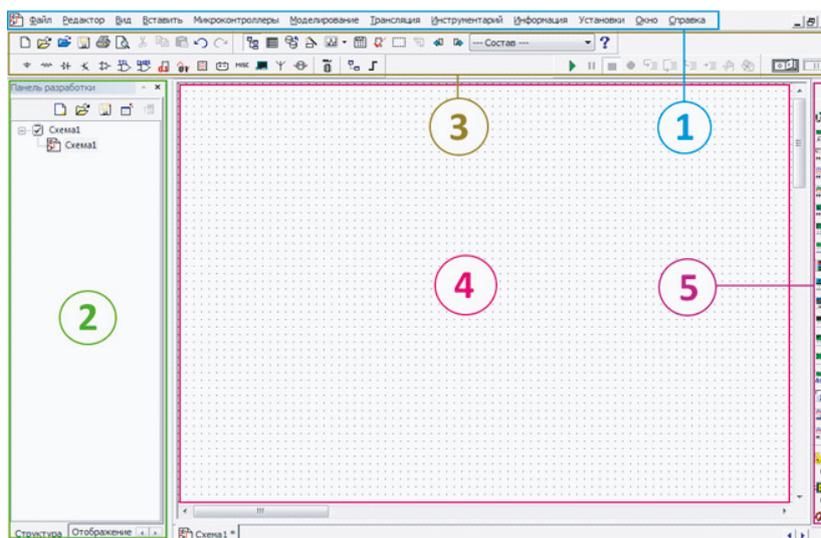


Рис. 2. Интерфейс программы Multisim:

1 – лента меню, служит для выбора команд для различных функций; 2 – панель разработки, служит для изменения положения и управления составляющими элементами схемы; 3 – панель инструментов, служит для того, чтобы быстро работать с иконками команд и иконками элементов. Обычно каждый студент настраивает ее в соответствии с решаемыми на рабочем поле задачами; 4 – окно редактирования – это область расположения элементов для редактирования последних; 5 – приборная панель, служит для использования в схемах с необходимостью измерения различных величин и для удобства работы может быть расположена студентом в любой части рабочего поля, например, ближе к точкам съема информации

няется мощность электродвигателя при различных вариантах подключения и при изменении при этом подаваемых на схему напряжений.

При моделировании на эмуляторе необходимо соблюдать правила, которые используются при составлении электрических схем: для обеспечения тока в цепи необходимо, чтобы цепь, помимо питающего напряжения, имела заземление, если при пересечении двух и более проводников есть контакт, то на схеме ставится точка на их пересечении, для процесса моделирования обязательно наличие источника сигнала и необходима точка съема информации, исключается последовательное подключение источников тока, обязательно отсутствие в схеме короткозамкнутых катушек и т.д.

Электронная система моделирования Atanua

Электронная система моделирования Atanua относится к эмуляторам, законно бесплатным. В отличие от предыдущих двух эмуляторов, Atanua позволяет моделировать только цифровые схемы. Соответственно, последнее свойство эмулятора ограничивает его применение только цифровыми схемами. Последнее свойство эмулятора упрощает его, позволяет ему моделировать процессы быстро, а интерфейс отличается простотой и очень легко осваивается студентами [5].

Тем не менее, Atanua имитационно точно повторяет рабочее место студента за стендом по исследованию цифровых приборов и вентилях, что позволяет студенту в реальном масштабе времени конструировать

и исследовать как простые, так и сложные цифровые схемы. Минимальные требования к студенту работающему с Atanua это знание на уровне пользователя операционной системы Windows, знание работы базовых логических вентилях и соответственно исследуемых цифровых устройств, а также владение на базовом уровне английским языком.

Также, как и в предыдущих рассмотренных нами эмуляторах, работа с программой начинается с переноса на рабочее поле логических элементов из ленты эмулятора. В целом Atanua имеет пять тематических разделов, которые представлены в таблице. Этот комплект элементов хранится в собственной библиотеке, благодаря чему, появляется возможность закрыть все потребности студента при построении и исследовании практически всех известных цифровых устройств.

При конструировании схемы необходимый элемент выбирается на ленте эмулятора курсором мыши и при нажатой левой клавиши мыши переносится на рабочее поле, после чего кнопка мыши отпускается (для фиксирования элемента), затем процесс повторяется до полного создания схемы. На рис. 4 в качестве примера показана собранная функциональная схема полусумматора. После того, как процесс создания схемы исследуемого устройства закончен, Atanua автоматически начинает моделирование.

Из схемы видно, что входы — это переключатели, а выходы — светодиоды. Рекомендуется обозначать входы и выходы буквами, чтобы правильно оформлять полученные данные в отчете по лабораторной работе.

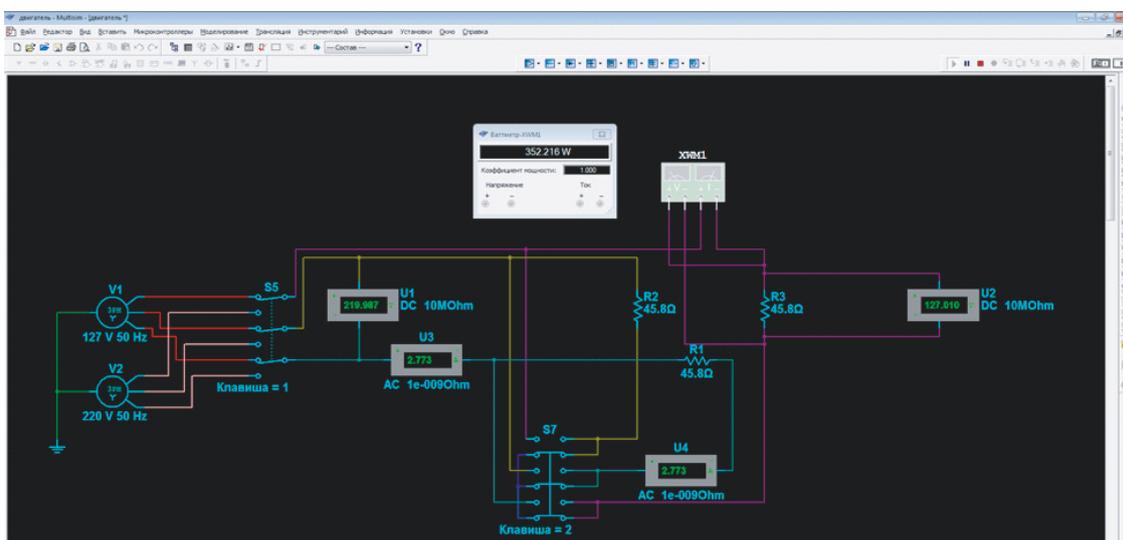


Рис. 3. Схема для анализа мощности при различных вариантах подключения электродвигателя

Таблица

Тематические разделы Atanua и их содержание

Base	Базовые элементы логики (ИЛИ, И, НЕ-ИЛИ, НЕ-И и т.д.)
Chips	Чипы различных импортных номиналов
In	Элементы источника сигнала (переключатели, кнопки)
Out	Элементы отображения сигнала (светодиоды)
Misc	Прочие элементы (земля, +5В, генераторы, текстовое поле)

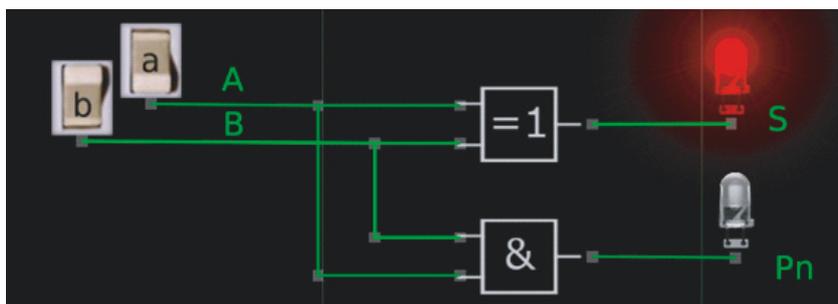


Рис. 4. Функциональная схема полусумматора

Заключение

Резюмируя вышеприведенный материал, можно говорить о том, что информационные технологии несомненно повышают эффективность обучения, однако при условии, что преподаватель должен правильно их применять.

Применение информационных технологий в учебном процессе, особенно при дистанционном обучении, несет в себе психологический фактор, который подразумевает готовность преподавателя правильно использовать эти технологии, а студента — быть готовым обучаться со всей ответственностью. Эти два фактора позволяют создавать творческое единство преподавателя и студента для успешного освоения планового учебного материала.

Информационные технологии помогают освоению учебного материала студентами при проведении занятий в дистанционном режиме, особенно при выполнении лабораторных работ. Так как студенты не имеют возможности работать на лабораторном оборудовании, они не получают навыков физической работы с приборами. Однако, эти недостатки во многом нивелируются с использованием программных эмуляторов, например, таких как Electronics Workbench, Multisim и Atanua, когда студенты могут самостоятельно строить схемы, проводить моделирование процессов, заносить экспериментальные данные в таблицы, делать выводы на основе анализа полученных данных. Кроме того, необходимо отметить, что при этом подходе повышается роль самостоятельной работы студентов, что также является положительным фактором при проведении дистанционных учебных занятий. 

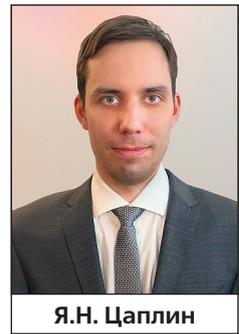
Литература

1. Беланович-Зубов, В.Е. Опыт разработки и применения средств мультимедиа в учебном процессе: методическое пособие / В.Е. Беланович-Зубов; Рос. акад. гос. службы при Президенте Рос. Федерации, Сиб. акад. гос. службы. —Новосибирск: СибАГС, 2005. — 136 с. —Текст: непосредственный.

2. Буриев, К.С. Роль дистанционного обучения в современном образовании / К.С. Буриев. –Текст: электронный // Образование и воспитание. –2016. – №4 (9). –С. 4–6. –URL: <https://moluch.ru/th/4/archive/39/1045/> (дата обращения: 24.10.2022).
3. Карлащук, В.И. Электронная лаборатория на IBM PC. Программа Electronics Workbench и ее применение /В.Е. Карлащук. –Москва: Солон-Р, 2000. –506 с. –Текст: непосредственный.
4. Хернитер, Марк Е. Электронное моделирование в Multisim® + DVD/ Марк Е. Хернитер; пер. с англ. Осипов А.И. –Москва: ДМК, 2009. –487 с. –Текст: непосредственный.
5. Нигай, Р.М. Методическое пособие по использованию системы программного моделирования Atanua / Р.М. Нигай. –Москва: Спутник+, 2022. –22 с. –ISBN 978-5-9973-6230-0.

РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК БЕТОННЫХ И АРМОБЕТОННЫХ АЭРОДРОМНЫХ ПОКРЫТИЙ ПО ДАННЫМ НАТУРНЫХ ИСПЫТАНИЙ

Статья посвящена разработке метода определения фактических характеристик бетонных и армобетонных аэродромных покрытий. Приведена концепция, позволяющая рассчитывать коэффициент постели основания и жесткость сечения плиты по результатам натурных испытаний с учетом их вероятностно-статистической изменчивости.



Я.Н. Цаплин

Ключевые слова: аэродром, коэффициент постели основания, жесткость, покрытие, прочностные свойства, упругая характеристика плиты

EDN: ICNVCR

В современных условиях происходят изменения парка используемых воздушных судов с увеличением грузоподъемности и интенсивности их использования. В этой ситуации увеличивается нагрузка на аэродромные покрытия. При появлении в составе новых типов воздушных судов требуется назначать режимы эксплуатации. Данное обстоятельство приводит к необходимости обследования и оценки несущей способности аэродромных покрытий. Для оценки несущей способности аэродромных покрытий необходимо определять их характеристики. При этом следует учитывать, что покрытия в процессе эксплуатации подвергаются воздействию случайных факторов, вследствие чего происходит изменение характеристик покрытий. Определение достоверных фактических характеристик покрытий возможно при проведении их комплексного обследования с натурными испытаниями. Для повышения надежности результатов натурных испытаний целесообразно применение вероятностно-статистических методов. Проблема оценки

несущей способности покрытия аэродрома является актуальной, поскольку качество покрытия является одним из ключевых факторов безопасности полетов. Совершенствованию методов расчета и вопросу повышения надежности аэродромных и дорожных покрытий посвящены многие научные работы. В статье А.П. Степушина и В.А. Сабуренковой [1] приводятся методы оценки надежности цементобетонных покрытий. А.П. Степушин и К.К. Аунг [2] изучили вопросы развития теории расчета бетонных покрытий с использованием вероятностно-статистических методов. Анализ количества решений задачи прочностного расчета жестких аэродромных покрытий изложен в статье В.В. Татарина и Е.А. Макаровой [3]. Учету размера отпечатка авиацины при расчете прогибов плиты покрытия посвящена статья В.В. Татарина и А.В. Фомина [4]. Оценка степени влияния дефектов на надежность цементобетонных покрытий приведена В.Д. Андроновым [5]. С.А. Матвеевым и соавторами [6] предложена методика расчета армированного слоя

Цаплин Яков Николаевич, заведующий лабораторией кафедры «Автомобильные дороги, аэродромы, основания и фундаменты» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: оценка несущей способности аэродромных покрытий. Автор четырех научных работ.

щебня как многослойной плиты на упругом основании с использованием технической теории изгиба и метода Бубнова-Галеркина.

Методика расчета

Для модели пластины на упругом основании Фусса – Винклера, принимаемой при расчете жестких аэродромных покрытий, расчетными характеристиками являются упругая характеристика плиты, коэффициент постели основания и жесткость сечения плиты.

По действующей методике [7] для определения характеристик покрытия проводят натурные испытания штампами, после которых рассчитывают упругую характеристику плиты и коэффициент постели основания по формулам:

$$l = \sqrt{\frac{0,12V}{W_{\max}}}, \tag{1}$$

$$K_s = \frac{F}{V}, \tag{2}$$

- где l – упругая характеристика плиты, м;
- V – объем чаши прогиба, м³;
- W_{\max} – максимальный прогиб покрытия от нагрузки, м;
- K_s – коэффициент постели основания, МН/м³;
- F – нагрузка, действующая на покрытие, МН.

Опыт применения этого метода показал, что точность определения упругой характеристики плиты и коэффициента постели снижается в связи с тем, что величина радиуса чаши прогиба, как правило, определяется по интерполяции. Кроме того, нагрузки при испытаниях штампом может оказаться недостаточно для выявления слабой прослойки грунта на глубине активной зоны. Испытания бетонных аэродромных покрытий многоколесными опорами воздушных судов или других транспортных средств обеспечивают более точную оценку несущей способности по сравнению с испытаниями штампами. Но при испытаниях много-

колесной опорой невозможно построить чашу прогиба по 3–5 измеренным прогибам.

В данной статье предлагается методика расчета характеристик бетонного или армобетонного покрытия путем сравнения отношений измеренных прогибов с отношениями теоретических прогибов плиты на упругом основании Фусса – Винклера. В качестве нагрузки можно использовать опоры воздушных судов, автомобили или штампы. Прогибы покрытия измеряются в заранее определенных точках, координаты которых определяются таким образом, чтобы расстояние от точки нагружения до наиболее удаленной точки измерения прогиба было больше прогнозируемого значения упругой характеристики плиты.

На рис. 1 приведен пример схемы измерений прогибов от четырехколесной опоры, на рис. 2 – от штампа.

Результатами натурных испытаний являются фактические значения прогибов ω_{fact}^k в точках измерения $k=1, \dots, nt$. Значения упругой характеристики плиты определяются из условия равенства фактических прогибов и теоретических прогибов ω^k :

$$\omega_{fact}^k = \omega^k. \tag{3}$$

Для теоретического расчета прогибов приняты формулы, приведенные Б.Г. Корневым и Е.И. Черниговской [8]. Подставляя формулы в условие (3), получим для нагрузки, распределенной по площади круга:

$$\omega_{fact}^k = -\frac{\pi q R_e}{2K_s l} \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \left[v_0 \left(\frac{R_e}{l} \right) f_0 \left(\frac{r_{i,j}^k}{l} \right) + u_0 \left(\frac{R_e}{l} \right) g_0 \left(\frac{r_{i,j}^k}{l} \right) \right], \tag{4}$$

где q – нагрузка на единицу площади отпечатка колеса, МПа;

R_e – радиус круга колеса испытательной нагрузки, м;

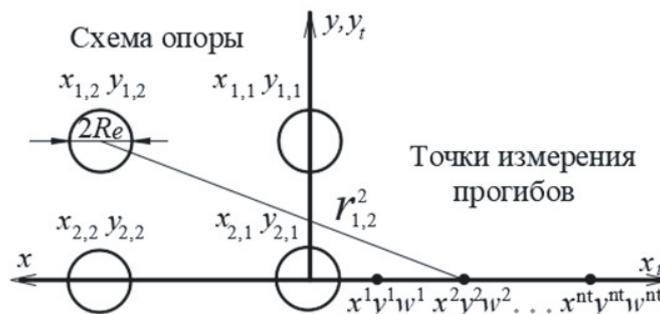


Рис. 1. Схема измерения прогибов от четырехколесной опоры



Рис. 2. Схема измерения прогибов от штампа

i, j – номер колеса;
 $v_0\left(\frac{R_e}{l}\right)$ – производная мнимой части функции Бесселя;
 $f_0\left(\frac{r_{i,j}^k}{l}\right)$ – действительная часть функции Ганкеля;
 $u_0\left(\frac{R_e}{l}\right)$ – производная действительной части функции Бесселя;
 $g_0\left(\frac{r_{i,j}^k}{l}\right)$ – мнимая часть функции Ганкеля;

$r_{i,j}^k$ – расстояние от i -го, j -го колеса до k -й точки измерения прогибов, м.

Из уравнения (4) невозможно в явном виде найти значение упругой характеристики плиты, которая является аргументом функций. Для того, чтобы определить его косвенным путем, перейдем от условия равенства фактических и теоретических прогибов к условию равенства их отношений для пар точек, находящихся на одной плите:

$$\frac{\omega_{fact}^a}{\omega_{fact}^b} = \frac{\omega^a}{\omega^b}, \quad (5)$$

где $a=1, \dots, nt-1$ – номер расчетной точки;

$b=a+1, \dots, nt$ – номера точек, следующих за расчетной точкой.

При этом учитываем, что для одной плиты аргументы q, R_e, K_s, l являются постоянными. Найдем отношения фактических прогибов в каждой точке измерения к прогибам во всех последующих точках:

$$\left\{ \begin{matrix} \omega_{fact}^a \\ \omega_{fact}^b \end{matrix} \right\} = \begin{bmatrix} \frac{\omega_{fact}^1}{\omega_{fact}^1} & \frac{\omega_{fact}^1}{\omega_{fact}^2} & \frac{\omega_{fact}^1}{\omega_{fact}^3} & \frac{\omega_{fact}^1}{\omega_{fact}^4} & \dots & \frac{\omega_{fact}^1}{\omega_{fact}^{nt}} \\ \frac{\omega_{fact}^2}{\omega_{fact}^2} & \frac{\omega_{fact}^2}{\omega_{fact}^3} & \frac{\omega_{fact}^2}{\omega_{fact}^4} & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \frac{\omega_{fact}^2}{\omega_{fact}^3} & \frac{\omega_{fact}^2}{\omega_{fact}^4} & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & 0 & \dots & \frac{\omega_{fact}^{nt-1}}{\omega_{fact}^{nt}} & \dots \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Условие равенства отношений фактических и теоретических прогибов для нагрузки, распределенной по площади круга, имеет вид:

$$\frac{\omega_{fact}^a}{\omega_{fact}^b} = \frac{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \left[v_0\left(\frac{R_e}{l}\right) f_0\left(\frac{r_{i,j}^a}{l}\right) + u_0\left(\frac{R_e}{l}\right) g_0\left(\frac{r_{i,j}^a}{l}\right) \right]}{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \left[v_0\left(\frac{R_e}{l}\right) f_0\left(\frac{r_{i,j}^b}{l}\right) + u_0\left(\frac{R_e}{l}\right) g_0\left(\frac{r_{i,j}^b}{l}\right) \right]}. \quad (7)$$

Для случая сосредоточенной нагрузки условие примет вид:

$$\frac{\omega_{fact}^a}{\omega_{fact}^b} = \frac{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n f_0\left(\frac{r_{i,j}^a}{l}\right)}{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n f_0\left(\frac{r_{i,j}^b}{l}\right)}. \quad (8)$$

При испытании штампами для определения теоретических прогибов используются формулы:

при $\xi_k \leq \alpha$

$$\omega_k = -\frac{\pi q \alpha}{2K_s} \left[-\frac{2}{\pi \alpha} + g_0'(\alpha) u_0(\xi_k) + f_0'(\alpha) v_0(\xi_k) \right], \quad (9)$$

при $\xi_k > \alpha$

$$\omega_k = -\frac{\pi q \alpha}{2K_s} \left[v_0'(\alpha) f_0(\xi_k) + u_0'(\alpha) g_0(\xi_k) \right], \quad (10)$$

где $\xi_k = x_k/l$ – приведенное расстояние от центра штампа до точки k ,

здесь x_k – расстояние от центра штампа до точки k , м;

$\alpha = R/l$ – приведенный радиус нагрузки от штампа,

здесь R – радиус штампа, м;

$g'_0(\alpha)$ – производная мнимой части функции Ганкеля;

$u_0(\xi_k)$ – действительная часть функции Бесселя;

$f'_0(\alpha)$ – производная действительной части функции Ганкеля;

$v_0(\xi_k)$ – мнимая часть функции Бесселя.

В зависимости от координаты точки соответствующая формула подставляется в условие (5).

Из условия (5) значения упругой характеристики плиты можно определить методом последовательных приближений. С учетом возможных характеристик аэродромных покрытий, приведенных в нормативном документе [9], определено, что упругая характеристика плиты бетонных аэродромных покрытий может изменяться от 0,5 до 2 м. По данному интервалу изменения при заданной точности итерационным методом определяются значения упругой характеристики плиты.

После определения значений упругой характеристики плиты по всем точкам испытаний формируется их статистический ряд, который приводится к соответствию нормальному закону распределения путем удаления ошибочных значений. Для полученного ряда определяются математическое ожидание \bar{l} и среднеквадратическое отклонение S_l упругой характеристики плиты.

По оценке математического ожидания упругой характеристики плиты определяются значения реактивного давления p^k по формулам:

• для нагрузки, распределенной по площади круга:

$$p^k = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n -\frac{\pi q \alpha}{2} \left[\begin{array}{l} v_0\left(\frac{R_e}{l}\right) f_0\left(\frac{r_{i,j}^k}{l}\right) + \\ + u_0\left(\frac{R_e}{l}\right) g_0\left(\frac{r_{i,j}^k}{l}\right) \end{array} \right]; \quad (11)$$

• для сосредоточенной нагрузки:

$$p^k = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n -\frac{F_d}{4l^2} f_0\left(\frac{r_{i,j}^k}{l}\right), \quad (12)$$

где α – приведенный радиус круга распределения нагрузки;

F_d – расчетная нагрузка на колесо, кН.

При испытаниях штампом для определения значения реактивного давления в точках плиты, расположенных за пределами штампа, используется формула (11), а в пределах штампа – формула (13):

$$p^k = -\frac{\pi q \alpha}{2} \left[\begin{array}{l} -\frac{2}{\pi \alpha} g_0\left(\frac{R}{l}\right) u_0\left(\frac{x_k}{l}\right) + \\ + f_0\left(\frac{R}{l}\right) v_0\left(\frac{x_k}{l}\right) \end{array} \right]. \quad (13)$$

Коэффициенты постели основания при фактических значениях прогибов рассчитываются по формуле:

$$K_s^k = \frac{p^k}{\omega_{fact}^k} k_{сез}, \quad (14)$$

где $k_{сез}$ – коэффициент приведения результатов испытаний к расчетному сезону, принимаемый по рекомендациям [10].

В результате получается статистический ряд коэффициентов постели, для которого определяются математическое ожидание \bar{K}_s и среднеквадратическое отклонение S_{K_s} .

Для определения значений жесткости сечения плиты B используется формула (15):

$$B = l^4 K_s. \quad (15)$$

Значения жесткости сечения плиты вычисляются для каждой реализации случайных аргументов, разыгрываемых по формулам:

$$l_i = \bar{l} + r_i S_l. \quad (16)$$

$$K_{s_i} = \bar{K}_s + r_i S_{K_s}, \quad (17)$$

где r_i – нормально распределенное число, определяемое по таблицам взаимно независимых случайных величин, подчиняющихся нормальному распределению с параметрами распределения (0, 1).

Для полученного ряда жесткостей сечения плиты определяются математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение.

Заключение

Разработана концепция, позволяющая определять характеристики напряженно-деформированного состояния бетонных и армобетонных аэродромных покрытий с учетом их стохастической природы. Статистические оценки характеристик покрытий могут быть использованы в качестве исходных данных при определении допустимых нагрузок от воздушных судов вероятностным методом. 

Литература

1. Степушин, А.П. Надежность цементобетонных покрытий аэродромов / А.П. Степушин, В.А. Сабуренкова. – Текст: непосредственный // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2017. – №1(48). – С. 84–89.
2. Степушин, А.П. Вероятностно-статистический расчет аэродромного покрытия из цементобетона / А.П. Степушин, К.К. Аунг. – Текст: непосредственный // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2018. – №1(52). – С. 57–63.
3. Татаринов, В.В. О количестве решений задачи прочностного расчета жестких аэродромных покрытий / В.В. Татаринов, Е.А. Макарова. – Текст: непосредственный // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2018. – №3. – С. 31–33.
4. Татаринов, В.В. Расчет прогибов плиты аэродромного покрытия с учетом размера отпечатка авиашины / В.В. Татаринов, А.В. Фомин. – Текст: электронный // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. – 2017. – №4 (14). – С. 4. – URL: <https://www.adi-madi.ru/madi/article/view/444> (дата обращения: 06.03.2023).
5. Андронов В.Д. Надежность бетонных покрытий аэродромов после выполнения ремонтных работ / В.Д.Андронов. – Текст: непосредственный // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2021. – №2. – С. 56–60.
6. Матвеев, С.А., Мартынов Е.А., Литвинов Н.Н. Экспериментально-теоретические исследования армированного основания дорожной одежды / С.А. Матвеев, Е.А. Мартынов, Н.Н. Литвинов. – Текст: непосредственный // Вестник СибАДИ. – 2015. – №4(44). – С. 80–86.
7. Единая методика оценки технического состояния искусственных аэродромных покрытий. – Москва: Минтранс России, 2015. – 48 с. – Текст: непосредственный.
8. Корнев, Б.Г. Расчет плит на упругом основании: пособие для проектировщиков / Б.Г. Корнев, Е.И. Черниговская; Акад. строительства и архитектуры СССР. Центр. науч.-исслед. ин-т строит. конструкций. – Москва: Госстройиздат, 1962. – 355 с. – Текст: непосредственный.
9. СП 121.13330.2019. Свод правил «СНиП 32-03-96 Аэродромы» (утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 30 января 2019 г. № 64/пр: введен 31.07.2019. – Москва: ФАУ ФСЦ, 2019. – 170 с. – Текст: непосредственный.
10. Рекомендации по методике оценки прочностных свойств покрытий на основе данных испытаний. – Москва: ГПИ и НИИ ГА «Аэропроект», 1989. – 83 с. – Текст: непосредственный.

УНИФИКАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ – ВАЖНЕЙШАЯ ЧАСТЬ РЕАЛИЗАЦИИ КЖЦ



М.Ю. Куликов



А.С. Шинкарук

Рассмотрены вопросы реализации контракта жизненного цикла на примере унификации конструкций пассажирских вагонов с учетом недостатков применяемой системы ремонта и технического обслуживания пассажирских вагонов в условиях ремонтных предприятий.

Ключевые слова: пассажирский вагон, персонал, затраты, унификация, модель, конструкция, контракт жизненного цикла (КЖЦ)

EDN: QJWIFV

Железнодорожный транспорт в России широко используется для осуществления грузовых и пассажирских перевозок. Причем наибольшее распространение получили все-таки грузовые перевозки в связи с большой протяженностью нашей страны и значительной удаленностью городских и промышленных агломераций друг от друга.

Пассажирские железнодорожные перевозки по праву замыкают тройку лидеров по количеству перевезенных пассажиров после автомобильного и воздушного транспорта. В настоящее время осуществляются как пассажирские перевозки дальнего следова-

ния, так и пригородного сообщения, причем последние набирают большее распространение в связи с значительным развитием городских агломераций с высокой плотностью населения.

В соответствии с прогнозной моделью развития пассажирских перевозок для стран, входящих в Организацию экономического сотрудничества и развития (ОЭСР), объемы пассажирских перевозок всеми видами транспорта к 2050 г. по сравнению с 2010 г. могут возрасти в 2,5 раза или в 1,8 раза к уровню 2020 г. [1]. При этом распределение пассажирооборота к 2030 г. по видам транспорта для стран

Куликов Михаил Юрьевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технология транспортного машиностроения и ремонта подвижного состава» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: транспортное машиностроение, технология производства и ремонта подвижного состава, металлорежущие станки и инструменты. Автор более 80 научных работ, в том числе двух монографий.

Шинкарук Андрей Сергеевич, кандидат технических наук, главный ревизор по безопасности движения поездов Акционерного общества «Федеральная пассажирская компания». Область научных интересов: безопасность движения, повышение продолжительности жизненного цикла пассажирского вагона, хребтовые балки, жизненный цикл подвижного состава. Автор более 10 научных работ.

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

Барышников Александр Владимирович, кандидат технических наук, ревизор по безопасности движения поездов Акционерного общества «Федеральная пассажирская компания». Область научных интересов: безопасность движения, пассивная безопасность подвижного состава, тормозные системы, автосцепные и сцепные устройства. Автор четырех научных работ.

ОЭСР составит: автомобильный – 69%, воздушный – 18%, железнодорожный – 4%, автобусный – 8%, двухколесный – 1%. К 2050 г. доля пассажиров, перевозимых железнодорожным транспортом, будет только увеличиваться и составит от 5 до 9 % от общего пассажирооборота.

Для привлечения большего количества пассажиров, перевозимых железнодорожным транспортом, необходимо постоянное обновление парка пассажирских вагонов. Данное требование обусловлено постоянным ростом потребностей пассажиров, к основным из которых относятся скорость перевозки, уровень комфорта, а также состояние надежности и безопасности подвижного состава [2]. На сегодняшний день пассажирские вагоны (13 моделей одноэтажных и 8 моделей двухэтажных) выпускаются на ОАО «Тверской вагоностроительный завод».

По данным информационно-справочной системы АСУ ПВ на сети железных дорог ОАО «РЖД» в настоящее время эксплуатируются более 150 моделей пассажирских вагонов, на которых установлено огромное разнообразие модификаций основных узлов вагонов. Справочные данные по модификациям систем и оборудования пассажирских вагонов приведены в таблице.

По результатам рассмотрения номенклатуры применяемых модификаций необходимо отметить, что значительное увеличение получило количество используемых на подвижном составе подвагонных генераторов, аккумуляторных батарей, установок кондиционирования воздуха и пожарной безопасности.

При рассмотрении перспектив развития отечественного вагоностроения в условиях нестабильной экономической и геополитической ситуации в мире, разнообразие в устанавливаемом на пассажирские вагоны оборудовании в настоящее время только увеличивается. Данная тенденция обусловлена отсутствием сдерживающих факторов, установленных на законодательном уровне, а также поиском собственниками и изготовителями подвижного состава производителей, выпускающих качественные и долговечные изделия для вагона по приемлемой цене.

Вместе с тем, в процессе проведения технического обслуживания и планово-предупредительного ремонта в рамках обслуживания подвижного состава на принципах контракта жизненного цикла подвижного состава именно исполнитель, в первую очередь, должен быть заинтересован в максимальной унификации используемых узлов и деталей вагона, так как они первостепенно влияют на себестоимость соответствующих работ, закупку и содержание номенклатуры запасных частей и материалов на складах предприятия, навыки и знания исполнителей, технологов и руководителей; кроме того они требуют, в ряде случаев, длительного нахождения подвижного состава в нерабочем парке, связанного с ремонтом или ожиданием поставки отдельных деталей или номенклатурной единицы в случае ее замены.

Кроме того, в последнее десятилетие активно проводятся работы по межгосударственной стандартизации основных требований, предъявляемых к железнодорожному подвижному составу, однако разработан-

Таблица

Модификации систем и оборудования пассажирских вагонов

Тип оборудования	Количество типов, моделей (модификаций)	
	2015 г.	2022 г.
Колесные пары	17	21
Тележки	9	15
Генераторы	11	28
Аккумуляторные батареи	34	51
Установки кондиционирования воздуха	26	52
Системы электрооборудования	117	184
Установки пожарной сигнализации	29	42
Кипятильники	3	5
Гидравлические гасители колебаний	11	15
ЭЧТК	11	15

ные стандарты не обеспечивают полноценный охват возможных предъявляемых к нему требований и, как правило, регламентируют общие принципы, критерии и требования предъявляемые к основным конструкционным узлам в части обеспечения надежности, прочности, безопасности движения, электробезопасности, пожарной безопасности и пр. Для пассажирских вагонов локомотивной тяги главенствующим документом на сегодняшний день является межгосударственный стандарт ГОСТ 34681-2020 «Вагоны пассажирские локомотивной тяги. Общие технические требования» [3]. При этом ГОСТ 34681-2020 не регламентирует требования по унификации основных систем и оборудования вагонов. Особо остро проблема унификации ощущается на ремонтных предприятиях.

Среди основных проблем стоит выделить: дефицит или полное отсутствие полной номенклатуры запасных частей, высокую стоимость отдельных комплектующих, недостаточную техническую возможность для складирования и хранения всей номенклатуры запасных частей, нехватка отечественных аналогов ряда импортных комплектующих, отсутствие в полном объеме ремонтной базы, в том числе стендового оборудования для диагностики и испытаний.

Основная проблема возникает с электрооборудованием вагонов, помимо озвученных вопросов также имеют место сложности при подключении преобразователей, генераторов, электронных блоков, плат, автоматических выключателей, реле, контакторов и пр. В связи с широким ассортиментом разъемов, датчиков, контактов производители электрического и электронного оборудования предусматривают на выпускаемом оборудовании различные схемы и разъемы для их подключения, исключающие возможность подключения электронного оборудования другого производителя аналогичного функционала. Таким образом, ремонтные участки предприятий вынуждены взаимодействовать исключительно с производителями оборудования, установленного при постройке вагонов, исключая тем самым возможность заменить данное оборудование на более современное, имеющее больший ресурс, наработку на отказ и т.д.

В условиях нестабильной экономической ситуации в мире средний срок жизни компаний-производителей оборудования и комплектующих невелик и составляет порядка 3–5 лет, при этом даже при продолжительном времени существования данных компаний выпускаемое оборудование с течением времени морально устаревает и постоянно претерпевает изменения, выпускаются различные модификации, а старые исполнения оборудования и его комплектующие снимаются с производства в связи с низким уровнем рентабельности, что также влияет

на своевременность выполнения технического обслуживания и ремонта в рамках выполнения обслуживания на принципах контракта жизненного цикла. Таким образом, при выходе из строя различного оборудования невозможно заменить его аналогом, необходимо проведение объемной работы, предусматривающей также замену вспомогательного оборудования, электропроводки, электрических щитов, ящиков с электрооборудованием и т.д., что приводит в свою очередь к значительному удорожанию ремонта и простоя вагона в нерабочем парке. При этом ремонт пассажирских вагонов производится, как правило, на договорной основе по фиксированной цене и не предусматривает проведение дополнительных работ. Последние подлежат согласованию и составлению дополнительных соглашений, финансовых смет и т.д., что приводит к увеличению сроков простоя вагонов в ремонте и упущению значительной доли финансовой прибыли, которую владельцы подвижного состава могли бы заработать за время эксплуатации вагонов.

Подведя итог к вышесказанному, можно с уверенностью сказать, что для успешного сопровождения пассажирского вагона на протяжении всего жизненного цикла необходимо на законодательном уровне установить единые нормативы для комплектующих вагонов в части их унификации, их монтажа или подключения, а также обязать производителей подвижного состава и его составных частей к неукоснительному их соблюдению. Данное решение позволит систематизировать процесс ремонта и технического обслуживания пассажирских вагонов и его составных частей и в будущем перейти от планово-предупредительной системы ремонта по пробегу или сроку, применительно для вагона в целом, к модульной системе ремонта, заключающейся в замене отдельных узлов по назначенному ресурсу, что в свою очередь значительно сократит время простоя вагона в ремонте и повысит уровень надежности и безотказности оборудования вагона и его составных частей. Также на ремонтных предприятиях повысится уровень квалификации персонала, обусловленный стандартизацией оборудования, разграничением выполняемых работ и оптимизацией производственного процесса. Дополнительно будет снижен уровень затрат ремонтных предприятий на техническое обучение и повышение квалификации работников, путем внедрения дистанционных методов обучения с применением интерактивных платформ, а также оборудования технических классов ремонтных предприятий макетами оборудования и обучающими стендами для отработки навыков персонала по выявлению и устранению неисправностей оборудования вагонов.

Литература

1. Транспорт в 2050 году. –Текст: непосредственный // Железные дороги мира, 2012. – №10. –С. 23–26.
2. Оценка качества предоставляемых услуг АО «ФПК» за январь-декабрь 2022 года глазами пассажиров (на основе индексов CSI и NPS). –Текст: непосредственный // АО «ФПК», 2023. –С. 33.
3. ГОСТ 34681-2020 Вагоны пассажирские локомотивной тяги. Общие технические требования = Passenger cars on locomotive traction. General technical requirements : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 22 октября 2020 г. №904-ст: дата введения 2021.03.01. –Москва, Стандартинформ, 2020. –С. 39. –Текст: непосредственный. –URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/740/74010.pdf> (дата обращения: 15.01.2023).

КОНЦЕПЦИЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОНОМНЫХ ЛОКОМОТИВОВ ПО КРИТЕРИЮ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ



А.Г. Силюта



А.Н. Журавлев

Оценка эффективности автономных локомотивов на стадиях проектирования и эксплуатации является одной из ключевых задач для локомотивного комплекса ОАО «РЖД». Целью настоящей статьи является установление основных положений принципиально новой концепции оценки эффективности тепловозов, позволяющей объективно учитывать техническое совершенство силовой установки и интенсивность эксплуатации тепловоза.

Ключевые слова: автономный локомотив, эффективность, тяговые расчеты, показатели работы, поездная работа

EDN: GYUMIT

Переход от планово-предупредительной системы ремонта на систему ремонта по реальному техническому состоянию показал, что требуется индивидуальный подход к формированию системы ремонта каждого локомотива в зависимости от интенсивности выполняемой работы. Рациональный выбор технических характеристик во многом определяет эффективность применения локомотива на рассматриваемом полигоне и представляет собой актуальную задачу для железнодорожного транспорта Российской Федерации и для холдинга ОАО «РЖД» в частности.

Локомотивостроительными заводами и инженеринговыми центрами машиностроительных компаний для подтверждения заявленных технических характе-

ристик локомотива требованиям нормативно-технической документации широко используется математическое моделирование как физических процессов, так и эксплуатационного режима работы автономного локомотива в целом. Как правило, подобные математические модели имеют различную степень достоверности в зависимости от полноты решаемой задачи и различную структуру с общими элементами — описание технологии поездной работы, задание расчетных условий эксплуатации и непосредственно алгоритмы получения показателей работы автономного локомотива.

Таким образом, принципиально задача определения показателей поездной работы автономного локомо-

Силюта Анатолий Геннадьевич, кандидат технических наук, заведующий лабораторией «Тепловозы» АО «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (АО «ВНИИЖТ»). Область научных интересов: совершенствование систем воздухообеспечения транспортных двигателей, оптимизация характеристик тепловозных дизелей. Автор 38 научных работ. Имеет четыре патента на изобретения.

Журавлев Андрей Николаевич, научный сотрудник лаборатории «Тепловозы» АО «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (АО «ВНИИЖТ»). Область научных интересов: совершенствование систем подачи топлива транспортных двигателей, оптимизация параметров топливной аппаратуры. Автор 12 научных работ.

тива, и соответственно, энергетической эффективности, решается, однако при этом вводятся существенные ограничения:

- поездная работа описывается в виде циклического процесса;
- не учитываются переходные процессы в силовой установке и вспомогательном оборудовании;
- не учитываются случайные процессы, возникающие при управлении локомотива;
- не учитываются влияние условий эксплуатации, в том числе атмосферных осадков;
- и некоторые другие.

Современные подходы к оценке эффективности автономных локомотивов

Одним из наиболее практически подкрепленных методов определения энергетической эффективности локомотивов является метод, разработанный АО «ВНИКТИ». Согласно ГОСТ 34514 [1] эффективность локомотива (или его секции) оценивается индикатором, который определяется отношением экспериментально-расчетного коэффициента полезного действия (КПД) локомотива, получаемого путем проведения контрольных реостатных испытаний по заранее выбранной циклограмме нагружения, и контрольного экспериментально-расчетного КПД локомотива, получаемого путем вычисления с применением стандартных показателей удельного потребления дизельного топлива и мощности дизель-генераторной установки, определенных в техническом задании (ТЗ) или технических условиях (ТУ) на локомотив. Количественную оценку энергоэффективных показателей ведут по минимально полученному значению индикатора с граничным значением. Отметим, что при этом количественно оценивается техническое качество силовой установки локомотива без учета реальных условий эксплуатации и объема выполняемой работы.

На взгляд авторов, оценка эффективности транспортных средств должна отражать не только расход энергии на перемещение, но и выполненную работу за определенное время, т.е. учитывать оба фактора — КПД и производительность транспортного средства. Наилучшим будет транспортное средство с наибольшим индикатором эффективности. Индикатор может быть вычислен как по паспортным техническим характеристикам, указанным в ТЗ и ТУ, так и по результатам эксплуатации [2;3]:

$$W = \eta \cdot \Pi = \frac{A}{B_r \cdot H_u} \cdot \frac{A}{T} = \frac{A^2}{B_r \cdot H_u \cdot T}, \quad (1)$$

где η — КПД тягового средства; Π — производитель-

ность тягового средства; W — индикатор энергетической эффективности; A — работа, выполненная тяговым средством; B_r — расход топлива при выполнении работы; H_u — теплотворная способность топлива (низшая); T — время выполнения работы.

Оценка эффективности локомотивов серии 2ТЭ116У для условий Октябрьской железной дороги – филиала ОАО «РЖД»

Рассмотрим пример расчета эффективности применения локомотива по предлагаемому критерию для одной секции тепловоза 2ТЭ116У. За час тепловоз совершит максимальную работу при использовании заложенных в процессе проектирования и изготовления показателей. Работа тепловоза определялась как произведение силы тяги длительного режима и расстояния, пройденного тепловозом за час при скорости длительного режима. Расход топлива принят на уровне часового расхода топлива на номинальной мощности, полученного по данным контрольных реостатных испытаний тепловозов соответствующей серии в сервисном локомотивном депо Саратов в 2016 году [4].

В качестве исходных данных приняты следующие:

- расчетная сила тяги длительного режима — 323,6 кН;
- скорость длительного режима — 23,2 км/ч;
- часовой расход топлива (при теплотворной способности 42 700 кДж/кг) — 530 кг/ч.

$$A = 323,6 \cdot 23,2 \cdot 1000 = 7,51 \cdot 10^6 \text{ кДж}. \quad (2)$$

$$W = \frac{(7,51 \cdot 10^6)^2}{530 \cdot 42700 \cdot 1} = 2,49 \cdot 10^6 \text{ кДж} \cdot \text{ч}. \quad (3)$$

Если для тепловоза задать массу состава для расчетного режима, то индикатор можно выразить в форме, связанной с эксплуатационной работой. В этом случае работа тепловоза определялась как произведение массы состава и технической скорости.

$$A = 1000 \cdot 35 = 35000 \text{ т} \cdot \text{км}. \quad (4)$$

$$W = \frac{(35000)^2}{265 \cdot 42700 \cdot 1} = 108,3 \text{ т} \cdot \text{км}^2 / \text{кДж} \cdot \text{ч}. \quad (5)$$

Отметим, что настоящие значения получены исходя из паспортных характеристик локомотива и в предположении интенсивной эксплуатации. На практике значение критерия будет ниже в связи с существенными отличиями в условиях эксплуатации, человеческого фактора и ряда других случайных факторов.

Для получения показателей поездной работы предложен принципиально новый способ к определению эксплуатационных показателей локомотивов — экс-

платационный режим работы тепловоза представлялся множеством обобщенных режимов ведения поезда, каждому из которых ставилось в соответствие множество начальных условий [5].

При этом в отличие от традиционных точных тяговых расчетов не предпринимается попытка приблизиться к оптимальной траектории движения поезда, что является сложной на практике технической задачей, а проводится математическое моделирование поездной работы с учетом переходных процессов в дизеле и его вспомогательном оборудовании, а также случайных процессов, возникающих при управлении локомотивом.

Эксплуатационный режим работы локомотива представлялся аналитической зависимостью, содержащей прямое (декартово) произведение множества режимов ведения поезда и множества начальных условий:

$$C = \{a_k\} \times \bigcup_{i \in I} \{(x, i) | x \in B_i\}. \quad (6)$$

Множество режимов ведения поезда представлено конечной числовой последовательностью возможных обобщенных режимов движения локомотива:

$$A = \{a_k\}, \quad (7)$$

где a_k – k -й член множества A ; $k = 1, 2, \dots, n$ – случайная величина.

Каждому из возможных обобщенных режимов движения локомотива («Разгон», «Торможение», «Выбег», «Движение с постоянной скоростью» и «Стоянка») соответствовал достаточно большой ограниченный набор начальных условий, элементы которых были заданы случайными величинами. Набор начальных условий представляет собой дизъюнктивное объединение одномерных множеств начальных условий:

$$\bigcup_{i \in I} \{(x, i) | x \in B_i\}, \quad (8)$$

где B_i – i -ое множество начальных условий.

Результатами расчета являются суммарные показатели поездной работы – расход топлива, выполненная

работа на автосцепке, время работы, позволяющие рассчитывать критерий энергетической эффективности локомотива.

Рассмотрим пример расчета эффективности применения локомотива по предлагаемому критерию для одной секции тепловоза 2ТЭ116У. Показатели поездной работы получены путем математического моделирования по предлагаемому подходу для реальных условий эксплуатации Октябрьской железной дороги – филиала ОАО «РЖД» и парка тепловозов 2ТЭ116У приписки той же дороги.

$$W = \frac{(2,64 \cdot 10^6)^2}{150 \cdot 42700 \cdot 1} = 1,09 \cdot 10^6 \text{ кДж} \cdot \text{ч}. \quad (9)$$

Отметим, что индикатор эффективности применения локомотива в эксплуатации значительно ниже потенциального значения $2,49 \cdot 10^6$ кДж·ч, определенного по паспортным техническим характеристикам, отражает не только свойства тепловоза, но и качество эксплуатации.

Выводы

Предложенный критерий энергетической эффективности позволяет дать количественную оценку эффективности автономных локомотивов как с точки зрения технического совершенства силовой установки, так и интенсивности эксплуатации тепловоза для решения задач сравнительной оценки автономных локомотивов разных серий и годов выпуска, определения наиболее выгодного для выбранных условий эксплуатации вариантов.

Для тепловоза 2ТЭ116У в условиях Октябрьской железной дороги – филиала ОАО «РЖД» вычислено значение предлагаемого критерия эффективности, которое в 2,28 раза меньше, чем вычисленное по паспортным характеристикам. Это обстоятельство позволяет сделать вывод о неудовлетворительной интенсивности эксплуатации локомотивов данной серии на выбранном полигоне. 

Литература

1. ГОСТ 34514 -2019. Тепловозы магистральные и маневровые. Метод определения энергоэффективности = The main-line and shunting diesel locomotives. Method of determination of energy efficiency: национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 14 марта 2019 г. N84-ст.: дата введения: 2019-10-01. – Москва: Стандартинформ, 2019. – 19 с. – Текст: непосредственный.
2. Критерий оценки эффективности транспортного средства / Е.Е. Коссов, В.В. Асабин, А.Г. Силюта, Л.Е. Коссова. – Текст: непосредственный // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2019. – №2. – С. 96–99.

3. Инновационные методы оценки эффективности работы тепловозов / Е.Е. Коссов, А.Г. Силюта, Л.Е. Коссова, А.Н. Журавлев, В.В. Асабин. – Текст: непосредственный // Локомотив. – 2019. – № 11 (755). – С. 39–40.
4. Асабин, В.В. Повышение эффективности работы силовых установок тепловозов применением системы электронного управления / В.В. Асабин, А.Г. Силюта, Е.Е. Коссов. – Текст: непосредственный // Вестник транспорта Поволжья. – 2018. – № 5. – С. 67–71.
5. Силюта, А.Г. Моделирование поездной работы магистрального локомотива / А.Г. Силюта, Е.Е. Коссов. – Текст: непосредственный // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2018. – № 4. – С. 218–221.

СИНТЕЗ УСТРОЙСТВ УПРАВЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМИ СТРЕЛКАМИ С ОБНАРУЖЕНИЕМ НЕИСПРАВНОСТЕЙ И ФУНКЦИЯМИ САМОДИАГНОСТИРОВАНИЯ НА ПРОГРАММИРУЕМЫХ ЛОГИЧЕСКИХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СХЕМАХ



Д.В. Ефанов



А.В. Пашуков

Предложен способ синтеза систем управления объектами железнодорожной автоматики и телемеханики на программируемой элементной базе с интеграцией с внешними средствами диагностирования и мониторинга. Увязка позволяет наделить синтезируемое устройство свойством сигнализации о возникающих неисправностях, в том числе, свойством контроля предотказного состояния.

Ключевые слова: железнодорожная автоматика и телемеханика, железнодорожная стрелка, контроль предотказного состояния

EDN: CLVUJY

Программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС), зарекомендовавшие себя во многих отраслях промышленности (включая военную и атомную) и транспорта [1–3], широко не применяются в отечественных системах управления движением поездов и, в частности, в области железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ). Однако, как показано в ряде работ, например, [4;5] данная элементная база могла бы явиться альтернативой для существующих подходов к реализации систем ЖАТ.

ПЛИС имеют относительно низкую стоимость и высокое быстродействие, не используют материалоемких и энергоемких элементов, операционных систем и программного обеспечения, на них могут быть реализованы сложные параллельные алгоритмы, а реализация алгоритмов работы объектов ЖАТ является аппаратной.

В [6] авторами описывается архитектура безопасных решений для концентраторов связи верхнего и нижнего уровней и центрального вычислительного модуля с четырехъядерной архитектурой для реализации систем ЖАТ. В [7] освещены особенности разработанного на основе ПЛИС для чешских железных дорог оборудования централизации, используемого на железнодорожном переезде. При этом авторами спроектировано решение, отвечающее наивысшему уровню полноты безопасности — УПБ 4 (SIL 4). В [8] описана реализация путевого приемника рельсовой цепи на ПЛИС, а также дается оценка надежности характеристик. В главе 8 книги [9] установлены особенности реализации отказоустойчивых систем критического применения на основе ПЛИС, включая использование кодовых методов, рабочего и тестового диагностирования.

Ефанов Дмитрий Викторович, доктор технических наук, доцент, заместитель генерального директора по научно-исследовательской работе Научно-исследовательского и проектного института «Транспортной и строительной безопасности», профессор Высшей школы транспорта Института машиностроения, материалов и транспорта Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, профессор кафедры «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)), действительный член Международной Академии транспорта, член Института инженеров электротехники и электроники (IEEE). Область научных интересов: дискретная математика, надежность и техническая диагностика дискретных систем, методы синтеза самопроверяемых, отказоустойчивых и безопасных систем управления, методы мониторинга транспортных систем. Автор свыше 500 научных работ, в том числе трех учебников, трех монографий и 11 учебных пособий. Имеет пять патентов на изобретения.

Пашуков Артем Валерьевич, старший преподаватель, аспирант кафедры «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: методы синтеза безопасных систем управления. Автор 17 научных работ.

При синтезе устройств управления объектами ЖАТ на основе ПЛИС целесообразно использовать язык регулярных выражений для описания алгоритмов их работы [10;11], либо же синтезировать устройства управления в виде конечных автоматов. Это удобно, так как схемы ЖАТ реализуют, фактически, цепочки установленных логических выражений, имеющих зачастую простейший вид дизъюнктивной нормальной формы записи вычисляемых функций [12].

В [13;14] описана методика синтеза устройств управления напольным технологическим оборудованием ЖАТ с обнаружением неисправностей и кодовой защитой от сбоев на основе ПЛИС. Она универсальна, однако не охватывает возможностей использования технических средств диагностирования и мониторинга (как встраиваемых, так и внешних) для расширения множества работоспособных состояний объектов ЖАТ и фиксации их предотказных состояний [15]. Используя данные средств технического диагностирования и мониторинга, расширяя множество входных воздействий, выходных реакций, а также вводя дополнительные работоспособные предотказные состояния, можно реализовывать конечные автоматы (и в итоге, устройства управления объектами ЖАТ), наделенные свойствами самодиагностирования. Это на практике позволит получить более простые в эксплуатации устройства, сигнализирующие о своем техническом состоянии и позволяющие персоналу дистанций сигнализации, централизации и блокировки оперативно предотвращать нарушения в графике движения поездов за счет своевременной реакции на развивающийся дефект. В данной разработке освещаются особенности реализации таких конечных автоматов на ПЛИС на примере реализации схемы управления железнодорожной стрелкой с увязкой с внешними техническими средствами диагностирования и мониторинга.

Постановка задачи

Рассматривается объект инфраструктуры железных дорог – железнодорожная стрелка. Положим, данный объект для автоматизации его перевода оборудован стрелочным электроприводом с двигателем постоянного тока. Техническое состояние стрелочного электропривода оценивается по параметру тока перевода с применением внешних средств диагностирования и мониторинга [16].

Для стрелочного электропривода определены следующие данные:

- полное множество допустимых состояний $Q \in \{\Phi, \Psi, \Omega\}$:

- множество $\Phi \in \{\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_n\}$ – множество штатных состояний, определяемых из алгоритма функционирования стрелки;

- множество $\Psi \in \{\Psi_1, \Psi_2, \dots, \Psi_m\}$ – множество работоспособных, но предотказных состояний, фиксируемых по результатам работы дополнительных средств технического диагностирования и мониторинга;

- множество $\Omega \in \{\Omega_1, \Omega_2, \dots, \Omega_k\}$ – множество защитных состояний, переход в которые требует останова использования объекта по назначению и вмешательства эксплуатационного персонала;

- начальное состояние $Q_0 \in Q$;

- множество входных переменных $X \in \{X_1, X_2, \dots, X_r\}$;

- множество выходных переменных $Z \in \{Z_1, Z_2, \dots, Z_s\}$;

- условия переходов между состояниями:

- функции $\varphi: X \times Q \rightarrow Q$ – функция переходов, отображающая множество $X \times Q$ в множество Q ;

- функции $\chi: X \times Q \rightarrow Z$ – функции переходов, отображающие множество $X \times Q$ в множество Z .

Требуется решить следующую задачу:

- сформировать граф переходов конечного автомата, задаваемого моделью $A = \langle X, Q, Z, Q_0, \varphi, \chi \rangle$, с функциями ухода в защитные состояния в случае нарушений условий безопасности движения поездов, а также расширенными функциями самодиагностирования (контроля неисправностей по параметру тока перевода стрелки с выделением предотказных состояний);

- синтезировать конечный автомат на основе ПЛИС с кодовой защитой от неисправностей.

Формирование графа переходов конечного автомата

Для формирования графа переходов конечного автомата требуется описание условий функционирования объекта управления при штатной работе и при работе с неисправностями (в данном случае, при переходе в работоспособные предотказные состояния).

Для определения множества Φ штатных состояний требуется информация о следующих входных параметрах [14]: x_1 – состояние устройства запуска перевода в нормальное (плюсовое) положение (0 – выключено, 1 – включено), x_2 – состояние устройства запуска перевода в переведенное (минусовое) положение (0 – выключено, 1 – включено), x_3 – наличие контроля плюсового положения (0 – контроля нет, 1 – контроль есть), x_4 – наличие контроля минусового положения (0 – контроля нет, 1 – контроль есть), x_5 – контроль времени перевода (0 – время не истекло, 1 – время истекло), x_6 – проверка замыкания стрелки в маршруте (0 – разомкнута, 1 – замкнута), x_7 – проверка занятости стрелочной секции (0 – занята, 1 – свободна), x_8 – состояние источника команды на

перевод (0 – отсутствие перевода стрелки на местное управление, 1 – перевод с пульта-табло дежурного по станции), x_9 – проверка питания на электродвигателе (0 – питания нет, 1 – питание есть).

Далее требуется определить все «дополнительные» неисправные состояния. При формировании графа переходов будем на данном этапе осуществлять увязку с системой технического диагностирования и мониторинга «Аппаратно-программный комплекс диспетчерского контроля» (АПК-ДК) и брать входные данные из нее. Данная система широко распространена на сети железных дорог РФ, организованы центры мониторинга на всех железных дорогах – филиалах ОАО «РЖД».

В таблице 6.3 из [16] описано пять работоспособных предотказных состояний, которые можно установить при анализе токовых диаграмм с применением технических средств диагностирования АПК-ДК. Соответственно, во множество входных данных добавятся следующие переменные: x_{10} – загрязнение коллекторного узла (0 – нет, 1 – да), x_{11} – короткое замыкание якоря электродвигателя (0 – нет, 1 – да), x_{12} – искрение щеток электродвигателя (0 – нет, 1 – да), x_{13} – неисправность стрелочного перевода (0 – нет, 1 – да), x_{14} – неисправность запирающего механизма (0 – нет, 1 – да). При развитии технологии синтеза системы управления с увязкой с техническими средствами диа-

гностирования и мониторинга перечень диагностических ситуаций может быть расширен [17].

Перечислим выходные переменные для определения состояний синтезируемого конечного автомата: z_1 – подача питания прямой полярности на электродвигатель (0 – питания нет, 1 – питание есть), z_2 – подача питания обратной полярности на электродвигатель (0 – питания нет, 1 – питание есть), z_3 – достижение крайнего плюсового положения (0 – не достигнуто, 1 – достигнуто), z_4 – достижение крайнего минусового положения (0 – не достигнуто, 1 – достигнуто), z_5 – запираение стрелки в плюсовом положении (0 – не заперта, 1 – заперта), z_6 – запираение стрелки в минусовом положении (0 – не заперта, 1 – заперта), z_7 – z_9 – сигнализация о неисправности в двоичном коде. Имеется пять неисправностей (см. таблицу 6.3 из [16]), соответственно, им присвоены следующие кодовые векторы $z_7z_8z_9$: 001 – неисправность x_{10} , 010 – неисправность x_{11} , 011 – неисправность x_{12} , 100 – неисправность x_{13} , 101 – неисправность x_{14} . Кодовый вектор 000 соответствует штатной работе устройства без неисправностей.

Состояния автомата приведены в таблице, а сам автомат в виде графа – на рис. 1.

При описании в таблице использованы такие сокращения. Нормальное (плюсовое) положение стрелки обозначено как «+». Переведенное (минусовое) поло-

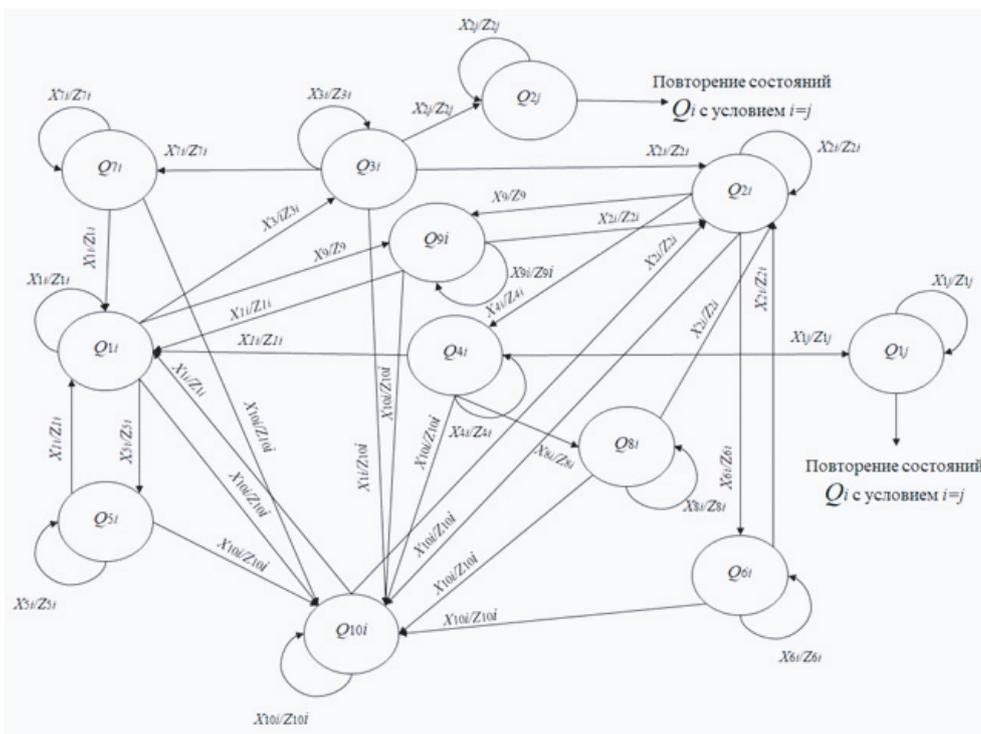


Рис. 1. Граф переходов конечного автомата

жение стрелки обозначено как «-». Неисправности 001, 010, 011, 100 и 101 обозначены через +1, +2, +3, +4, +5 (добавление неисправности).

Функции переходов φ и χ определяются логикой функционирования объекта управления и диагностирования [14].

В начальном состоянии стрелка находится в одном из крайних положений, при этом неисправностей нет (Q_{10}, Q_{20}). При отсутствии неисправностей, связанных с изменением значений тока во время перевода стрелки, система находится в одном из состояний $Q_{10}, Q_{20}, Q_{30}, Q_{40}, Q_{50}, Q_{60}, Q_{70}, Q_{80}, Q_{90}$. При нормальной работе индекс $i=0$.

Фиксация неисправности происходит в момент перевода стрелки из одного крайнего положения в другое. При этом система будет переходить в следующие состояния: $Q_{1j}, Q_{2j}, Q_{3j}, Q_{4j}, Q_{5j}, Q_{6j}, Q_{7j}, Q_{8j}$, где j – номер неисправности. Несмотря на наличие неисправности, система будет работать аналогично тому, как и при отсутствии неисправностей с условием, что $i=j$. В данных состояниях система будет находиться до устранения возникшей неисправности. Стоит отметить, что при возникновении нескольких неисправностей вся система перейдет в защитное состояние до устранения всех неисправностей.

Состояния Q_{90} и Q_{100} не зависят от наличия неисправностей, соответственно для них в любой момент времени справедливо условие $i=j=0$.

В таблице приведены все состояния конечного автомата. Однако защитному состоянию соответствует несколько кодовых слов. К ним относятся все состояния, коды которых не использованы в предыдущих. Для этих состояний введено обозначение множества кодовых слов Ω_i^* .

Особенности синтеза устройства на основе программируемых логических интегральных схем

Синтезируем устройство, для примера, на основе простой ПЛИС MAX II EPM240T100C4 [18]. Данное устройство содержит 240 элементов логики (LE), 192 макроэлемента и максимально 80 пользовательских выводов I/O. EPM240T100C4 представляет собой одну из наиболее простых схем класса ПЛИС – CPLD (Complex Programmable Logic Device). CPLD по сложности занимает место между более сложной FPGA (Field-Programmable Gate Array) и менее сложной PAL (Programmable Array Logic). Выбранная ПЛИС подходит для экспериментов по синтезу конечных автоматов простых логических устройств ЖАТ.

Для защиты конечного автомата от ошибок при работе используем кодирование взвешенными кодами

с суммированием. В качестве такого кода выбран код с суммированием, при построении которого разрядам информационного вектора, начиная с младшего, присваиваются весовые коэффициенты из натурального ряда чисел со счетом по модулю $M=8$ [19]. Данный код является помехозащищенным, обнаруживает все одиночные ошибки в кодовых словах, а также большое количество ошибок в области малой их кратности: например, доля необнаруживаемых двукратных ошибок от общего числа ошибок данной кратностью в информационных векторах составляет 6,67%, а трехкратных от общего числа трехкратных ошибок в информационных векторах – 15 %.

Для кодирования представленного количества состояний требуется как минимум 6 информационных разрядов. Использование модуля $M=8$ позволяет ограничить число контрольных разрядов и сделать его равным 3. Таблица кодовых слов здесь не приводится. При этом каждое состояние в приведенной в статье таблице закодировано указанным кодом последовательно в порядке возрастания двоичных чисел, соответствующих информационным векторам взвешенного кода с суммированием.

Мощность множества кодовых слов рассматриваемого кода равна $2^6=64$. При кодировании состояний конечного автомата использованы не все кодовые слова, а только некоторое их подмножество. Переход конечного автомата, связанный с появлением неиспользованных кодовых слов (векторы Ω_i^*) будет соответствовать переходу в защитное состояние.

Синтезированное устройство занимает 24 логические ячейки и 22 ячейки входов/выходов (всего 46 ячеек). Для сравнения, устройство управления железнодорожной стрелкой без функции самодиагностирования занимает 22 логических ячейки и 16 ячеек входов/выходов (всего 38 ячеек) [14]. Число ячеек увеличилось примерно на 20%. При этом устройство наделено функцией сигнализации о возникающих неисправностях.

На рис. 2 представлены временные диаграммы работы устройства управления железнодорожной стрелкой при ее переводе из плюсового положения в минусовое, а также показана работа при возникновении неисправности типа x_{10} – загрязнение коллекторного узла (кодированный вектор 001) при обратном переводе в плюсовое положение. Момент возникновения неисправности обозначен желтой линией, после которой неисправность транслируется на выходы автомата и происходит сигнализация наличия данного события. Несмотря на возникшую неисправность, устройство продолжит работу. Это сделано потому, что предотказные состояния входят в класс работоспособных состояний технических устройств и не должны приводить к защитному отказу устройства [15].

Таблица

Состояния объекта управления с учетом неисправностей

Состояние	Вектор входных переменных $\langle x_1 x_2 \dots x_{14} \rangle$	Обозначение вектора	Значения разрядов выходного вектора $\langle z_1 z_2 \dots z_9 \rangle$	Обозначение вектора
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
Q_{10} – Plusовое положение	0010~0~~000000	X_{10}	001000000	Z_{10}
Q_{11} – Plusовое положение +1	0010~0~~~010000	X_{11}	001000001	Z_{11}
Q_{12} – Plusовое положение +2	0010~0~~~001000	X_{12}	001000010	Z_{12}
Q_{13} – Plusовое положение +3	0010~0~~~000100	X_{13}	001000011	Z_{13}
Q_{14} – Plusовое положение +4	0010~0~~~000010	X_{14}	001000100	Z_{14}
Q_{15} – Plusовое положение +5	0010~0~~~000001	X_{15}	001000101	Z_{15}
Q_{20} – Минусовое положение	0001~0~~~000000	X_{20}	000100000	Z_{20}
Q_{21} – Минусовое положение +1	0001~0~~~010000	X_{21}	000100001	Z_{21}
Q_{22} – Минусовое положение +2	0001~0~~~001000	X_{22}	000100010	Z_{22}
Q_{23} – Минусовое положение +3	0001~0~~~000100	X_{23}	000100011	Z_{23}
Q_{24} – Минусовое положение +4	0001~0~~~000010	X_{24}	000100100	Z_{24}
Q_{25} – Минусовое положение +5	0001~0~~~000001	X_{25}	000100101	Z_{25}
Q_{30} – Перевод из «+» в «-»	0100001~100000	X_{30}	100000000	Z_{30}
Q_{31} – Перевод из «+» в «-» +1	0100001~110000	X_{31}	100000001	Z_{31}
Q_{32} – Перевод из «+» в «-» +2	0100001~101000	X_{32}	100000010	Z_{32}
Q_{33} – Перевод из «+» в «-» +3	0100001~100100	X_{32}	100000011	Z_{33}
Q_{34} – Перевод из «+» в «-» +4	0100001~100010	X_{34}	100000100	Z_{34}
Q_{35} – Перевод из «+» в «-» +5	0100001~100001	X_{35}	100000101	Z_{35}
Q_{40} – Перевод из «-» в «+»	1000001~100000	X_{40}	010000000	Z_{40}
Q_{41} – Перевод из «-» в «+» +1	1000001~110000	X_{41}	010000001	Z_{41}
Q_{42} – Перевод из «-» в «+» +2	1000001~101000	X_{42}	010000010	Z_{42}
Q_{43} – Перевод из «-» в «+» +3	1000001~100100	X_{43}	010000011	Z_{43}
Q_{44} – Перевод из «-» в «+» +4	1000001~100010	X_{44}	010000100	Z_{44}
Q_{45} – Перевод из «-» в «+» +5	1000001~100001	X_{45}	010000101	Z_{45}
Q_{50} – Запирание «+»	0010~111000000	X_{50}	001010000	Z_{50}
Q_{51} – Запирание «+» +1	0010~111010000	X_{51}	001010001	Z_{51}
Q_{52} – Запирание «+» +2	0010~111001000	X_{52}	001010010	Z_{52}
Q_{53} – Запирание «+» +3	0010~111000100	X_{53}	001010011	Z_{53}
Q_{54} – Запирание «+» +4	0010~111000010	X_{54}	001010100	Z_{54}
Q_{55} – Запирание «+» +5	0010~111000001	X_{55}	001010101	Z_{55}
Q_{60} – Запирание в «-»	0001~111000000	X_{60}	000101000	Z_{60}
Q_{61} – Запирание в «-» +1	0001~111010000	X_{61}	000101001	Z_{61}
Q_{62} – Запирание в «-» +2	0001~111001000	X_{62}	000101010	Z_{62}
Q_{63} – Запирание в «-» +3	0001~111000100	X_{63}	000101011	Z_{63}
Q_{64} – Запирание в «-» +4	0001~111000010	X_{64}	000101100	Z_{64}
Q_{65} – Запирание в «-» +5	0001~111000001	X_{65}	000101101	Z_{65}

Окончание таблицы

1	2	3	4	5
Q_{70} – Автовозврат в «+»	0 1 0 0 1 0 1 ~ 1 0 0 0 0 0	X_{70}	0 1 0 0 0 0 0 0 0	Z_{70}
Q_{71} – Автовозврат в «+» +1	0 1 0 0 1 0 1 ~ 1 1 0 0 0 0	X_{71}	0 1 0 0 0 0 0 0 1	Z_{71}
Q_{72} – Автовозврат в «+» +2	0 1 0 0 1 0 1 ~ 1 0 1 0 0 0	X_{72}	0 1 0 0 0 0 0 1 0	Z_{72}
Q_{73} – Автовозврат в «+» +3	0 1 0 0 1 0 1 ~ 1 0 0 1 0 0	X_{73}	0 1 0 0 0 0 0 1 1	Z_{73}
Q_{74} – Автовозврат в «+» +4	0 1 0 0 1 0 1 ~ 1 0 0 0 1 0	X_{74}	0 1 0 0 0 0 1 0 0	Z_{74}
Q_{75} – Автовозврат в «+» +5	0 1 0 0 1 0 1 ~ 1 0 0 0 0 1	X_{75}	0 1 0 0 0 0 1 0 1	Z_{75}
Q_{80} – Автовозврат в «-»	1 0 0 0 1 0 1 ~ 1 0 0 0 0 0	X_{80}	1 0 0 0 0 0 0 0 0	Z_{80}
Q_{81} – Автовозврат в «-» +1	1 0 0 0 1 0 1 ~ 1 1 0 0 0 0	X_{81}	1 0 0 0 0 0 0 0 1	Z_{81}
Q_{82} – Автовозврат в «-» +2	1 0 0 0 1 0 1 ~ 1 0 1 0 0 0	X_{82}	1 0 0 0 0 0 0 1 0	Z_{82}
Q_{83} – Автовозврат в «-» +3	1 0 0 0 1 0 1 ~ 1 0 0 1 0 0	X_{83}	1 0 0 0 0 0 0 1 1	Z_{83}
Q_{84} – Автовозврат в «-» +4	1 0 0 0 1 0 1 ~ 1 0 0 0 1 0	X_{84}	1 0 0 0 0 0 1 0 0	Z_{84}
Q_{85} – Автовозврат в «-» +5	1 0 0 0 1 0 1 ~ 1 0 0 0 0 1	X_{85}	1 0 0 0 0 0 1 0 1	Z_{85}
Q_{90} – Взрез	0 0 0 0 1 0 ~ ~ 0 ~ ~ ~ ~	X_{90}	0 0 0 0 0 0 ~ ~ ~	Z_{90}
Q_{100} – Защитное состояние	Ω_i^*	X_{100}	0 0 0 0 0 0 ~ ~ ~	Z_{100}

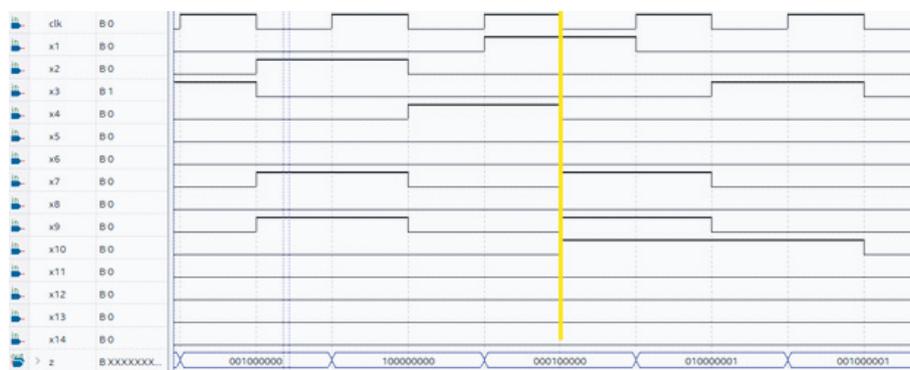


Рис. 2. Моделирование работы синтезированного устройства в Quartus

Заключение

При разработке устройств управления объектами ЖАТ на современной элементной базе целесообразно не только кодировать состояния определенным помехозащищенным кодом, но и осуществлять увязку с техническими средствами диагностирования и мониторинга. Это позволяет получить контролепригодное и самодиагностируемое устройство, позволяющее сигнализировать о потере работоспособности и переходе в предотказное состояние.

Обратим внимание читателя на то, что в настоящей статье авторами не затрагиваются вопросы обеспечения надежности и безопасности устройств, реализуемых на программируемой элементной базе, поскольку этой проблеме посвящено достаточно боль-

шое количество работ. К примеру, уже упомянутые ранее [1–3;6–11].

В статье показана принципиальная возможность реализации устройств управления объектами ЖАТ на ПЛИС с расширенными функциями контролепригодности и самодиагностирования. С экономической точки зрения использование описанной технологии на практике позволяет сократить затраты на проектирование систем ЖАТ за счет применения стандартизированных блоков (модулей), упрощения процесса верификации и тестирования автоматов, а в процессе эксплуатации реализованных систем, благодаря наделению устройств свойствами контролепригодности и самодиагностирования, в т. ч. контроля предотказных состояний, своевременно обнаруживать развиваю-

щийся дефект, давая возможность персоналу оперативно провести восстановительные работы, не влияя на технологический процесс перевозок.

Дальнейшие исследования направлены на реализацию устройств с диагностическими функциями без использования внешних («готовых») систем технического диагностирования и мониторинга. Это позволит минимизировать аппаратные затраты на реализацию устройств управления, уменьшить количество автоматизированных рабочих мест для эксплуатационного персонала и упростить работу эксплуатационного персонала. Также может быть рассмотрена возможность реализации функций контроля предотказных и преднапряженных состояний искусственных сооружений железнодорожной инфраструктуры при синтезе самого устройства управления [20]. Это целесообразно, так как средства железнодорожной автоматики являются техническими средствами, наделенными функциями безопасного управления движением поездов. 

Литература

1. Monmasson E., Cirstea M.N. FPGA Design Methodology for Industrial Control Systems – A Review // IEEE Transactions on Industrial Electronics. –2007. –Vol. 54. –Issue 4. –Pp. 1824-1842. –DOI: 10.1109/TIE.2007.898281.
2. Drozd O., Antoniuk V., Nikul V., Drozd M. Hidden Faults in FPGA-Built Digital Components of Safety-Related Systems // Proceedings of the 14th International Conference «TCSET'2018», Lviv-Slavsko, Ukraine, 2018, pp. 805–809. –DOI: 10.1109/TCSET.2018.8336320.
3. Farooq Q., Shan L., Yuan H.Y. New Approach Towards Cyber Security for Nuclear Power Control System // IEEE Kansas Power and Energy Conference (KPEC), 19–20 April 2021, Manhattan, KS, USA. –DOI: 10.1109/KPEC51835.2021.9446235.
4. Гладков, И.В. Реализация алгоритмов электрической централизации на базе программируемых логических интегральных схем / И.В. Гладков. –Текст: непосредственный // Известия Петербургского университета путей сообщения. –2008. –№4. –С. 99–109.
5. Кабецкий, А.Г. Методы и инструментальные средства построения логических устройств электрической централизации на базе программируемых логических интегральных схем / А.Г. Кабецкий, Д.С. Марков. –Текст: непосредственный // Известия Петербургского университета путей сообщения. –2010. –№2. –С. 168–173.
6. Перспективы использования FPGA-технологий в системах железнодорожной автоматики / М.Л. Малиновский, Д.А. Аленин, В.И. Барсов, Н.В. Коноваленко. –Текст: непосредственный // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки. Харків, 2012. Вип. 130 «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». –С. 79–81.
7. Dobiáš R., Kubátová H. FPGA Based Design of Railway's Interlocking Equipment // Proceedings of EUROMICRO Symposium on Digital System Design, Rennes, France, 2004, pp. 467–473. –DOI: 10.1109/DSD.2004.1333312.
8. Dobias R., Konarski J., Kubatova H. Dependability Evaluation of Real Railway Interlocking Device // 2008 11th EUROMICRO Conference on Digital System Design Architectures, Methods and Tools, 3–5 September 2008, Parma, Italy, pp. 228–233. –DOI :10.1109/DSD.2008.122.
9. Ubar R., Raik J., Vierhaus H.-T. Design and Test Technology for Dependable Systems-on-Chip (Premier Reference Source) Information Science Reference, Hershey New York, IGI Global, 2011, 578 p.
10. Методы построения безопасных микроэлектронных систем железнодорожной автоматики / В.В. Сапожников, Вл.В. Сапожников, Х.А. Христов, Д.В. Гавзов; под ред. Вл.В. Сапожникова. –Москва: Транспорт, 1995. –273 с. –ISBN 5-277-01690-2. –Текст: непосредственный.
11. Сапожников, Вл.В. Синтез систем управления движением поездов на железнодорожных станциях с исключением опасных отказов / Вл. В. Сапожников. –Москва: Наука, 2021. –229 с. –Текст: непосредственный.
12. Микропроцессорные системы централизации / Вл.В Сапожников, В.А. Кононов, С.А. Куренков [и др.]; под ред. Вл.В.Сапожникова. –Москва: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2008. –398 с. –Текст: непосредственный.

13. Ефанов, Д.В. Синтез устройств управления напольным технологическим оборудованием железнодорожной автоматики с обнаружением неисправностей на программируемых логических интегральных схемах / Д.В. Ефанов, А.В. Пашуков. — Текст: непосредственный // Транспорт Урала. — 2022. — №2. — С. 31–41. — DOI: 10.20291/1815-9400-2022-2-31-41.

14. Пашуков, А.В. Реализация устройства управления железнодорожным стрелочным электроприводом на программируемых логических интегральных схемах / А.В. Пашуков. — Текст: непосредственный // Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем (МЭС). — 2022. — №2. — С. 32–39. — DOI: 10.31114/2078-7707-2022-2-32-39.

15. Ефанов, Д.В. Функциональный контроль и мониторинг устройств железнодорожной автоматики и телемеханики: монография / Д.В. Ефанов; Федеральное агентство железнодорожного транспорта, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения императора Александра I» (ФГБОУ ВО ПГУПС). — Санкт-Петербург: ПГУПС, 2016. — 171 с. — Текст: непосредственный.

16. Ефанов, Д.В. Микропроцессорная система диспетчерского контроля устройств железнодорожной автоматики и телемеханики / Д.В. Ефанов, Г.В. Осадчий. — 3-е изд., стер. — Санкт-Петербург: Лань, 2023. — 180 с. — ISBN 978-5-507-46132-5. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/298508> (дата обращения: 01.02.2023).

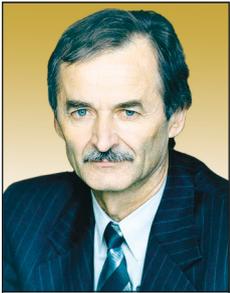
17. Ефанов, Д.В. Динамические вопросники для организации систем поддержки принятия решений, интегрированных в программные средства диагностирования и мониторинга устройств железнодорожной автоматики / Д.В. Ефанов, В.В. Хорошев. — Текст: непосредственный // Автоматика на транспорте. — 2021. — Том 7, №1. — С. 101–136. — DOI: 10.20295/2412-9186-2021-7-1-101-136.

18. MAX II Device Handbook, Vol. 1, Altera Corporation, 2006. — 102 p.

19. Сапожников, В.В. Теория синтеза самопроверяемых цифровых систем на основе кодов с суммированием / В.В. Сапожников, Вл.В. Сапожников, Д.В. Ефанов. — Санкт-Петербург: Издательство «Лань», 2021. — 580 с. — Текст: непосредственный.

20. Ефанов, Д.В. Увязка систем управления с техническими средствами диагностирования и мониторинга объектов инфраструктуры / Д.В. Ефанов, Г.В. Осадчий, И.А. Аганов. — Текст: непосредственный // Автоматика, связь, информатика. — 2021. — №6. — С. 25–29. — DOI: 10.34649/AT.2021.6.6.004.

УПРАВЛЕНИЕ ТРАНСПОРТНЫМИ ПОТОКАМИ ПРИ СЛУЧАЙНОМ РАЗБРОСЕ В ПАРАМЕТРАХ



П.А. Козлов



В.П. Козлова

В статье рассматривается проблема рационального взаимодействия производства и транспорта при случайном разбросе в продолжительности перевозок и в ритмах работы получателей. Предлагается использовать динамическую транспортную задачу. Приводится технология расчета оптимальной точки прибытия по минимуму суммарных потерь.

Ключевые слова: транспортная задача, вероятность, оптимизация, потери взаимодействия, управление потоками

EDN: UQJZOO

Для эффективного управления транспортными потоками в существующие АСУ, которые, по сути, пока являются информационными системами, необходимо включать оптимизирующие блоки. В ряде публикаций предлагается в качестве оптимизирующей модели использовать динамическую транспортную задачу [1–3].

Организация рационального взаимодействия производителей и получателей при наличии случайного разброса во времени доставки и ритме производства имеет свою специфику. Эта проблема также активно обсуждается [4–5]. Надежное обеспечение пунктов погрузки или выгрузки с минимизацией потерь и

транспорта и производства требует зачастую упреждающего подвода вагонов. Это объясняется тем, что потери при простое производства, как правило, значительно больше потерь от простоя заранее прибывших вагонов.

Случайный разброс во времени вызывается разными задержками (по результатам моделирования [6], рис. 1):

- из-за локомотива;
- из-за бригад обслуживания поездов;
- из-за занятости участка;
- из-за отсутствия путей приема на технических станциях.

Козлов Пётр Алексеевич, доктор технических наук, профессор, лауреат Государственной премии РФ, президент научно-производственного холдинга «СТРАТЕГ» (Современные транспортные технологии государства). Область научных интересов: системный подход, оптимизация транспортных процессов, моделирование, расчет и оптимизация транспортных систем. Автор более 400 научных работ, в том числе двух монографий.

Козлова Валерия Петровна, доктор экономических наук, профессор кафедры «Системы управления транспортной инфраструктурой» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: природа рисков при инфраструктурном развитии транспортных систем, системный подход, моделирование и расчет транспортных систем. Автор 60 научных работ, в том числе двух монографий.

Туманов Михаил Андреевич, старший преподаватель кафедры «Управление транспортным бизнесом и интеллектуальные системы» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: взаимодействие транспорта и производства, методы оптимизации транспортных систем. Автор семи научных работ.

Здесь видно, что из-за нехватки путей приема на технической станции Бабаево поезда простаивают на промежуточных станциях Тимошкино, Сиуч, Уйта.

На следование обычных грузовых поездов оказывает задерживающее влияние и пропуск приоритетных (так называемых поездов по расписанию) (по результатам моделирования [6], рис. 2).

Случайные колебания могут быть и в ритмах потребления.

Случайный разброс в параметрах может искажать планируемый подвод грузов или порожняка к потребителям. Задача управления потоками при случайном разбросе частично уже в литературе освещалась [7]. В статье проблема рассматривается в расширенном варианте.

Допустим, заданы моменты рационального прибытия вагонов для потребителей. Но из-за разброса во

времени хода фактические моменты будут колебаться во времени «на раньше» и «на позже». В первом случае возникнут простои вагонов, порожних или с грузом, во втором — простои оборудования. Такой же эффект возникнет и при колебаниях в ритме работы получателя (рис. 3).

Динамическая транспортная задача, в которой отображаются случайные процессы, даст возможность рассчитать оптимальное взаимодействие производителей и потребителей и транспорта в реальных условиях.

Постановка задачи

Фиксированный ритм потребления и случайные колебания во времени доставки

Пусть время движения $\tau_{ij}(t)$ партии $u_{ij}(t)$ имеет случайный разброс. Вместо заданного фиксированного



Рис. 1. Задержки при движении поездов

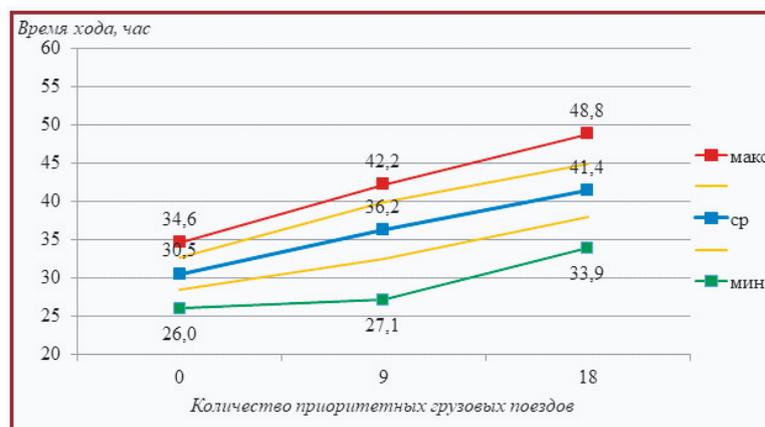


Рис. 2. Разброс в маршрутной скорости грузовых поездов при вводе приоритетных

момента прибытия t фактический будет отличаться на случайную величину

$$(\tau_{ij} \pm \varphi_j(t)),$$

где τ_{ij} – заданное значение; $\varphi_j(t)$ – случайный разброс.

При времени хода $(\tau_{ij} - \varphi_j(t))$, возникнет опережающее прибытие и непроизводительный простой вагонов. Когда время доставки $(\tau_{ij} + \varphi_j(t))$, то произойдет задержка в прибытии и появится простой производства и производственный ущерб (рис. 4).

Следует учитывать, что стоимость простоя производства c_2 обычно значительно больше стоимости простоя вагонов c_1 .

Фиксированное время хода и случайный разброс в потреблении

Разброс в потреблении $\varphi_j^*(t)$ – это случайная величина. Если было опережающее потребление $(\tau_j - \varphi_j^*(t))$, то появляется простой производства, а если с опозданием $(\tau_j + \varphi_j^*(t))$ – то вынужденный простой вагонов.

Случайный разброс во времени доставки и в ритме потребления

Здесь взаимодействуют два случайных процесса.

Поставка $u_{ij}(t)$ может прибыть с опережением $(\tau_{ij} - \varphi_j(t))$ или с опозданием $(\tau_{ij} + \varphi_j(t))$. Но и время потребления может быть с опережением $(\tau_j - \varphi_j^*(t))$ или с опозданием $(\tau_j + \varphi_j^*(t))$. Переменные $\varphi_j(t)$ и $\varphi_j^*(t)$ имеют какие-то распределения. Для решения задачи два процесса можно наложить один на другой и получить общий новый процесс. Рассмотрим возможные сочетания.

Отклонения идут в одну сторону

При опережающем прибытии и опережающем потреблении потери сокращаются (рис. 5).

При совпадении потери могут даже исчезать. При разнице в опережении возникнут или простои вагонов или простои оборудования.

Похожие эффекты появляются при совпадении в опережении или опоздании в потреблении (рис. 6).

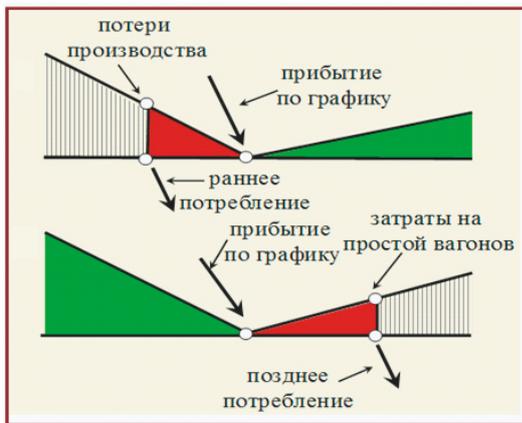


Рис. 3. Дополнительные затраты при случайном разбросе в ритмах работы

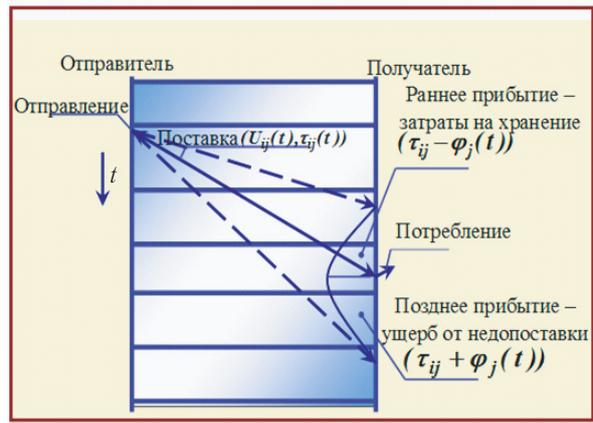


Рис. 4. Структура затрат при фиксированном спросе и случайном разбросе во времени хода

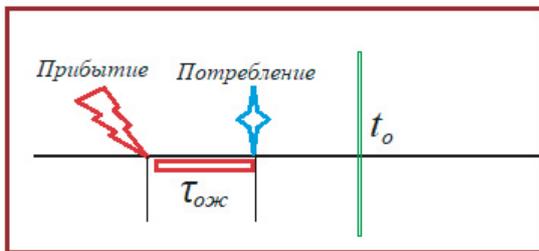


Рис. 5. Простои при опережающем прибытии и опережающем потреблении

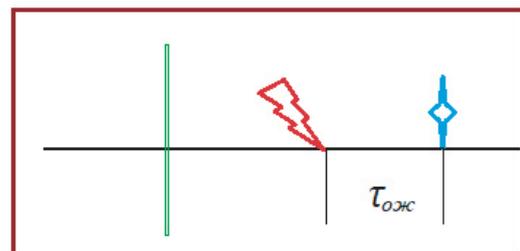


Рис. 6. Простои при совпадающем опоздании

Несовпадения в отклонениях

При опережающем прибытии ($\tau_{ij} - \varphi_j(t)$) и опаздывающем потреблении ($\tau_j + \varphi_j^*(t)$) появляются большие простои вагонов (рис. 7).

При опоздании в прибытии ($\tau_{ij} + \varphi_j(t)$) и опережении в потреблении будут простои производства (рис. 8).

Можно перейти от переменной $\varphi_j^*(t)$ к переменной ($-\varphi_j^*(t)$). В этом случае отклонение в одну сторону переменных $\varphi_j(t)$ и ($-\varphi_j^*(t)$) создает аналогичный эффект. При опережающем потреблении – простои вагонов, при опаздывающем – простой оборудования. Таким образом, можно свести два случайных процесса к одному – фиксированное время хода τ_{ij} и случайные колебания в потреблении τ_{ij} и случайном разбросе во времени потребления ($t_j \pm \varphi_j(t)$), где переменная $\varphi_j(t)$ суммарный случайный разброс (рис. 9).

Потоковая модель в стохастической постановке

В стохастической постановке динамическая транспортная задача отображает случайные колебания в параметрах. Задача звучит так – рассчитать оптимальную по минимуму суммарных затрат на доставку и простои вагонов и оборудования динамическую структуру потоков. Случайные колебания во времени доставки включаем в колебания в потреблении. Функционал задачи имеет вид

$$J_1 + J_2 + J_3 + J_4 \rightarrow \min ,$$

где J_1 – расходы на доставку; J_2 – расходы на простои вагонов в пути следования; J_3 – расходы на простой оборудования; J_4 – расходы на простой вагонов у потребителя.

Пусть c_1 – стоимость простоя оборудования, c_2 – стоимость простоя вагонов, тогда потери при простое оборудования составят

$$J_3 = \int_{-\infty}^{t_0} \varphi(t) c_1 (t_0 - t) dt ,$$

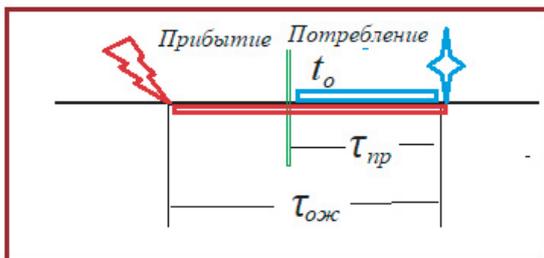


Рис. 7. Схема простоев при раннем прибытии и позднем потреблении

а расходы на простой вагонов

$$J_4 = \int_{t_0}^{\infty} \varphi(t) c_2 (t - t_0) dt .$$

Далее будет показано, что минимум суммарных расходов получается в точке t_0 , для которой

$$\int_{-\infty}^{t_0} \varphi(t) \cdot dt = \frac{c_2}{c_1 + c_2} .$$

Момент оптимального прибытия будет тогда, когда затраты на простои вагонов и оборудования равны.

Рассмотрим выбор момента оптимального прибытия t_0 при потреблении со случайным разбросом. Будем рассматривать единичный поток $u_{ij}(t)=1$. Это не нарушает строгости рассуждений.

Итак, потребление описывается функцией плотности вероятности $\varphi(t)$. При $t < t_0$, возникает простой оборудования. Считаем расходы пропорциональными отклонению ($t - t_0$). В этом случае математическое

ожидание M расходов составит $\int_{-\infty}^{t_0} \varphi(t) C_1 (t_0 - t) dt$. При опережающем прибытии вагонов появляются расходы

на простой вагонов $\int_{t_0}^{\infty} \varphi(t) C_2 (t - t_0) dt$.

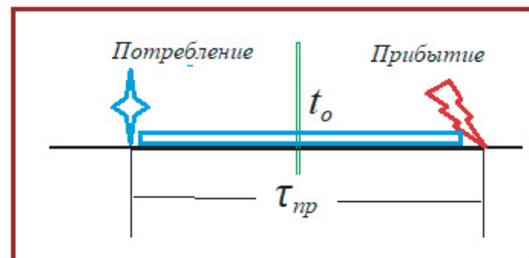


Рис. 8. Простои при опоздании в прибытии и опережении в потреблении



Рис. 9. Взаимодействие двух случайных процессов

В этом случае математическое ожидание Φ общих потерь при прибытии к моменту потребления t_0 будет равно

$$\begin{aligned} \Phi &= \int_{-\infty}^{t_0} \varphi(t) \cdot C_1(t_0 - t) dt + \int_{t_0}^{\infty} \varphi(t) \cdot C_2(t - t_0) dt = \\ &= C_1 t_0 \int_{-\infty}^{t_0} \varphi(t) \cdot dt - C_1 \int_{-\infty}^{t_0} \varphi(t) t dt - C_2 t_0 \int_{t_0}^{\infty} \varphi(t) \cdot dt + C_2 \int_{t_0}^{\infty} \varphi(t) t dt = \\ &= t_0 (C_1 \int_{-\infty}^{t_0} \varphi(t) dt - C_2 \int_{t_0}^{\infty} \varphi(t) dt) - C_1 \int_{-\infty}^{t_0} \varphi(t) t dt + C_2 \int_{t_0}^{\infty} \varphi(t) t dt. \end{aligned}$$

Но $\int_{-\infty}^{\infty} \varphi(t) t dt$ — есть математическое ожидание M , а $\int_{-\infty}^{\infty} \varphi(t) \cdot dt = 1$, то можно перейти к общему интервалу интегрирования:

$$\begin{aligned} \int_{-\infty}^{+\infty} \varphi(t) \cdot t \cdot dt &= \int_{-\infty}^{t_0} \varphi(t) \cdot t \cdot dt + \int_{t_0}^{\infty} \varphi(t) \cdot t \cdot dt = M. \\ \int_{t_0}^{\infty} \varphi(t) t dt &= M - \int_{-\infty}^{t_0} \varphi(t) \cdot t \cdot dt. \\ C_2 \int_{t_0}^{\infty} \varphi(t) t \cdot dt &= C_2 (M - \int_{-\infty}^{t_0} \varphi(t) t \cdot dt) = C_2 M - C_2 \int_{-\infty}^{t_0} \varphi(t) t \cdot dt. \\ C_2 \int_{t_0}^{\infty} \varphi(t) \cdot dt &= C_2 - C_2 \int_{-\infty}^{t_0} \varphi(t) \cdot dt. \end{aligned}$$

Интеграл от плотности вероятности по всему периоду равен 1.

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \varphi(t) \cdot dt = 1.$$

Используя приведенные выражения, получим:

$$\begin{aligned} \int_{-\infty}^{+\infty} \varphi(t) \cdot dt &= \int_{-\infty}^{t_0} \varphi(t) \cdot dt + \int_{t_0}^{\infty} \varphi(t) \cdot dt = 1. \\ \int_{t_0}^{\infty} \varphi(t) \cdot dt &= 1 - \int_{-\infty}^{t_0} \varphi(t) \cdot dt. \\ C_2 \int_{t_0}^{\infty} \varphi(t) dt &= C_2 - C_2 \int_{-\infty}^{t_0} \varphi(t) \cdot dt. \\ \Phi &= \int_{-\infty}^{t_0} \varphi(t) \cdot C_1(t_0 - t) dt + \int_{t_0}^{\infty} \varphi(t) \cdot C_2(t - t_0) dt = \\ &= C_1 t_0 \int_{-\infty}^{t_0} \varphi(t) \cdot dt - C_1 \int_{-\infty}^{t_0} \varphi(t) t dt - C_2 t_0 \int_{t_0}^{\infty} \varphi(t) \cdot dt + C_2 \int_{t_0}^{\infty} \varphi(t) t dt = \\ &= t_0 (C_1 \int_{-\infty}^{t_0} \varphi(t) dt - C_2 \int_{t_0}^{\infty} \varphi(t) dt) - C_1 \int_{-\infty}^{t_0} \varphi(t) t dt + C_2 \int_{t_0}^{\infty} \varphi(t) t dt. \end{aligned}$$

Тогда первое слагаемое функционала составит:

$$\begin{aligned} t_0 (C_1 \int_{-\infty}^{t_0} \varphi(t) dt - C_2 \int_{t_0}^{\infty} \varphi(t) dt) &= \\ &= t_0 (C_1 \int_{-\infty}^{t_0} \varphi(t) dt - C_2 + C_2 \int_{-\infty}^{t_0} \varphi(t) dt) = \\ &= \int_{-\infty}^{t_0} \varphi(t) dt (t_0 \cdot C_1 + t_0 \cdot C_2) - t_0 \cdot C_2 = \\ &= t_0 (C_1 + C_2) \cdot \int_{-\infty}^{t_0} \varphi(t) dt - t_0 \cdot C_2. \end{aligned}$$

В сумме со вторым слагаемым получим:

$$\begin{aligned} \Phi &= t_0 (C_1 + C_2) \cdot \int_{-\infty}^{t_0} \varphi(t) dt - t_0 \cdot C_2 - M \cdot C_2 - C_2 \int_{-\infty}^{t_0} \varphi(t) \cdot t \cdot dt = \\ &= C_2 (M - t_0) + (C_1 + C_2) \cdot t_0 \cdot \int_{-\infty}^{t_0} \varphi(t) dt - (C_1 + C_2) \int_{-\infty}^{t_0} \varphi(t) \cdot t \cdot dt. \end{aligned}$$

Отсюда получается следующее выражение

$$\begin{aligned} \Phi &= t_0 (C_1 \int_{-\infty}^{t_0} \varphi(t) dt - C_2 + C_2 \int_{-\infty}^{t_0} \varphi(t) dt) - C_1 \int_{-\infty}^{t_0} \varphi(t) t dt + C_2 M - \\ &- C_2 \int_{-\infty}^{t_0} \varphi(t) t dt = C_2 (M - t_0) + (C_1 + C_2) t_0 \int_{-\infty}^{t_0} \varphi(t) dt - \\ &- (C_1 + C_2) \int_{-\infty}^{t_0} \varphi(t) t dt. \end{aligned}$$

Теперь надо рассчитать t_0 , когда функционал Φ становится минимальным. Возьмем производную Φ по t_0 и приравняем ее к нулю:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Phi}{\partial t_0} &= -C_2 + (C_1 + C_2) \int_{-\infty}^{t_0} \varphi(t) \cdot dt + (C_1 + C_2) t_0 \varphi(t_0) - \\ &- (C_1 + C_2) t_0 \varphi(t_0), \end{aligned}$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial t_0} = -C_2 + (C_1 + C_2) \int_{-\infty}^{t_0} \varphi(t) \cdot dt = 0$$

или

$$(C_1 + C_2) \int_{-\infty}^{t_0} \varphi(t) \cdot dt = C_2.$$

Минимум достигается в точке t_0 , для которой

$$\int_{-\infty}^{t_0} \varphi(t) \cdot dt = \frac{C_2}{C_1 + C_2}.$$

Ясно, что при C_2 , явно большем C_1 , выражение $\int_{-\infty}^{t_0} \varphi(t) \cdot dt$ должно находиться «ближе» к единице,

чтобы сократить большие расходы по C_2 . Наоборот, при C_1 , явно большем C_2 , оно должно быть «ближе» к нулю, чтобы сократить расходы по C_1 .

Таким образом, момент оптимального прибытия при расходах «слева» (на простои производства) и «справа» (на простой вагонов) равны.

Затраты при простое производства составят $C_1 \int_{-\infty}^{t_0} \varphi(t) dt$, а расходы на простой вагонов $C_2 \int_{t_0}^{\infty} \varphi(t) dt$. Но $\int_{t_0}^{\infty} \varphi(t) dt = 1 - \int_{-\infty}^{t_0} \varphi(t) dt$.

Подставим полученные выражения

$$C_1 \int_{-\infty}^{t_0} \varphi(t) dt = C_1 \cdot \frac{C_2}{C_1 + C_2} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2},$$
$$C_2 \int_{t_0}^{\infty} \varphi(t) dt = C_2 \left(1 - \frac{C_2}{C_1 + C_2}\right) = C_2 \frac{C_1 + C_2 - C_2}{C_1 + C_2} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}.$$

Соответственно, в точке t_0 затраты будут одинаковы.

Таким образом, динамическая транспортная задача в стохастической постановке позволяет выбрать смещенную точку прибытия вагонов, которая дает возможность минимизировать суммарные затраты на простой оборудования и простои вагонов.

Этот фактор необходимо учитывать, когда динамическая транспортная задача будет использоваться в АСУ в качестве оптимизирующего блока. 

Литература

1. Козлов, П.А. Оптимизация структуры транспортных потоков в динамике при приоритете потребителей / П.А. Козлов, С.П. Миловидов. – Текст: непосредственный // Экономика и математические методы. – 1982. – Т. XVIII. – Вып. 3. – С. 521–531.
2. Козлов, П.А. Динамическая транспортная задача с задержками / П.А. Козлов, С.П. Миловидов, С.Л. Блюмин. – Текст: непосредственный // Автоматика и телемеханика. – 1984. – Вып. 5. – С. 158–161.
3. Об использовании моделей оптимального управления транспортными потоками / П.А. Козлов, Н.А. Тушин, В.С. Колокольников, О.В. Осокин. – Текст: непосредственный // Вестник УрГУПС. – 2019. – № 1(41). – С. 60–69.
4. Козлов, П.А. Закономерности структурного взаимодействия в транспортных системах / П.А. Козлов, И.П. Владимирская, О.В. Осокин. – Текст: непосредственный // Транспорт Урала. – 2010. – № 3. – С. 25–28.
5. Модель проверяет скорость / П.А. Козлов, В.С. Колокольников, Н.А. Тушин, Е.Н. Тимухина. – Текст: непосредственный // Железнодорожный транспорт. – 2017. – № 3. – С. 42–44.
6. Козлов, П.А. Технология исследования больших полигонов железных дорог на имитационных моделях / П.А. Козлов, В.П. Козлова, С.Н. Кол. – Текст: непосредственный // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. – 2021. – № 4. – С. 55–58.
7. Владимирская, И.П. Оптимизация взаимодействия поставщиков и потребителей при случайном разбросе в потреблении и времени доставки / И.П. Владимирская, П.А. Козлов. – Текст: непосредственный // Вестник РГУПС. – 2009. – № 2 (34). – С. 66–70.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА РАБОТНИКОВ СТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА



А.И. Даренских



В.А. Аксенов

В статье отражены точка зрения авторов на необходимость исследования методов обеспечения безопасности труда работников строительного комплекса, а также потребность совершенствования управления охраной и безопасностью труда, ориентируя этот процесс только на профилактику и усиление контрольных функций в области охраны и безопасности труда, подчеркивая при этом ответственность всех заинтересованных сторон в социально-производственных отношениях.

Ключевые слова: система управления безопасностью труда, безопасные условия труда, строительство

EDN: GBUWS

Строительная отрасль играет значительную роль в социально-экономическом развитии нашей страны. Безопасность в строительной отрасли считается серьезной проблемой в развитых и развивающихся странах. В последнее время строительный сектор страдает от неудовлетворительных условий безопасности и гигиены труда, поскольку правил техники безопасности не существует, а опасности на рабочем месте не воспринимаются.

Работа в строительстве по своей природе является опасной деятельностью с высоким риском несчастных случаев на строительной площадке, а также все более сложными рисками и опасностями для здоровья и безопасности за пределами строительной площадки.

Вот почему знание лучших способов предотвращения опасностей на строительной площадке поможет предотвратить травматизм и повысить уровень безопасности для работников.

Травмы, долговременный ущерб, болезни и проблемы с психическим здоровьем являются одними из основных негативных последствий, которые руководители строительных площадок или работодатели должны предотвратить. Это особенно важно, учитывая, что в России ежедневно в среднем два строителя умирают от производственных травм.

Если это число кажется ошеломляющим, учитываем, что каждый пятый смертельный случай на рабочем месте связан со строительством. Понимание

Даренских Анастасия Игоревна, аспирант кафедры «Техносферная безопасность» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: техносферная безопасность транспортных систем. Автор семи научных работ.

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

опасностей, их последствий и мер, которые можно предпринять для улучшения условий труда на строительных площадках, имеет смысл для благополучия рабочих, а также для сохранения бизнеса.

Опасности и риски строительных работ

Строительная площадка представляет многочисленные риски для работников, в первую очередь, риск падения. Согласно данным Управления по охране труда и здоровья (СУОТ) и переписи смертельных производственных травм, произошедших в строительной отрасли, основными причинами травм на работе в 2021 году были следующие:

- транспортные происшествия, число которых увеличилось больше всего в 2021 году с тех пор, как в 2011 году начали сообщать о подобных случаях;
- в 2021 году количество падений, поскользываний и спотыканий увеличилось на 11 %;
- воздействие вредных веществ или окружающей среды, что в конечном итоге привело к смерти 642 рабочих в 2021 году. Это является самым высоким показателем с момента начала ведения этой статистики;
- погибшие в результате пожаров и взрывов (число снизилось);
- непреднамеренные передозировки из-за медицинского употребления наркотиков или алкоголя увеличиваются седьмой год подряд.

В то время как первые четыре категории представляют собой физические опасности, работодатели строителей не должны недооценивать пятый риск, который указывает на рост проблем с психическим здоровьем на рабочем месте в строительной среде.

Тревожным аспектом этого, конечно же, является тот факт, что за последний отчетный год увеличилось количество несчастных случаев со смертельным исходом, кроме одной причины — погибшие в результате пожаров и взрывов. Несмотря на то, что мы можем воспринимать как общее повышение осведомленности и регулирования во всех отраслях, когда речь идет о здоровье и благополучии работников, цифры говорят об обратном.

В дополнение к основным причинам смертельных случаев, перечисленных выше, также стоит выделить несколько других потенциальных рисков в строительстве, которые могут привести к причинению вреда или травмам:

- недостаток общения/нечеткое обучение;
- предметы, которые могут ударить жертв, такие как падающие/летающие предметы, транспортные средства или каменные стены, приводящие к 10,3% несчастных случаев;

- поражение электрическим током, обычно из-за контакта с линиями электропередач или неправильного использования оборудования, потенциально связанного с неправильным обучением;

- зажатие между объектами из-за небезопасного доступа/выхода, небезопасного размещения отвала, непроверки траншейных и защитных систем или отсутствия защитных систем на месте.

Последствия строительных опасностей

Знание рисков и опасностей, присутствующих в строительной среде, не дает полной картины с человеческой или экономической точки зрения. На самом деле, помимо смертей или физического или психического вреда, компании, которые игнорируют потенциальное вредное воздействие опасностей на площадке и за ее пределами, несут большие финансовые потери.

Непосредственными последствиями несчастных случаев в строительной отрасли являются финансовые потери. По состоянию на 2002 год общие затраты на смертельные и несмертельные травмы оценивались в 11,5 млрд долларов, что составляет 15% затрат всего частного сектора.

Средняя стоимость одной производственной травмы составляет 90 517,13 руб., что, безусловно, является серьезным следствием опасностей, которые не учитываются при строительстве. Также важно отметить, что средняя стоимость бытовой травмы составляет всего 17 696 руб., что делает строительную отрасль гораздо более затратным сектором, если сравнивать финансовые последствия травм.

Более того, работодатели могут быть оштрафованы на значительные суммы в случае нарушения стандартов СУОТ. За исключением незначительных нарушений, когда работодатели просто устно информируются о недостатках, штрафы за другие нарушения начинаются с 50 000 руб. и могут достигать до 210 000 руб. За повторные нарушения может быть назначена дисквалификация должностных лиц на срок от одного года до трех лет.

Еще одно последствие небезопасных или стрессовых условий труда является более тонким: последствия стресса, депрессии или беспокойства для психического здоровья в строительной отрасли усиливаются. В сочетании с любым другим типом болезни, из-за которой сотрудники пропускают работу, они также могут привести к значительным потерям для строительных проектов.

Наконец, последствия опасностей и рисков не следует оценивать исключительно на основе ущерба для работодателя или управляющего строительной

площадкой. Для рабочих, помимо очевидного воздействия на личное здоровье и благополучие, последствия несчастного случая могут быть монументальными и даже привести к потере средств к существованию для всей семьи.

Это особенно верно в отношении общин меньшинств, где зачастую основным кормильцем является пострадавший работник. В дополнение к потере заработка медицинские расходы могут быть непомерно высокими и иметь огромные последствия в зависимости от медицинского страхования работника и тяжести травмы или болезни.

Предотвращение несчастных случаев и обеспечение безопасности работников

В России обязанности работодателя в отношении рабочих строительного комплекса регулирует Федеральная инспекция труда. Помимо требований закона, существует также моральный долг заботы о сотрудниках, который распространяется на их психическое благополучие, что, в свою очередь, может принести пользу как бизнесу, так и работникам.

С точки зрения регулирования Федеральная инспекция труда вводит правила для работодателей, чтобы обеспечить безопасное рабочее место. Это включает:

- убеждение, что строительные площадки максимально свободны от общепризнанных опасностей;
- соблюдение всех стандартов, правил и положений, изданных в соответствии с приказом Минтруда России от 29 октября 2021 года № 772н;
- изучение условий труда, чтобы убедиться, что они соответствуют стандартам, указанным в ТК РФ;
- предоставление безопасных инструментов и оборудования и содержание их в наилучшем состоянии;
- обеспечение наличия предупреждений, указывающих на потенциальную опасность для работников, включая таблички, плакаты или этикетки;
- наличие четких операционных процедур, которые обновляются по мере необходимости и четко доводятся до сведения сотрудников;
- обеспечение проведения обучения перед выполнением какой-либо работы на объекте, а также обучение языку и лексике, понятным работникам, что особенно важно, учитывая высокий процент рабочих-иммигрантов в строительной отрасли;
- разработка программы оповещения об опасности, если сотрудники работают с опасными химическими веществами;
- проведение медицинских осмотров и своевременное обучение;
- а также иные требования, указанные в ТК РФ.

Защита психического здоровья работников

Помимо перечисленных выше руководящих принципов СУОТ для работодателей, все большее значение приобретает забота о здоровье и благополучии в сфере психических заболеваний. Работодатели несут моральную ответственность за то, чтобы рабочая среда была как можно более свободной от стресса, свободной от дискриминации и любого рода злоупотреблений.

Поддержание четкой и прозрачной коммуникации

В дополнение к четким и всесторонним методам обучения, сотрудники строительной отрасли должны оставаться открытыми и честными в отношении опасностей и сообщений об инцидентах.

Любые несчастные случаи или травмы следует открыто обсуждать с сотрудниками, чтобы все стороны извлекли уроки из произошедшего. Эти обсуждения могут также привести к обмену информацией, который может обеспечить лучшие практики в будущем.

Хотя непосредственные последствия несчастных случаев на строительной площадке не всегда заметны, существует множество опасностей и рисков, которые также покажут свое влияние в долгосрочной перспективе.

К ним относятся не только вопросы психического здоровья и благополучия строителей, но и финансовые последствия для владельцев бизнеса и рабочих, а также моральные обязательства по отношению к этим работникам.

Вот почему все руководители строительных площадок должны строго соблюдать руководящие принципы охраны труда, придерживаться четких и прозрачных методов обучения и общения, а также беречь психическое здоровье рабочих.

Программа безопасности

Целью программы безопасности является развитие и поддержание осведомленности всего персонала о приверженности организации безопасности и охране здоровья и ответственности отдельных лиц за поддержку этой приверженности. Программа безопасности предназначена для продвижения рабочей среды и методов работы, которые обеспечат всем сотрудникам безопасную и здоровую рабочую среду для всех строительных работ. Таким образом, компания прилагает все усилия для создания четкой и позитивной «культуры безопасности» на каждой строительной площадке. Программа повышения безопас-

ности должна иметь четко определенные цели. Они требуют очень сконцентрированного мышления и рассмотрения, в случае желая получения наибольшей прибыли. Владелец или подрядчик должен разработать в рамках программы повышения безопасности процедуру признания хороших показателей безопасности отдельными лицами, группами, отделами или организацией. Он должен назначить координатора программы, чтобы обеспечить ее беспрепятственное выполнение.

Совещание и кампании по безопасности

Совещание может предоставить хорошую возможность для продвижения безопасности. Совещания, подходящие для повышения безопасности, включают вводные собрания для новичков, обучающие собрания и собрания по набору инструментов. Во время этих совещаний могут быть показаны фильмы/видеофильмы по безопасности и охране здоровья с выделенным временем для обсуждения после просмотра. Линейные руководители могут пропагандировать безопасность непосредственно среди всех подчиненных в ходе обычной работы. Благодаря повседневному контактам они могут донести информацию о безопасности и заставить работников принять безопасность как образ жизни. Семинары, конференции и кампании по безопасности являются наиболее заметным способом повышения безопасности. Их можно использовать для повышения осведомленности о безопасности и продвижения передового опыта и стандартов безопасности. Кампании по безопасности обычно включают мобилизацию людей на разных уровнях для решения какой-либо задачи и, таким образом, могут сосредоточить внимание на вопросах безопасности и распространить информацию о безопасности среди всей рабочей силы.

Обучение и компетентность работников

Сотрудник по технике безопасности должен убедиться, что все работники полностью понимают риски для безопасности и здоровья, связанные с процессами, с которыми они работают, чтобы защитить себя и своих коллег. Программа обучения должна также включать дополнительное обучение по таким темам, как эксплуатационные процедуры и безопасные методы работы, эвакуация и реагирование на чрезвычайные ситуации, процедуры безопасности и другие темы, относящиеся к безопасности процесса и охране здоровья. Практическое обучение, которое позволяет работникам использовать свои чувства помимо простого слушания, улучшит обучение и должно быть обеспечено. Следует также рассмотреть другие методы обучения с использованием видео или обучение на рабочем месте. Владелец или подрядчик соответствующего промышленного предприятия должен регулярно оценивать программу обучения, чтобы определить, правильно ли применяются требуемые навыки и знания их обученными работниками.

Вывод

Таким образом, в Российской Федерации должны быть выработаны ключевые положения и современные подходы к управлению охраной труда по ее основным структурным элементам: организационным, техническим, правовым, экономическим, реабилитационно-предупредительным и т.п. с четкой регламентацией и современными требованиями по их достижению на всех основных этапах взаимодействия социальных партнеров и органов исполнительной власти всех уровней от муниципального до федерального.

Стратегия должна дать четкие принципы, подходы и установки не только по сфере взаимосогласованных действий всех ветвей власти, но и их ответственности за результаты принимаемых решений. 

Литература

1. Эндрю Хейл. Регламент безопасности: уроки управления правилами безопасности на рабочем месте для управления нормативной нагрузкой / Эндрю Хейл, Дэвид Борис. — Текст: непосредственный // Наука о безопасности. — 2015. — Vol. 71. — pp. 112–122.
2. Эшвин Махалингам. Вопросы безопасности в глобальных проектах, журнал строительной инженерии и управления / Эшвин Махалингам, Рэймонд Э. — Текст: непосредственный. — 2007. — Vol. 133, №7, — pp. 506–516.
3. Эвелин Ай Лин Теоа. Разработка модели для измерения эффективности систем управления безопасностью строительных площадок / Эвелин Ай Лин Теоа, Флоренс Йен Инг Линга. — Текст: непосредственный // Building and Environment 41. — 2006, pp. 1584–1592.

4. Густаво Э. Агилар, Касун Н.Х. Система на основе ИТ для управления и мониторинга безопасности строительства / Густаво Э. Агилар, Касун Н.Х. –Текст: непосредственный // Автоматизация в строительстве. –2013. –Vol. 35. –pp. 217–228.
5. Heng Li, Miaoja Lu, Shu-Chien Hsu, Matthew Gray, Ting Huang Упреждающее управление безопасностью на основе поведения для повышения безопасности строительства / Heng Li, Miaoja Lu, Shu-Chien Hsu, Matthew Gray, Ting Huang. –Текст: непосредственный // Safety Science. –2015. –Vol. 75, pp. 107–117.
6. Хинзе Дж. Безопасность на крупных строительных проектах / Хинзе Дж., Рабуд, П. –Текст: непосредственный // Журнал строительства и управления, ASCE 114 (2). –1988, Vol. 33, pp. 286–293.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ САНИТАРНО-ЭПИДЕМИОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РАБОТНИКОВ ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА

Соблюдение санитарно-эпидемиологических норм на строительных площадках в период пандемии приводит к потребности видоизменения средств индивидуальной защиты с целью увеличения качества инфекционной защиты работников. Такая потребность ставит задачу выработки новых подходов к разработке специальной одежды.

Ключевые слова: спецодежда, охрана труда, санитарно-эпидемиологическая безопасность, безопасность, строительство

EDN: VJTDZI



О.С. Сачкова



А.А. Кириллин

Кафедрой «Техносферная безопасность» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)) совместно с Всероссийским научно-исследовательским институтом гигиены транспорта (ВНИИЖГ Роспотребнадзора) Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека проводятся научные исследования по модернизации системы управления охраной труда в организации на основе системного подхода к управлению. На рис. 1. приведены основные задачи проводимых исследований.

В рамках проводимой научно-исследовательской работы много внимания отводится разработке комплекса мер по обеспечению безопасных условий

и охраны труда работников, улучшению условий и охраны труда, как следствие, снижение уровня производственного травматизма и профессиональной заболеваемости (рис. 2).

Большое количество сложнооцениваемых опасностей присуще строительным работам. По мере того, как внедряются современные технологические достижения, возникают многочисленные новые проблемы, связанные с необходимостью обеспечения безопасности. Каждый произошедший инцидент требует проведения расследования и, как следствие, вызывает вынужденное торможение строительных работ, что приводит к значительным финансовым потерям.

Сачкова Оксана Сергеевна, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории коммунальной гигиены и эпидемиологии отдела медико-биологических исследований ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт гигиены транспорта» (ВНИИЖГ Роспотребнадзора), профессор кафедры «Техносферная безопасность» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: исследования полимерсодержащих материалов для железнодорожного транспорта, гигиеническая сертификация подвижного состава железнодорожного транспорта. Автор 190 научных работ, в том числе пяти монографий, четырех учебников и восьми учебных пособий. Имеет пять патентов на изобретения.

Кириллин Александр Андреевич, аспирант кафедры «Техносферная безопасность» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: охрана труда, безопасность производства работ. Автор 10 научных работ.

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



Рис. 1. Основные задачи НИР



Рис. 2. Научная новизна НИР

Поэтому несмотря на введение новых технологий за последние десятилетия и значительные изменения в технологиях проводимых работ, обеспечение безопасности на строительных площадках является сложным многоуровневым процессом, в развитии которого важно учитывать роль организации в обеспечении безопасности, методы инструктажа и обучения безопасности, проблемы безопасности рабочих мест и механизмы мониторинга технологических процессов (рис. 3).

Статистические данные показывают увеличение количества смертельных исходов и травм на строительных площадках во всем мире [12]. Хотя системы коллективной и индивидуальной защиты сейчас производятся в достаточном количестве и доступны, ежегодно в мире регистрируется порядка 300 млн несчастных случаев. Данные о численности работников строительных организаций, занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда [9] подтверждают необходимость серьезных исследований в данном направлении (табл. 1).

Необходимо изменение системы ответственности за мониторинг производственных опасностей, которую должен разделять каждый работник, так как средства индивидуальной защиты (СИЗ) являются последним рубежом защиты каждого работника на строительной площадке. СИЗ направлены на снижение влияния на работников, занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, опасных факторов. Они предназначены для защиты работников от серьезных производственных травм и возникновения профессиональных заболеваний, возникающих в результате контакта с химическими, физическими или биологическими опасностями. На строительных площадках используются различные СИЗ, такие как защитная одежда, ударопрочная одежда, средства защиты слуха, средства защиты глаз, средства защиты органов дыхания, каски и спасательные пояса и т.п. СИЗ не могут устранить опасности в инфраструктурных проектах, но позволяют уменьшить последствия аварий. В табл. 2 приведены данные о расходах на компенсации на СИЗ в организациях строительной отрасли Российской Федерации в 2021 году.

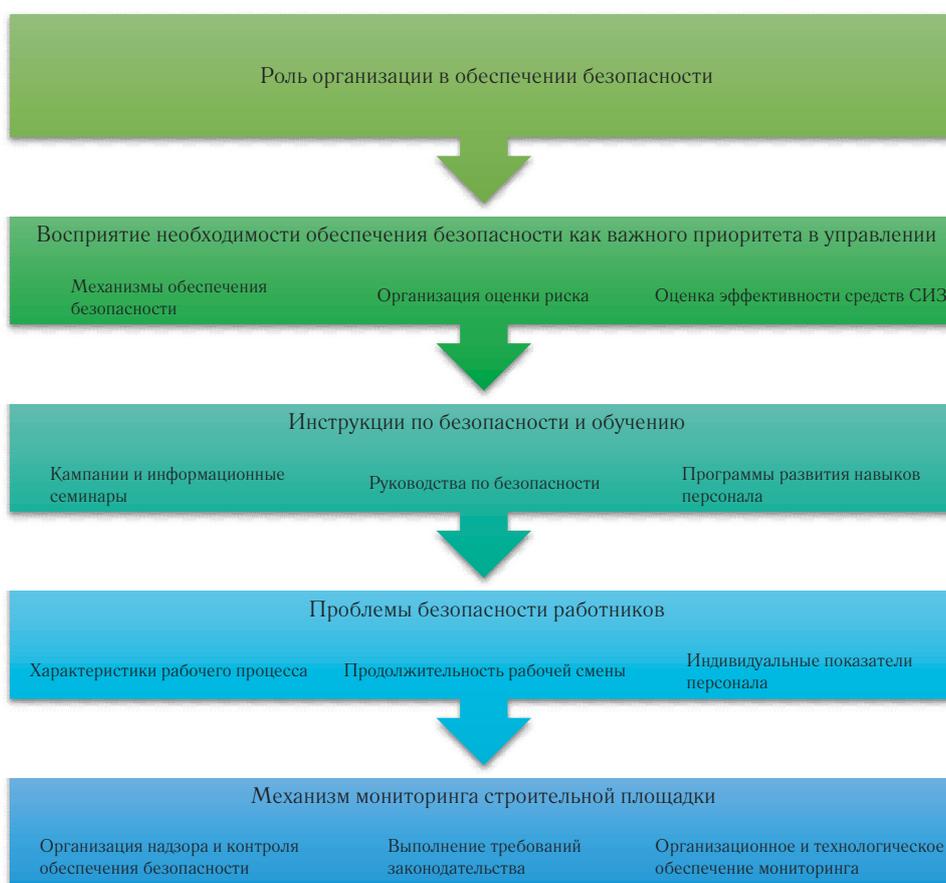


Рис. 3. Факторы управления безопасностью

Таблица 1

Численность работников строительных организаций, занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда [9]

Год	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Занятые на рабочих местах с вредными и (или) опасными факторами	18,5	37,4	37,9	37,0	36,7	39,4	36,9	35,8
из них занятые под воздействием факторов производственной среды:								
• шума, ультразвука воздушного, инфразвука	8,2	13,9	14,1	15,0	15,1	16,6	15,5	15,2
• вибрации (общей и локальной)	4,2	7,0	6,8	7,3	7,3	7,7	7,2	7,7
• аэрозолей преимущественно фиброгенного действия	3,3	3,8	4,2	4,3	4,3	4,1	3,5	3,7
• химического фактора	...	7,4	7,6	7,7	7,3	7,1	6,9	6,0
• неионизирующего излучения	0,6	1,6	1,8	1,8	2,0	2,0	2,2	1,9
• ионизирующего излучения	0,4	0,5	0,4	0,6	0,5	0,4	0,5	0,3
• микроклимата	...	5,9	4,9	3,5	2,0	1,4	1,5	1,3
• световой среды	...	3,9	3,3	2,7	1,8	1,3	1,0	1,0
• биологического фактора	...	0,4	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
Занятые под воздействием факторов трудового процесса:								
• тяжести	11,5	20,21	21,5	22,1	22,5	24,7	23,8	23,7
• напряженности	7,1	7,5	7,3	6,2	4,3	4,2	3,8	3,3

Таблица 2

Фактические расходы на компенсации и средства индивидуальной защиты в организациях Российской Федерации, по виду деятельности строительство, в 2021 году [9]

	Расходы, тыс. руб.	Расходы в среднем на одного работника, имеющего право на соответствующий вид гарантий и компенсаций, руб.
Всего	21381406	12569
в том числе на оплату ежегодного дополнительного отпуска	2411747	14780
в том числе на оплату труда в повышенном размере	3925098	12730
лечебно-профилактическое питание	249685	40311
молоко или другие равноценные пищевые продукты	343657	4780
проведение медицинских осмотров	1922766	5336
спецодежду, спецобувь и другие средства индивидуальной защиты (всего)	12528454	15834
из нее спецодежду, спецобувь и другие средства индивидуальной защиты, занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда	6099752	17174

На малые предприятия строительной отрасли приходится значительная часть рабочих мест. Следует учесть, что работники малых предприятий относятся к наиболее уязвимым группам, к этому приводит нехватка ресурсов персонала, небрежное отношение работников и работодателей к вопросам безопасности, недостаточная квалификация работников, нарушения в системе проведения инструктажей, а также иногда возникают языковые сложности.

Каждый предмет одежды имеет свои специфические свойства, адаптированные к защите от определенных вредных и опасных факторов (рис. 4), но

общим требованием к защитной одежде является комфорт.

Разработка защитной одежды является сама по себе достаточно сложной задачей. Защитная одежда должна позволять работнику выполнять действия, связанные с движением и выполнением рабочих обязанностей, обеспечивая при этом максимально возможный уровень защиты. СИЗ должно быть спроектировано и изготовлено таким образом, чтобы облегчить движения работника в течение всего периода использования, с учетом факторов окружающей среды, а также с учетом необходимых движений и поз, требуемых в рабочем процессе (рис. 5).



Рис. 4. Вредные факторы рабочей среды



Рис. 5. Пример правильного и неправильного покроя защитной одежды [15]

Проектирование соответствующей защитной одежды требует обязательного учета индивидуальных потребностей работников, персонализированного подхода к формированию рабочего пространства и средств индивидуальной защиты. На рис. 6 изображено пять основных рабочих поз, принимаемых в течение рабочей смены на строительной площадке [14].

Исследования и анализ ощущений работников в защитной одежде в разных позах с учетом действующих вредных и опасных факторов, дает возможность усовершенствования требований к разработке защитной одежды. Для оптимизации СИЗ в соответствии с анатомией работника необходимо использовать все возможные методы проектирования одежды, в том числе использование различных элементов для регулировок и креплений (рис. 7) [14].

Также необходимо, чтобы защитная одежда была совместима с другими СИЗ, которые работники используют одновременно с ней (рис. 8).

При этом возникают дополнительные факторы, если защитная одежда не соответствует размеру, неправильно покроена или одета (рис. 9).

Основные требования к защитной одежде представлены на рис. 10.

Зачастую спецодежде не хватает надлежащего уровня подвижности, необходимой для работы на строительной площадке. На рис. 11 показаны основные функции защитной одежды.

Строительные площадки располагаются на открытом воздухе и, как следствие, работники подвержены влиянию сезонных изменений температуры и непогоды. Поэтому рабочая одежда должна быть хорошо



Рис. 6. Типовые рабочие позы, принимаемые работником в течение рабочей смены [14]

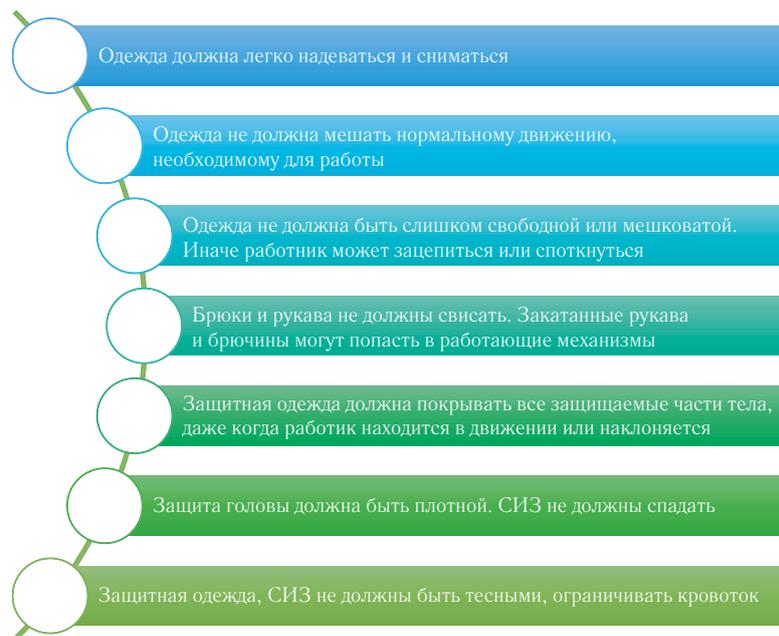


Рис. 7. Параметры, которые необходимо учитывать при проектировании защитной одежды

адаптирована к текущему сезону ее использования (рис. 12) [14].

С физиологической точки зрения человек в этом состоянии чувствует себя комфортно при температуре порядка 26°C [10;11]. Однако защитная одежда обычно имеет повышенную теплоизоляцию. Теплозащитная одежда выполняет две противоположные функции: с одной стороны, она должна препятствовать поступлению внешнего тепла к телу, а с другой – отводить тепло в атмосферу. Работа при более высоких температурах может быстро привести к тепловому стрессу и сердечным приступам. Если

одежда громоздкая и тяжелая, это также ведет к увеличению процессов метаболизма и, как следствие, повышению выработки тепла. Увеличение тепловыделения может достигать 155 Вт/м^2 при ношении СИЗ с высокими изоляционными свойствами [11]. Многие предметы защитной одежды бывают водонепроницаемыми, а образующийся в результате влагозащитный барьер уменьшает потоотведение в окружающую среду. Необходимо найти баланс между защитой и комфортом работника в зависимости от выполняемых работ, действующих на работника вредных и опасных факторов и климатических условий.

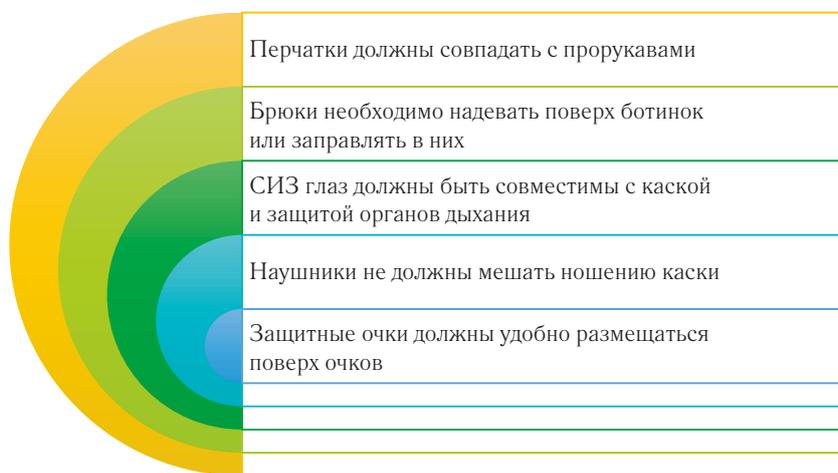


Рис. 8. Требования к одновременному использованию СИЗ



Рис. 9. Факторы негативного влияния, возникающие при неправильном использовании защитной одежды и СИЗ

Существуют разработки по улучшению паропроницаемости тканей, используемой в СИЗ. Например, в качестве воздухопроницаемого барьера в защитную одежду можно имплантировать гидрогель [12]. Термочувствительный гидрогель, набухает при низких температурах, создавая термобарьер, а при повышении температуры, наоборот, дает возможность увеличить отвод тепла.

Пандемия коронавирусной инфекции внесла большие изменения в образ жизни многих людей. В обычной жизни большинство людей раньше, как правило, не пользовались средствами индивидуальной защиты. В период пандемии средства индиви-

дуальной защиты, в том числе маски и перчатки, стали необходимы и использовались огромным количеством людей в общественных местах и на транспорте. Прошедшее массовое распространение коронавируса привело в ужесточению санитарно-эпидемиологических норм на рабочих местах. Любая возможность повторения или возвращения пандемии требует изменения в существующих подходах.

Во всем мире число еженедельных случаев инфекции COVID-19 снижается. Но следует помнить, что вирусы, попадая в организм человека, могут проявить себя не сразу: инкубационный период боль-

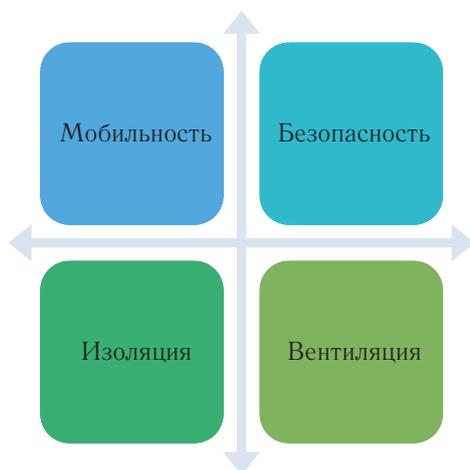


Рис. 10. Требования к защитной одежде

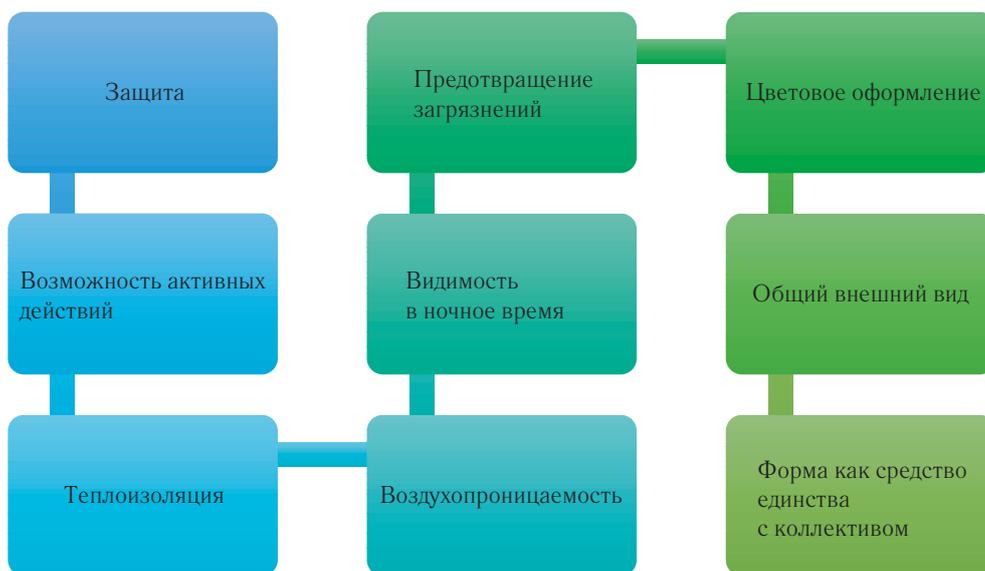


Рис. 11. Функции защитной одежды

шинства вирусов, вызывающих ОРВИ составляет от 1 до 10 дней. Присутствие бессимптомных больных в случае угрозы возможных эпидемий требует оперативных активных защитных мер в общественных местах, особенно при выполнении коллективных работ. В случае нехватки средств индивидуальной защиты, таких как медицинские маски, защитные костюмы, могут быть использованы многоразовые средства индивидуальной защиты, требующие проведения дезинфекции или очистки после очередного использования.

Медицинские маски, продающиеся в обычных аптеках, будут совершенно неэффективны на строительных площадках. Они конструктивно не пригодны для использования при наличии вредных факторов, имеющих на стройплощадках. Работники на строительной площадке выполняют гораздо большее количество движений по сравнению с действиями людьми при повседневной деятельности. Для того, чтобы сделать медицинские маски пригодными для работников строительной отрасли, необходимо пересмотреть конструктив масок, особенно это важно для работников «подвижных» специальностей. Производители рассматривают различные варианты крепления масок к воротникам курток, использование более износостойких материалов, а также возможность разработки многоразовых масок с антибактериальными свойствами. В настоящее время уже используют антибактериальные пропитки, которые сохраняют свои свойства после нескольких стирок, но как правило защитные свойства таких пропиток сильно падают после первой

стирки, что оставляет высокий шанс заражения вирусными заболеваниями.

В этом случае в СИЗ и защитной одежде можно использоваться химически чувствительные покрытия на основе электроформованных нановолокон [12]. Они обладают хорошей эластичностью, воздухопроницаемостью, облегченной структурой и фильтрующими способностями. Подобные ткани, содержащие антибактериальные вещества, могут защитить владельцев от заболеваний и ослабить распространение бактериальных, грибковых и вирусных инфекций.

Защитная одежда, используемая в строительстве, нуждается в большом количестве карманов, так как требуется много места для хранения различных принадлежностей. Однако зачастую они имеют небольшие размеры и непрактично неудобное расположение.

При выполнении строительного-монтажных работ использование перчаток, как правило, обязательно, но бывают ситуации, в которых их использование затрудняет выполнение работ. Если рассматривать ситуации, когда работники переходят после выполнения работ на открытом воздухе в помещение, чаще всего они оставляют перчатки и верхнюю одежду в специально отведенном для этого месте. В таких случаях у работников нет возможности идентифицировать свои перчатки и другие личные вещи.

Во избежание использования чужих предметов одежды необходимо разработать и внедрить новые элементы конструкции специальной одежды, благодаря которым можно установить принадлежность



Рис. 12. Свойства комфортности защитной одежды

головных уборов, перчаток и прочих аксессуаров работников.

В ходе разработки было предложено использовать резинку, которая крепилась одним концом в нижней части рукава, а другим к перчаткам. Такое решение помогло бы снизить процент «потери» перчаток в летнее время, однако в случае работы в холодное или мокрое время, когда перчатки необходимо прогревать или сушить, проблема оставалась.

В работе [13] предложен вариант использования накладных карманов, карманы добавляются в передней и задней частях, внутренней части защитной одежды путем демонтажа карманов от рюкзака. Регулировку размеров и месте крепления можно осуществлять с помощью лямок и пряжек. Задний карман, прикрепляемый на эластичных бретелях, при необходимости снятия защитной одежды для удобства может быть перевешен на плечо, позволяя иметь СИЗ в непосредственном доступе, либо может быть снят, если не нужен (рис. 13).

В результате анализа существующих предложений было принято решение о создании специального кармана в нижней части рукава, внутри которого используется резинка. Данное внедрение решило проблему прогрева перчаток в сухое и холодное время, но проблема с мокрыми перчатками оставалась, даже стала

более актуальной. Из-за хранения мокрых перчаток в карманах, рукава начинали отсыревать. Поэтому принято решение о внедрении в карман нагревающего элемента. Благодаря данному элементу, возможно, сушить перчатки в мокрое время года или прогревать в холодное время года. Внедрение описанного выше компонента решило сразу несколько проблем, таких как использование чужих перчаток, удобство хранения перчаток, возможность прогревать или сушить перчатки в любых условиях. Данная технология запатентована (патент на промышленный образец № 131607) ООО ПФ «Кадотекс-2000» (рис. 14) [8].

Проведенный в статье анализ санитарно-гигиенического обеспечения безопасности на строительной площадке на основе функционального проектирования защитной одежды показывает необходимость рассмотрения безопасности как эмерджентной характеристики, зависящей от взаимодействия элементов сложной системы. Взаимосвязи и взаимозависимость факторов, задающих поведение системы, можно исследовать на основе системного подхода, который даст возможность усложнить результаты статистического анализа на основе динамического моделирования. Это может быть полезно в дальнейшем для разработки более эффективных превентивных мероприятий. 

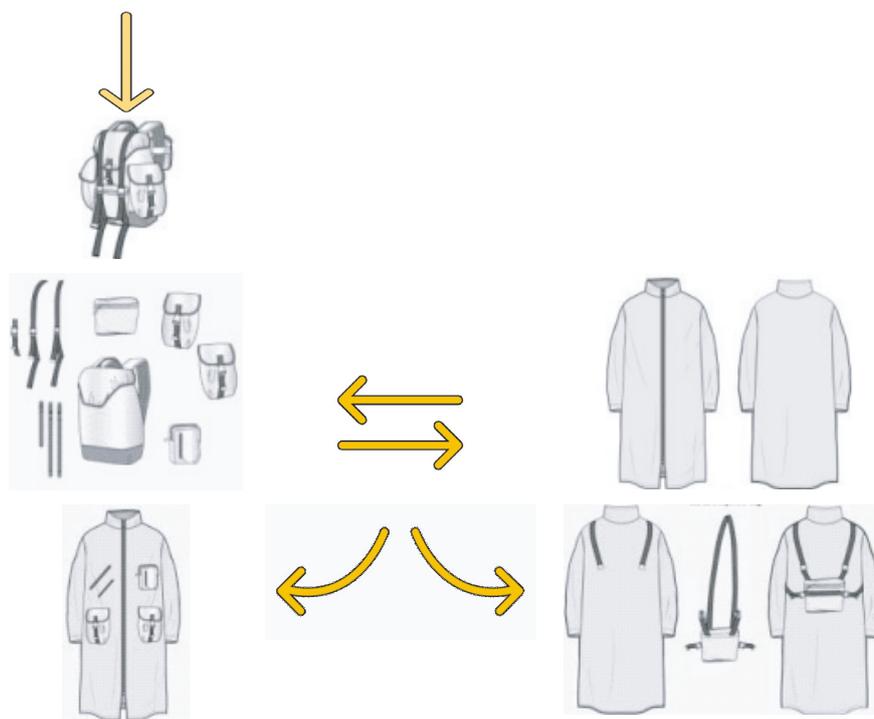


Рис. 13. Вариант крепления накладных карманов



Рис. 14. Разработанная куртка [8]

Литература

1. Романов, В.Е. Системный подход к проектированию специальной одежды / В.Е. Романов. — Москва: Легкая и пищевая промышленность, 1981. — 128 с. — Текст: непосредственный.
2. Байжанова, Жазира. Совершенствование технологии проектирования спецодежды для строителей / Жазира Байжанова. — Москва: LAP Lambert Academic Publishing, 2013. — 136 с. — Текст: непосредственный.
3. Чубарова, З.С. Методы оценки качества специальной одежды / З.С. Чубарова. — Москва: Легпромбытиздат, 1988. — 208 с. — Текст: непосредственный.
4. Беляева, С.А. Насущные проблемы обеспечения работников средствами индивидуальной защиты / С.А. Беляева. — Текст: непосредственный // Швейная промышленность. — 1996. — №5. — С. 45–47.
5. Анализ влияния вибрации на работников при строительстве и эксплуатации объектов транспортной инфраструктуры / И.С. Прокопчук, М.В. Бушин, Е.М. Литвиновский, Е.А. Киселева. — Текст: непосредственный // Безопасность жизнедеятельности. — 2022. — № 1(253). — С. 7–10. — EDN: FNFFSR.
6. Высоцкая, Л.А. Аспекты снижения риска, связанного с возможным падением работника с высоты, в транспортном строительстве / Л.А. Высоцкая, В.А. Аксенов. — Текст: непосредственный // Проблемы безопасности российского общества. — 2021. — №4(36). — С. 8–12. — EDN: LFLLUT.
7. Кириллин, А.А. Анализ эффективности средств индивидуальной защиты работников инфраструктурного комплекса / А.А. Кириллин, О.С. Сачкова, Д.В. Климова. — Текст: непосредственный // Наука и техника транспорта. — 2022. — №3. — С. 110–111. — EDN: FUKAEO.
8. Патент на промышленный образец №131607 Российская Федерация. Куртка: № 2021504816 : заявл. 29.09.2021 : опубл. 07.06.2022 / Кириллин А.А.; заявитель Общество с ограниченной ответственностью производственная фирма «КАДОТЕКС-2000». — EDN: EEIDAR.
9. Федеральная служба государственной статистики: официальный сайт. — Москва. — Обновляется в течение суток. — URL : <https://rosstat.gov.ru/> (дата обращения: 13.02.2023). — Текст: электронный .
10. Mansour A Balkhyour, Ijaz Ahmad, Mohammad Rehan Assessment of personal protective equipment use and occupational exposures in small industries in Jeddah: Health implications for workers// Saudi J Biol Sci . 2019, May; 26(4), P. 653-659. doi: 10.1016/j.sjbs.2018.06.011.

11. Syed Ammad, Wesam Salah Alaloul, Syed Saad, Abdul Hannan Qureshi Personal Protective Equipment (PPE) usage in Construction Projects: A Systematic Review and Smart PLS Approach // Ain Shams Engineering Journal 12 (2021), P. 3495–3507.
12. Evan A. Nadhim, Carol Hon, Bo Xia, Ian Stewart, Dongping Fang Falls from Height in the Construction Industry: A Critical Review of the Scientific Literature // Int J Environ Res Public Health. 2016 Jul; 13(7): 638.
13. Jiehan Li, Xiaogang Liu The Study of Sustainable Strategy in Design of Protective Clothing and Accessories After Coronavirus (COVID-19) Outbreak // Journal of Physics: Conference Series 1790 (2021) 012027 doi:10.1088/1742-6596/1790/1/012027.
14. Ran-i Eom, Yejin Lee Working environments and clothing conditions in the construction industry // Eom and Lee Text (2020) 7:9 /doi.org/10.1186/s40691-019-0194-0.
15. WorksafeMahi Haumaru Aotearoa, Protective clothing: WorkSafe guidance. 2021, ISBN 978-1-98-856-796-9.

ЭВОЛЮЦИЯ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА НА БЕЗОПАСНОСТЬ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРИ ТЕХНИЧЕСКОМ ОБСЛУЖИВАНИИ АВИАТЕХНИКИ

Учет влияния человека на транспортную аварийность имеет многовековую историю. При обслуживании авиатехники ежегодно происходят инциденты и происшествия вследствие небезопасных действий персонала, а также недостатков взаимодействия служб. Подходы к обеспечению безопасности на воздушном транспорте могут быть применены в иных отраслях транспорта.

Ключевые слова: транспорт, авиатехника, безопасность, человеческий фактор, техническое обслуживание, управление ресурсами

EDN: ULQMIJ

На воздушном транспорте человеческий фактор понимается как взаимодействие человека с другими людьми, машинами, при этом специализированное учреждение Организации Объединённых Наций (ООН) Международная организация гражданской авиации (ИКАО от International Civil Aviation Organization (ICAO)) указывает, что причиной большинства авиационных происшествий и инцидентов является действие людей [1].

Актуальность учета человеческого фактора на воздушном транспорте подтверждается данными Росавиации о том, что авиационные события, при наземном обслуживании воздушных судов происходят ежегодно и чаще всего из-за человеческого фактора:

недостатки взаимодействия служб, небезопасные действия персонала:

- 2020 год – 78 случаев [2];
- 2019 год – 110 случаев [2];
- 2018 год – 127 случаев [3];
- 2017 год – 108 случаев [4];
- 2016 год – 86 случаев [5];
- 2015 год – 101 случай [6];
- 2014 год – 103 случая [7];
- 2013 год – 121 случай [8].

Методы исследования

В данной работе результативно использованы общенаучные методы и приемы системного ана-



В.Э. Андрусов



Н.И. Николайкин

Андрусов Вадим Эдуардович, аспирант кафедры «Безопасность полётов и жизнедеятельности» Московского государственного технического университета гражданской авиации (МГТУ ГА), главный специалист отдела комплексной экспертизы и координации научно-исследовательских проектов и разработок государственного бюджетного учреждения города Москвы «Научно-исследовательский институт организации здравоохранения и медицинского менеджмента Департамента здравоохранения города Москвы» (ГБУ «НИИОЗММ ДЗМ»). Область научных интересов: воздушный транспорт, техническая эксплуатация и ремонт технических средств воздушного транспорта, медицинская статистика, гигиена труда и профессиональная патология, радиационная гигиена, транспортная медицина и гигиена. Автор 13 научных работ, в том числе одной монографии.

Николайкин Николай Иванович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Безопасность полётов и жизнедеятельности» Московского государственного технического университета гражданской авиации (МГТУ ГА), Почетный работник высшего образования РФ, отличник воздушного транспорта, действительный член (академик) Международной академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности (МАНЭБ), Почетный работник МГТУ ГА, имеет две серебряные медали ВДНХ, присвоено звание «Ветеран труда». Область научных интересов: техносферная безопасность, инженерная экология, экологическая безопасность при эксплуатации авиатехники. Автор более 300 научных работ, в том числе четырех монографий. Имеет 40 патентов на изобретения.

лиза, теории систем, теории управления. Полученные результаты согласуются с выводами опубликованных печатных работ и докладов на научных конференциях по смежным отраслям науки.

В качестве информационной и терминологической базы использовались: научные источники в виде данных и сведений из книг, иных публикаций; документы ИКАО, нормативные правовые акты Российской Федерации.

Ретроспективный анализ критериев и методов оценки человеческого фактора на воздушном транспорте

Роль человеческого фактора в авиации изменялась и исследовалась, в рамках доступных в конкретном историческом периоде методов и средств познания, параллельно с получением инженерных знаний с точки зрения возможности используемых ресурсов, в том числе человеческих.

Ранее [9] были выделены три этапа взаимодействия человека со средствами производства применительно к воздушному транспорту: до 1970 годов, 1970–1990 годы, с середины 1990 годов по настоящее время (события с начала 2020 года, связанные с резкими изменениями в деятельности транспорта, вызванными пандемией требуют отдельного анализа).

Этап до 1970-х годов характеризуется поиском базовых методов и средств исследований человеческого фактора. В 1818 году в Российской Империи [10] принят закон о надзоре за работами, призванный повысить уровень безопасности на заводах и рудниках (ныне – «безопасность труда»), в 1884 году [11] на медицинском факультете Императорского Московского университета основана кафедра гигиены (ныне – «гигиена труда»), в 1859 году опубликована работа «К критике политической экономии» Карла Маркса [12] об оценке производительности ресурсов (ныне – «производительность труда»).

До 1970-х годов поиск фактов, закономерностей, происходил, в том числе, с точки зрения базовых антропометрических (антропометрических), физиологических возможностей использования техники человеком в области пилотирования и применения воздушных судов. Вопросы наземного технического обслуживания (ТО), ремонта воздушных судов не являлись приоритетными [13, с. 77].

В период с 1970 по 1990 годы совершенствуются методы, средства исследования человеческого фактора, появляются системы анализа, контроля опасных факторов, подготовки персонала, выработки мер по недопущению критичных и опасных режимов работы оборудования и систем.

Наиболее значимым в эти годы был человеческий фактор, как способность работника безопасно и качественно реализовать сложные алгоритмы производственной деятельности, взаимодействовать с другими людьми. Например, в этот период на основе информатизации и автоматизации производства по программе многоразового космического корабля «Буран» был создан цех для изготовления деталей теплозащиты, впервые работавший без документации на бумаге [14].

В этот период были заложены основы исследований человеческого фактора и мер реагирования с точки зрения физиологии, концепции функциональных систем П.К. Анохина: развитие профессионально значимых двигательных функций, пути борьбы с физическим утомлением, основы физиологии умственного труда и основные виды умственного труда, оптимизация трудового процесса как баланса между высокой работоспособностью и хроническим нервно-эмоциональным напряжением, пути адаптации человека к существующим условиям среды, рационализация режимов труда и отдыха, впервые введена классификация условий труда по степени энергетического, функционального напряжения организма [15].

Тогда же были заложены основы исследований человеческого фактора с точки зрения повышения общей производительности (труда, капитала, других ресурсов): установлены факторы, влияющие на производительность, акцентирована практическая сторона управления производительностью, сформулирована важность не только измерения, но и управления производительностью, разграничена производительность и интенсивность [16].

С середины 1990-х годов по настоящее время начинается смена принципиальных подходов к исследованию, анализу опасных факторов, устранению опасностей. Возникла необходимость прогнозирования опасностей, предотвращения возможных реализаций опасностей.

В теорию и практику повсеместно вошло понятие «риск» и способы его оценки. Толчком послужило присуждение в 1990 году Нобелевской премии по экономике профессорам Гарри Марковицу, Мертону Миллеру, Уильяму Шарпу за работу в области теории финансовой экономики. Можно оптимально инвестировать богатство в активы, которые отличаются в зависимости от их ожидаемой доходности и риска и, следовательно, можно снизить риски [17].

В 1989 году ИКАО опубликовало концепцию оценки человеческого фактора в авиации [18] и циркуляр [19], обобщившие методы взаимодействия в кабине летного экипажа (концепция Cockpit resource management (CRM) (Управление ресурсами кабины

пилотов), во многом обусловленные анализом катастроф воздушных судов в 1977 и 1978 годах («Боинг-747», 583 жертвы) [20], DC-8 (10 жертв) [21]).

CRM сохраняла командную иерархию, но развивала менее авторитарную культуру в кабине летного экипажа, акцентированную на преимуществах совместного управления воздушным судном командиром воздушного судна и другими членами летного экипажа [22].

Постепенно акцент сместился на групповые аспекты решения проблемы человеческого фактора и понимание CRM сменилось на Crew Resource Management (Управление ресурсами экипажа) [23].

В последние годы под аббревиатурой CRM настоятельно предлагают понимать Company Resource Management (Управление ресурсами компании (организации, юридического лица)) [24].

Обобщая задокументированные случаи авиационных событий 1989–1991 годов, профессиональное сообщество сформулировало проблему: ошибки человека в сфере технического обслуживания проявляются в иной форме, чем у летного экипажа или у диспетчеров управления воздушным движением.

В циркуляре ИКАО (1995 год) эта особенность работ по ТО авиатехники обосновывается следующим образом. «В сфере технического обслуживания воздушных судов нет аналогов устройствам регистрации полетных данных, переговоров летного экипажа, служб управления воздушным движением, т.е. нет устройств, подробно регистрирующих процесс выполнения операций технического обслуживания. Кроме того, программы составления самоотчетов о техническом обслуживании не достигли той степени совершенства, как аналогичные программы в сфере производства полетов. В большинстве случаев просто нет данных, необходимых для рассмотрения и описания конкретных видов ошибок человека, допущенных при техническом обслуживании» [25].

Результатом осмысления фактов, обоснования, проверки практикой, явился следующий шаг в эволюции подходов к безопасности, разработанных ИКАО концепция Maintenance Resource Management (MRM) (Управление ресурсами технического обслуживания) [1]. В настоящее время MRM предлагает методы, критерии по ключевым проблемам, могущим привести к ошибкам при техническом обслуживании: нормативный контроль; роль руководства; обучение; надежность инспекции, выполняемой человеком; экологические факторы; эргономика и человеческий фактор; коммуникация и формат документов; утомляемость персонала технического обслуживания.

В 1993 году ИКАО системно рассмотрела управление человеческим фактором в рамках комплексной

программы безопасности для различных операций (полетов, технического обслуживания и т.д.) [26], и в 1995 году выпустила сборник рекомендаций по учету человеческого фактора исключительно при техническом обслуживании воздушных судов [25].

В 1998 году ИКАО утвердила первое издание Руководства по обучению в области человеческого фактора, положившее начало полноценному учету человеческого фактора в различных областях авиации, включая управление воздушным движением и техническое обслуживание воздушных судов [27].

В Российской Федерации с 2018 года понятие «риск» зафиксировано на уровне законодательства [28], определяющего порядок проведения надзора [29], понятие производительность труда вошла составной частью в систему Национальных проектов Российской Федерации [30].

Методологическая возможность применения принципов исследований человеческого фактора в иных отрасли транспорта

С учетом основополагающих документов ИКАО [1], и ранее проведенных совместных работ [31–33] очевидно, что в настоящее время на воздушном транспорте человеческий фактор чаще всего оценивается с позиции необходимости и достаточности по так называемой «грязной дюжине» человеческих факторов, служащих предвестниками несчастных случаев, инцидентов [34]: 1. Недостаток знаний; 2. Недостаток осведомленности; 3. Недостаток ресурсов; 4. Недостаток во взаимодействии; 5. Неслаженность в командной работе; 6. Самодовольство; 7. Недостаток уверенности в себе; 8. Сознательное отступление от норм; 9. Отвлечение внимания; 10. Психологическое давление; 11. Стресс; 12. Утомление.

В Российской Федерации подходы к учету человеческого фактора при ТО авиатехники могут использоваться также в иных отраслях транспорта через применимое национальное законодательство.

Методы оценки безопасности труда. В системе управления охраной труда могут вестись записи о связанных с работой травмах, ухудшениях здоровья, болезнях и инцидентах на основе пункта 4.5.5. ГОСТ 12.0.230-2007 «ССБТ. Системы управления охраной труда. Общие требования» [35], пункта 5.2.3.5. ГОСТ 12.0.230.1-2015 «ССБТ. Системы управления охраной труда. Руководство по применению ГОСТ 12.0.230-2007» [36], пункта 8 Примерного положения о системе управления охраной труда [37].

Методы оценки здоровья работников. Возможны в рамках процедур организации и прове-

дения наблюдения за здоровьем работников в системе управления охраной труда, при анализе стоимости болезни [38].

Методы оценки условий труда. Обязательны для работодателей в силу положений законодательства о труде [39], законодательства в области санитарно-эпидемиологического благополучия населения [40;41].

Методы оценки, могущие быть реализованными на основе принципов ИКАО по учету человеческого фактора [1;42]: стресса; рисков; культуры безопасности; компетентности, информированности; коммуникации; коммерческого и организационного давления на работников; усталости.

Заключение

Человеческий фактор, понимаемый как взаимодействие человека с другими людьми, машинами, а также между человеком и машиной является причиной большинства авиационных происшествий и инцидентов.

Базовые методы и средства исследований человеческого фактора в части безопасности труда, гигиены труда, производительности труда фактически берут начало в XIX веке.

Касательно членов летных экипажей методы, средства, критерии оценки человеческого фактора начали применяться в конце 1980-х годов.

1995 год можно считать началом официального оформления учета человеческого фактора при ТО авиатехники.

Оценка человеческого фактора уточнялась в рамках парадигм, свойственных собственно авиации, в рамках других дисциплин: экономики, финансов, страхования, наук о человеке (физиологии, психологии и других).

Тенденция усложнения методов, средств, критериев, постепенное движение от частных к обобщениям, расширение проблемного поля знаний о человеческом факторе становится фактом. Но фактом становится и необходимость описания и уточнения аспектов человеческого фактора, то есть движения от общего к частному. 

Литература

1. Основные принципы учета человеческого фактора в руководстве по техническому обслуживанию воздушных судов: [сайт]. – URL: https://sparcatc.ru/files/ICAO_Doc-9824-Osnovnye-principyu-ucheta-chelovecheskogo-faktora-v-rukovodstve-po-tehnicheskomu-obslyzhivaniyu-vozdushnyh-sudov.pdf. – (дата обращения: 14.02.2023). – Текст: электронный.
2. Росавиация. Анализ состояния безопасности полетов в гражданской авиации Российской Федерации в 2020 году: [сайт]. – URL: https://aviaforum.ams3.cdn.digitaloceanspaces.com/data/attachment-files/2021/04/1598384_a3450354b90aa72fe5588472bb4eedfc.pdf (дата обращения: 12.01.2023). – Текст: электронный.
3. Росавиация. Анализ состояния безопасности полетов в гражданской авиации Российской Федерации в 2018 году: [сайт]. – URL: [http://sibfana.ru/files/Analiz_2018\(1\).pdf](http://sibfana.ru/files/Analiz_2018(1).pdf) (дата обращения: 15.10.2019). – Текст: электронный.
4. Росавиация. Анализ состояния безопасности полетов в гражданской авиации Российской Федерации в 2017 году: [сайт]. – URL: <https://rostransnadzor.gov.ru/storage/img/avia/%D0%90%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7%20%D1%81%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%8F%D0%BD%D0%B8%D1%8F%20%D0%B1%D0%B5%D0%B7%D0%BE%D0%BF%D0%B0%D1%81%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8%20%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B2%20%D0%B2%202017%20%D0%B3%D0%BE%D0%B4%D1%83.pdf> (дата обращения: 12.01.2023). – Текст: электронный.
5. Росавиация. Анализ состояния безопасности полетов в гражданской авиации Российской Федерации в 2016 году: [сайт]. – URL: <https://rostransnadzor.gov.ru/storage/img/avia/%D0%90%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7%20%D1%81%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%8F%D0%BD%D0%B8%D1%8F%20%D0%B1%D0%B5%D0%B7%D0%BE%D0%BF%D0%B0%D1%81%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8%20%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D0%B5>

%D1%82%D0%BE%D0%B2%20%D0%B2%202016%20%D0%B3%D0%BE%D0%B4%D1%83.pdf (дата обращения: 12.01.2023). –Текст: электронный.

6. Росавиация. Анализ состояния безопасности полетов в гражданской авиации Российской Федерации в 2015 году: [сайт]. –URL: https://avia.rostransnadzor.ru/storage/document/document_file/2019-02/20/%D0%90%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7%20-%D1%81%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%8F%D0%BD%D0%B8%D1%8F%20%D0%B1%D0%B5%D0%B7%D0%BE%D0%BF%D0%B0%D1%81%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8%20%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B2%20%D0%B2%202015%20%D0%B3%D0%BE%D0%B4%D1%83.pdf (дата обращения: 09.09.2021). –Текст: электронный.

7. Росавиация. Анализ состояния безопасности полетов в гражданской авиации Российской Федерации в 2014 году: [сайт]. –URL: https://avia.rostransnadzor.ru/storage/document/document_file/2019-02/20/%D0%90%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7%20-%D1%81%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%8F%D0%BD%D0%B8%D1%8F%20%D0%B1%D0%B5%D0%B7%D0%BE%D0%BF%D0%B0%D1%81%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8%20%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B2%20%D0%B2%202014%20%D0%B3%D0%BE%D0%B4%D1%83.pdf (дата обращения: 16.10.2019). –Текст: электронный.

8. Росавиация. Анализ состояния безопасности полетов в гражданской авиации Российской Федерации в 2013 году: [сайт]. –URL: https://avia.rostransnadzor.ru/storage/document/document_file/2019-02/20/%D0%90%D0%BD%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7%20-%D1%81%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%8F%D0%BD%D0%B8%D1%8F%20%D0%B1%D0%B5%D0%B7%D0%BE%D0%BF%D0%B0%D1%81%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B8%20%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B2%20%D0%B2%202013%20%D0%B3%D0%BE%D0%B4%D1%83.pdf (дата обращения: 16.10.2019). –Текст: электронный.

9. Худяков, Ю.Г. Авиационная услуга и факторы (виды) рисков / Ю.Г. Худяков. –Текст: непосредственный // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. –2009. –№149. –С. 151–155.

10. История возникновения охраны труда и причины развития: [сайт]. –URL: <https://otot.ru/blog/ohrana-truda-istoriya-vozniknoveniya-i-gazvitiya> (дата обращения: 12.01.2023). –Текст: электронный.

11. История кафедры общей гигиены ИМУ – 1 ММИ – ММА – Первый МГМУ им. И.М. Сеченова (1884–2009) [сайт]. –URL: <https://www.sechenov.ru/univers/structure/institute/mpf/kafedry/kafedra-obshchey-gigieny/history> (дата обращения: 17.01.2023). –Текст: электронный.

12. Маркс, К. Полное собрание сочинений / К. Маркс, Ф. Энгельс: [сайт]. –URL: <https://www.marxists.org/russkij/marx/cw/> (дата обращения: 12.01.2023).. –Текст: электронный.

13. Стефановский, П.М. Триста неизвестных. Издание второе, дополненное / П.М. Стефановский. – Москва: Воениздат. –448 с. –Текст: непосредственный.

14. Национальный институт авиационных технологий (ОАО «НИАТ») / Об институте: [сайт]. –URL: <http://www.niat.ru/data/org/1429224423/1429477945/> (дата обращения: 12.01.2023). –Текст: электронный.

15. Руководство по физиологии труда / Н.Ф. Измеров, А.А. Виру, М.И. Виноградов [и др.]; под ред. З.М. Золиной, Н.Ф. Измерова. –Москва: Медицина, 1983. –527 с. –Текст: непосредственный.

16. Прокопенко, И.И. Управление производительностью: Практическое. руководство: Перевод с английского / И.И. Прокопенко. –Киев: Тэхника, 1990. –320 с. –Текст: непосредственный.

17. The Sveriges Riksbank Prize in Economic Sciences in Memory of Alfred Nobel 1990. –[сайт]. –URL: <https://www.nobelprize.org/prizes/economic-sciences/1990/summary/> (дата обращения: 12.01.2023). –Текст: электронный.

18. ИКАО. –Cir 216. Сборник материалов «Человеческий фактор», №1 «Фундаментальные концепции человеческого фактора», 1989.

19. ICAO. –Human Factors Digest, No 2: Flight Crew Training: Cockpit Resource Management (CRM) and Line-oriented Flight Training (LOFT) / ICAO; UK Civil Aviation Authority. –60 p.

20. Катастрофа двух самолётов «Боинг-747» на ВПП аэр. Лос-Родос 27 марта 1977 года – Гражданская авиация – Каталог файлов – Авиационные катастрофы: [сайт]. – URL: https://aviacrash.ucoz.ru/load/grazhdanskaja_aviacija/katastrofa_dvukh_samoljotov_quot_boing_747_quot_na_vpp_aehr_los_rodos_27_marta_1977_goda/3-1-0-29 (дата обращения: 12.01.2023).. – Текст: электронный.
21. Wikipedia. -Катастрофа DC-8 в Портленде: [сайт]. – URL: https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=%D0%9A%D0%B0%D1%82%D0%B0%D1%81%D1%82%D1%80%D0%BE%D1%84%D0%B0_DC-8_%D0%B2_%D0%9F%D0%BE%D1%80%D1%82%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B4%D0%B5&oldid=95388741 (дата обращения: 12.01.2023). – Текст: электронный.
22. Wikipedia. Crew resource management or cockpit resource management: (CRM): [сайт]. – URL: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Crew_resource_management&oldid=934418787 (дата обращения: 12.01.2023). – Текст: электронный.
23. U.S. Department of Transport. Federal Aviation Administration. FAA Advisory Circular 120-51e - Crew Resource Management Training: [сайт]. – URL: <https://www.icao.int/safety/airnavigation/OPS/CabinSafety/Cabin%20Safety%20Library/FAA%20AC%20120-51e%20-%20CRM%20Training.pdf> (дата обращения: 12.01.2023). – Текст: электронный.
24. Carvalho Ricardo J.M. de и др. -Situated design of line-oriented flight training (LOFT): a case study in a Brazilian airline / Ricardo J. M. de Carvalho, Maria C. W. Saldanha, Mario C. R. Vidal, Paulo V. R. Carvalho; Cognition, Technology & Work T. 18 № 2 2016. – P. 403–422.
25. ИКАО. Cir 253. Сборник материалов «Человеческий фактор», №12 «Роль человеческого фактора при техническом обслуживании и инспекции воздушных судов», 1995. – Текст: непосредственный.
26. ICAO. Cir 247-an/148 Human factors digest no. 10 «Human factors, management and organization», 1993. – Текст: непосредственный.
27. ICAO .Doc 9683. Human Factors Training Manual 1St Edition, 1998. – Текст: непосредственный.
28. Российская Федерация. Законы. О защите прав юридических лиц и индивидуальных предпринимателей при осуществлении государственного контроля (надзора) и муниципального контроля: Федеральный закон от 26.12.2008 №294-ФЗ: принят Государственной Думой 19 декабря 2008 года; одобрен Советом Федерации 22 декабря 2008 года. – Москва, 2008. – Текст: непосредственный.
29. Постановление Правительства Российской Федерации от 17.08.2016 №806 О применении риск-ориентированного подхода при организации отдельных видов государственного контроля (надзора) и внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации: Постановление Правительства Российской Федерации от 17.08.2016 №806, 2016. – Текст: непосредственный.
30. Национальный проект «Производительность труда»: [сайт]. – URL: http://xn--b1aedfedwqdbfzbnzki-0oe.xn--p1ai/ru/national-project/about_project/ (дата обращения: 12.01.2023). – Текст: электронный.
31. Худяков, Ю.Г. Управление опасностями производственной среды: монография / Ю.Г. Худяков, Н.И. Николайкин, В.Э. Андрусов. – Москва: Проспект, 2017. – 128 с.
32. Андрусов, В.Э. Заболеваемости с временной утратой трудоспособности как инструмент оценки безопасности рабочих мест / В.Э. Андрусов, Н.И. Николайкин, Ю.Г. Худяков. – Текст: непосредственный // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2018. – Т. 7, № 1(41). – С. 50–56.
33. Николайкин, Н.И. Эволюция учёта влияния ошибок человека на особенности и результаты коллективной работы / Н.И. Николайкин, В.Д. Шаров, В.Э. Андрусов. – Текст: непосредственный // Crede Experto: транспорт, общество, образование, язык. – 2019. – №1. – С. 8–40.
34. SKYbrary. -The Human Factors «Dirty Dozen» - SKYbrary Aviation Safety : [сайт]. – URL: https://www.skybrary.aero/index.php/The_Human_Factors_%22Dirty_Dozen%22 (дата обращения: 27.01.2023). – Текст: электронный.
35. ГОСТ 12.0.230-2007. ССБТ Система стандартов безопасности труда. Системы управления охраной труда. Общие требования = Occupational safety standards system.Occupational safety and health management systems. General requirements: национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: внесен Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии: принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол № 28 от 27 марта 2007 г. по переписке): введен впервые: приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 10 июля 2007 г. N169-ст межгосударственный стандарт ГОСТ 12.0.230-2007 введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 июля 2009 г. – Москва: Стандартинформ. – Текст: непосредственный.

36. ГОСТ 12.0.230.1-2015. ССБТ. Системы управления охраной труда. Руководство по применению ГОСТ 12.0.230-2007 = Occupational safety standards system. Occupational safety and health management systems. Guidance for use of Gost 12.0.230-2007: национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: внесен Межгосударственным техническим комитетом по стандартизации МТК 251 «Безопасность труда»: принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 10 декабря 2015 г. №48): Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 9 июня 2016 г. №601-ст межгосударственный стандарт ГОСТ 12.0.230.1-2015 введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 марта 2017 г.: введен впервые: переиздание: апрель 2019. — Москва: Стандартинформ. — Текст: непосредственный.

37. Об утверждении Примерного положения о системе управления охраной труда: Приказ Минтруда России № 776н от 29 октября 2021 года: настоящий приказ вступает в силу с 1 марта 2022 г. — Текст: непосредственный.

38. Игнатъева, В.И. Анализ методологических особенностей исследований по изучению социально-экономического бремени заболеваний в РФ в рамках разработки стандартной методики анализа стоимости болезни с целью ее использования в оценке технологий здравоохранения / В.И. Игнатъева, М.В. Авксентьева. — Текст: непосредственный // Фармакоэкономика: современная фармакоэкономика и фармакоэпидемиология. — 2014. — Т.7, №3. — С. 3—11.

39. Российская Федерация. Законы. О специальной оценке условий труда: Федеральный закон от 28.12.2013 № 426-ФЗ: принят Государственной Думой 23 декабря 2013 года: одобрен Советом Федерации 25 декабря 2013 года. — Москва, 2013. — Текст: непосредственный.

40. СанПиН 2.1.3684-21 Санитарно-эпидемиологические правила и нормы. Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий»: утвержден Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 28.01.2021: дата введения 2021-03-01. — URL : www.pravo.gov.ru (дата обращения: 15.02.2023). — Текст: электронный.

41. Руководство Р 2.2.2006-05. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда = Guide on Hygienic Assessment of Factors of Working Environment and Work Load. Criteria and Classification of Working Conditions : утверждено Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 29 июля 2005 : введено в действие с 1 ноября 2005 г. — Москва, 2005. — Текст: непосредственный.

42. ИКАО. — Руководство эксплуатантам по внедрению системы управления рисками, связанными с утомляемостью (СУРУ — FRMS), 2011.

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 — А4 (210x297 мм), при этом левое, верхнее и нижнее поля должны быть не менее 20 мм, а правое поле — не менее 10 мм, ориентация страниц книжная.
5. Шрифт Times New Roman (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.