

НАУКА И ТЕХНИКА ТРАНСПОРТА



ISSN 2074-0921



Деловая информация

Транспорт

Моделирование транспортных процессов

Безопасность деятельности человека

2023 2

Научно-технический журнал

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

- 2.1.1. 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. Использованы фотоматериалы из открытых источников.

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

Подписано в печать 23.06.2023.

Усл. печ. л. 14,25
Формат 60×90¹/₈.

Тираж 60 экз.
Тип. зак. 9

© 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

2' 2023

Деловая информация



Объединенный ученый совет ОАО «РЖД»
от 22 февраля 2023 года

8

Транспорт



**А.В. Горелик, А.Н. Малых, Г.Г. Курашева,
Т.С. Щедрина**

Стратегические цели и средства повышения
эффективности производственного процесса
технического обслуживания систем железнодорожной
автоматики и телемеханики

10



М.Ю. Чалова, П.А. Григорьев

Оценка производительности щебнеочистительных
машин нового поколения в зависимости
от засоренности и влажности балластного слоя

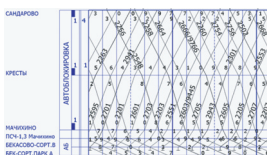
16



**А.С. Космодамианский, В.И. Воробьев,
О.В. Измеров, С.О. Копылов, Е.В. Николаев**

Проблемы создания тепловозов для линий
с небольшой интенсивностью движения

22



**С.П. Вакуленко, Д.Ю. Роменский, А.Д. Ершов,
К.А. Калинин**

Особенности пропуска грузовых поездов в крупных
железнодорожных узлах при дробной нумерации ниток
в графике движения

32



С.С. Мальцев

Автоматизированный синтез взаимозависимостей
в станционных системах электрической централизации
метрополитенов

42



Р.М. Мухаметшина, М.М. Махмутов, С.М. Горюнова
Исследование создания шумовой полосы
термомеханическим методом

48



Н.И. Беряков, С.Н. Беряков
Оценка влияния принятых решений в проекте
организации строительства на сметную стоимость
строительства транспортных объектов

55



**В.Б. Карпухин, Г.М. Биленко, А.А. Шатохин,
И.В. Симачкова**
Об оптимизации транспортной сети

61



**Д.И. Бодриков, Д.А. Акулов, Р.С. Чубов, И.А. Рыбкин,
В.П. Смирнов**
Особенности эксплуатации ТЭД электровозов
северного направления Тайшет – Таксимо Восточного
полигона РЖД

67



Д.Г. Евсеев, Р.С. Селезнев
Универсализация подвижного состава на примере
перевозки контейнеров в полувагонах

70



С.П. Вакуленко, А.М. Насыбуллин, Л.Р. Айсина
Технико-технологические решения для обеспечения
приема поездов на электрифицированной тяге
на погрузочно-выгрузочный путь при частичном отказе
от использования контактной сети в пределах грузового
фронта

76



**Е.С. Власова, М.Л. Окулова, Ю.В. Завьялова,
М.В. Песков**
Анализ влияния человеческого фактора
на подпроцессы перевозочной деятельности
на железнодорожном транспорте

86



О.Ю. Емельянов, О.Ю. Кривич, И.К. Сергеев
Безопасная эксплуатация вагонов с элементами
из анизотропных материалов

91

Моделирование транспортных процессов



А.Н. Яшнов, М.Г. Рюмин

Алгоритмизация прогнозирования изменения технического состояния искусственных сооружений на железных дорогах

97



А.А. Таран, Е.Н. Таран, В.А. Бугреев, С.А. Моренко

Система дистанционного мониторинга состояния судового оборудования безэкипажного судна

102

Безопасность деятельности человека



Ю.В. Дементьева, С.Д. Татаринцев

Исследование причин дорожно-транспортного травматизма на предприятиях железных дорог

106



Н.П. Гелюх, В.А. Аксенов, А.В. Пашков

Использование систем мониторинга инженерных конструкций (СМИК) в целях обеспечения безопасности строительных сооружений транспортной инфраструктуры

110

Transport

A.V. Gorelik, A.N. Malykh, G.G. Kurasheva, T.S. Shchedrina

Strategic Goals and Means to Improve Production Process Efficiency of Railway Automation and Telemechanics System Maintenance **10**

The article considers the goals of the development of the automation and telemechanics sector of JSC «Russian Railways»; it formulates an optimization task for a reasonable choice of measures in the structural divisions; and it argues the transition to targeted spending of funds when choosing the category of maintenance and repair of railway automation and telemechanics systems.

Key words: railway automation and telemechanics, maintenance and repair, targeted spending of funds

M.Yu. Chalova, P.A. Grigoriev

Performance Evaluation of New Generation Ballast Cleaning Machines Depending on Ballast Bed Contamination and Moisture **16**

The paper considers the necessity to develop the modern models of the existing ballast cleaning machines due to the gross wear. The new models might ensure the greatest energy efficiency in the performance. At present, the design of ballast cutting machines does not take into account a number of parameters significantly reducing their actual production, and they are required to modify.

Key words: ballast cleaning machines, ballast bed contamination, ballast moisture, performance

A.S. Kosmodamiansky, V.I. Vorobyov, O.V. Izmerov, S.O. Kopylov, E.V. Nikolaev

Problems of Creating Diesel Locomotives for Lines with Low Traffic Volume **22**

The authors consider the search problem for solutions of the replacement of M62 and 2M62 diesel locomotives. As a result of the analysis, a promising diesel locomotive was selected for replacement, and the authors propose to create on its basis a number of diesel locomotives for passenger and freight traffic, as well as measures to modernize the crew part of the diesel locomotive and its components. Four utility model patents have been obtained for the solutions proposed by the authors on the article issue.

Key words: diesel locomotive, traction properties, crew part, traction drive, design

S.P. Vakulenko, D.Yu. Romensky, A.D. Ershov, K.A. Kalinin

Features of Making Way for Freight Trains in Large Railway Junctions with Fractional Train Path Numbering in Traffic Schedule **32**

The authors consider the problem relevant for main railway lines — the problem of train numbering in the normative traffic schedule. The conditions for the distribution of the traffic volume depending on the destination are formulated for two ways of train operation (using fractional and non-fractional of the freight train schedule paths).

Key words: railway transportation, freight traffic, railway junctions, train schedule

S.S. Maltsev

Automated Synthesis of Interdependencies in Metro Station Systems of Electric Interlocking **42**

The authors analyses the domestic and foreign experience of automated synthesis of interdependencies in electric interlocking systems of main railways and underground railways. The features of the synthesis of interdependencies in the underground station systems of electric interlocking with the indication of the relevance of the problem solving of dependency construction automating in these systems are presented. The paper accentuates the relevance of the development of methods and algorithms for automating the synthesis of relay-contact circuits of metro station electric interlocking, even in the conditions of transition to microprocessor electric interlocking systems.

Key words: metro, electric interlocking, table of interdependencies, relay-contact circuit, automated synthesis, topological principle

R.M. Mukhametshina, M.M. Makhmutov, S.M. Goryunova Investigation of Rumble Strip Creation by Thermomechanical Method **48**

The article presents the data of experimental study of creation way of rumble strip on roads by thermomechanical method. The rumble strips are increasingly used as an element of active road safety, and the proposed method of applying a rumble strip allows improving its performance, which determines the relevance of this research.

Key words: roadbed, rumble strip, thermomechanical method, road, safety

N.I. Beryakov, S.N. Beryakov Impact Assessment of Decisions Made in Construction Organisation Project on Estimated Cost of Transport Facilities Construction **55**

Based on the analysis of expert opinions on 40 railway bridges, the most frequently encountered solutions were identified, on the basis of which the estimated cost in the bridge construction changes. The authors have determined the position of each cost element to the sum total of withdrawn monetary resources. The ways to minimize this cost element have been obtained.

Key words: expertise, construction organisation project, remarks, savings, recommendations

V.B. Karpukhin, G.M. Bilenko, A.A. Shatokhin, I.V. Simachkova On Transport Network Optimisation **61**

In the transport network of the non-optimal structure developed arbitrarily during the formation of junctions and the tracks connecting them, there is a problem of ensuring the continuity of the traffic flow. Cost-effective optimization of transport network capacity is needed. The article analyses the proposed methods and models for optimising the train capacity of the transport network.

Key words: transport network, maximum traffic flow, train capacity, optimisation, section, continuity

D.I. Bodrikov, D.A. Akulov, R.S. Chubov, I.A. Rybkin, V.P. Smirnov Operation Features of Electric Locomotive Traction Motors of Taishet - Takshimo Northern Direction of the Eastern Polygon of Russian Railways **67**

The authors have established the starting up and operation of the electric locomotive of the Eastern Polygon of Russian Railways after long-term holding at a low temperature in winter, with increased power, current and winding temperature due to the transition of bearings from rolling mode to sliding behaviour, with a multiple increase in power, loss of friction in the roller-ring contacts of the bearing cause intensive ageing of insulation. It is proposed to heat up the traction motors during the holding.

Key words: Eastern Polygon of Russian Railways, low temperature in winter, long-term holding of an electric locomotive, increased power of traction motors during starting up

D.G. Evseev, R.S. Seleznev Universalisation of Rolling Stock on Example of Container Transportation in Open-Box Cars **70**

The article considers the alternative ways of transporting containers, as a result of which the empty mileage can be minimized and the shortage of fitting platforms can be leveled, which will give the greatest economic effect for all participants in the freight transportation process.

Key words: rolling stock for general use, specialized rolling stock, open-box car, fitting platform

S.P. Vakulenko, A.M. Nasybullin, L.R. Aisina Technical and Technological Solutions for Receiving Trains on Electrified Traction on Loading and Unloading Track with Partial Refusal to Use Contact Network within Railway Loading Complex **76**

The article is a continuation of the series of publications on «Cold Express» and describes the problem of ensuring the implementation of freight operations with the train set driven by electric locomotives. Taking into account the existing experience, the authors propose a technology the arrival on the loading and unloading track is carried out by coasting regime (in the stopping regime) with the lowered current collectors.

Key words: freight train set, freight train receiving, combination of processes, train receiving by coasting regime

E.S. Vlasova, M.L. Okulova, Yu.V. Zavyalova, M.V. Peskov **86**

Analysis of Human Factor Impact on Railway Transport Sub-processes.

The authors have analysed the sub-processes of transportation activities in railway transport for 2021, and the increased risk zones of sub-processes were identified. The analysis was carried out and the dependence of the number of transport accidents on the profession and the length of service of employees was established, the causes of transport violations were determined.

Key words: transportation activity, sub-process, transport violation, experience, reason, safety culture

O.Yu. Emelyanov, O.Yu. Krivich, I.K. Sergeev **91**

Safe Operation of Cars with Elements Made of Anisotropic Materials.

The article provides a justification for increasing the carrying capacity of railway transport by introducing railway cars with elements made of composite materials. The technical and economic indicators of such car have been determined. The authors consider the issue of ensuring the operation safety of the lightweight cars. A numerical experiment was carried out to assess the danger of squeezing lightweight cars during braking.

Key words: increase of carrying capacity, automatic brakes, car dynamics, traffic safety

Modelling of transport processes

A.N. Yashnov, M.G. Ryumin **97**

Forecasting Algorithmisation of Change in Technical Condition of Railway Artificial Structures

To predict the state of artificial structures on railway transport, in which they will be in N^{th} years, it is necessary to implement the algorithm considered in the article. The paper shows how the probability model is calculated when the structure changes from one technical condition to another. The calculation was made for the metal bridge.

Key words: railways, artificial structures, forecasting, algorithm, probabilistic model, numerical score

A.A. Taran, E.N. Taran, V.A. Bugreev, S.A. Morenko **102**

Remote Monitoring System for Ship Equipment Condition of Unmanned Vessel

The authors have analysed the directions and methods of monitoring of unmanned vessel technical systems, and the forecasting the behaviour of these systems. A system has been developed for ship equipment monitoring of an unmanned vessel and the predicting its condition based on the Elman recurrent neural network.

Key words: unmanned vessel, system monitoring, ship equipment, equipment condition forecasting

Safety of human activity

Yu.V. Dementieva, S.D. Tatarintsev **106**

Investigation of Causes of Road Traffic Injuries at Railway Enterprises

The article describes the procedure and results of a correlation study of the causes of accidents occurred at Russian Railways enterprises as a result of road traffic accidents. The hypothesis of the influence of traffic violations on the statistical indicators of industrial road traffic injuries has been confirmed. The authors note the significance of the obtained correlation relationships as very high.

Key words: road traffic accident, industrial road traffic injuries

N.P. Gelyukh, V.A. Aksyonov, A.V. Pashkov **110**

Use of Engineering Structure Monitoring Systems to Ensure Safety of Transport Infrastructure Construction Facilities

The article presents the authors' view on the need to improve the tools for condition monitoring of the construction structures subjected to dynamic impacts, and to consider the systems for monitoring the stressed-deformed state of structures in real time operation mode to predict and prevent technogenic accidents and disasters.

Key words: safety of buildings and structures of transport infrastructure, labour safety, risk analysis

ОБЪЕДИНЕННЫЙ УЧЕНЫЙ СОВЕТ ОАО «РЖД» ОТ 22 ФЕВРАЛЯ 2023 ГОДА

Заседание Объединенного ученого совета открытого акционерного общества «Российские железные дороги» состоялось 22 февраля 2023 года с повесткой дня: «Формирование научно обоснованных предложений по выполнению научных исследований и разработок, обеспечивающих системное повышение эффективности и качества управления перевозочным процессом с учетом возможностей цифровых технологий, в условиях изменения структуры и направления транспортно-логистических потоков».

В рамках указанной проблемы учеными РУТ (МИИТ) представлен доклад на тему «Научно обоснованные предложения по выполнению научных исследований и разработок, обеспечивающих системное повышение эффективности и качества контейнерных перевозок в условиях изменения структуры и направлений транспортно-логистических потоков».

В результате обсуждения ученый совет отметил, что:

- потребность в контейнерных перевозках не удовлетворяется в полном объеме;
- существующий порядок планирования перевозок и нормирования передачи вагонопотоков по междорожным стыковым пунктам не учитывает специфику контейнерных перевозок, в результате чего возникает дисбаланс парков фитинговых платформ, вследствие чего на одних железных дорогах скапливаются вагоны, а на других их недостаточно;
- технология перевозки контейнеров в полувагонах требует развития и определения направлений эффективного применения;
- в связи с ростом контейнерных перевозок на сети железных дорог, возникшими затруднениями в их реализации в условиях кардинальной перестройки логистики грузопотоков, возникает необходимость комплексного подхода к решению данной проблемы.

В целях обеспечения устойчивого роста контейнерных и контрейлерных перевозок, повышения долгосрочной конкурентоспособности ОАО «РЖД» на рынке грузовых перевозок и качества транспортного обслуживания товаровладельцев, ускорения контейнерных перевозок в межгосударственном и внутриго-

сударственном сообщениях ученый совет рекомендовал ЦЖД ОАО «РЖД», ЦТЕХ ОАО «РЖД», ЦД ОАО «РЖД», ЦФТО ОАО «РЖД», ЦКИ ОАО «РЖД»:

1. В развитие Концепции комплексного развития контейнерного бизнеса в холдинге «РЖД» (принята в 2012 г.) разработать Программу развития контейнерных перевозок на российских железных дорогах, которая включала бы в себя вопросы организационного, информационного, методического, технологического и правового обеспечения с учетом состояния цифровых технологий и современных мировых трендов.

2. В рамках развития новых технологий решить следующие взаимосвязанные задачи:

- разработка технологии планирования перевозок в интерактивном режиме, минуя подачу заявок формы ГУ-12 с предоставлением отправителям возможности «покупать» контейнеро-места в составах поездов регулярного обращения и, исходя из принципа недискриминационного доступа, планировать перевозки с учетом плановой загрузки инфраструктуры;
- актуализация Методики расчета плана формирования вагонов с контейнерами государств — участников Соглашения и соответствующего программного обеспечения (утвержденные Методика и АРМ ПФК были разработаны в 2000-х годах);



Заседание Объединенного ученого совета открытого акционерного общества «Российские железные дороги»

- разработка плана формирования контейнерных поездов в увязке с планом формирования грузовых поездов и маршрутов.

3. Рассмотреть вопрос создания виртуальных логистических центров управления контейнерными и контейнерными перевозками. Наличие развитой информационной базы ОАО «РЖД» позволяют уже сейчас создать единую общедоступную информационную площадку для планирования и организации перевозок грузов в контейнерах.

4. При модификации динамической модели загрузки инфраструктуры (ДМЗИ) учесть особенности формирования контейнерных поездов дифференцированной длины.

5. Проработать возможность перевозок контейнеров в два яруса на основных направлениях контейнеропотоков, в том числе в коридоре «Север — Юг».

6. Запланировать проведение НИР, предусмотрев научную проработку таких вопросов, как разработка классификации терминалов по территориальному статусу, определение полигонов внедрения инновационной технологии терминальной переработки контейнеров, которая предполагает прямую перегрузку контейнеров между группами вагонов вместо дополнительных маневровых операций по их подбору перед подачей и уборкой на погрузочно-выгрузочные пути.

В целях повышения качества планирования и реализации контейнерных перевозок, эффективного развития станций и терминалов в соответствии с договорными обязательствами перевозчика и грузовладельцев ученый совет рекомендовал ЦД ОАО «РЖД», ЦФТО ОАО «РЖД», ЦКИ ОАО «РЖД»:

- предусмотреть организацию движения контейнерных поездов исключительно по твердым ниткам графика, зафиксировать их в Централизованной базе

данных грузового расписания (ЦБДГР) и использовать при согласовании заявок на контейнерные перевозки в ДМЗИ и при разработке Суточного клиентского плана погрузки (СКПП). Разработать форму долгосрочных трехсторонних договоров (грузоотправителя, оператора, перевозчика), предусматривающую взаимную ответственность за объем перевозок, предоставление инфраструктуры и возможности переработки;

- разработать методику разработки Плана формирования контейнеров, предусмотрев вывоз без подборки контейнеров по стыкам на контейнерных терминалах и площадках, с последующей переработкой в пути следования на более мелких станциях, либо в узлах и на грузовых дворах;

- разработать модель взаимодействия участников перевозки, исходя из укрупнения единицы измерения контейнеро-вагонопотока с «контейнера/вагона» на «КП/Пакет КП». Рассчитать оптимальные величины пакетов в различные направления, увязав их с графиком. При нарушении графика предусмотреть штрафные санкции;

- проработать строительство контейнерных терминалов на Дальневосточной железной дороге под согласованную с ЦД ОАО «РЖД» и ЦФТО ОАО «РЖД» технологию;

- запланировать строительство буферных станций (парков) по 5—10 путей, которые могли бы накапливать этот поток и при неравномерности движения можно было бы в оперативном, маневровом порядке подать эту группу вагонов и осуществить погрузку или выгрузку;

- проработать вопрос предоставления доступа операторов к информационным системам ОАО «РЖД» для осуществления цифрового и информационного контроля полной цепочки перевозки.



СТРАТЕГИЧЕСКИЕ ЦЕЛИ И СРЕДСТВА ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ СИСТЕМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ



А.В. Горелик



А.Н. Малых

В статье рассмотрены цели развития хозяйства автоматики и телемеханики ОАО «РЖД»; сформулирована оптимизационная задача, позволяющая осуществлять обоснованный выбор мероприятий в структурных подразделениях хозяйства; аргументирован переход к адресному расходованию средств при выборе видов технического обслуживания и ремонта систем железнодорожной автоматики и телемеханики.

Ключевые слова: железнодорожная автоматика и телемеханика, техническое обслуживание и ремонт, адресное расходование средств

EDN: CSEWHJ

Основной целью развития хозяйства автоматики и телемеханики является обеспечение потребной пропускной способности перегонов и станций при условии выполнения нормативных значений показателей безопасности и надежности функционирования систем железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ) и минимизации стоимости жизненного цикла этих систем.

Реализация указанной цели развития хозяйства может быть осуществлена за счет обновления систем ЖАТ, совершенствования технологий их технического обслуживания и ремонта.

При анализе целесообразности планирования и проведения тех или иных мероприятий, направленных на достижение вышеуказанной цели развития хозяй-

ства автоматики и телемеханики, необходима оценка выполнения следующих основных условий:

- эффективность мероприятия, подтвержденная снижением стоимости жизненного цикла систем ЖАТ (СЖЦ, млн руб), за счет наличия экономического эффекта, а также социального и (или) управленческого положительного результата;
- значение наличной пропускной способности, соответствующее функциональному ресурсу систем ЖАТ ($n_{\text{нал}}^{\text{ЖАТ}}$, пар поездов) не должно быть меньше значения потребной пропускной способности ($n_{\text{потр}}^{\text{ЖАТ}}$, пар поездов) [1];
- фактическое значение интенсивности опасных отказов систем ЖАТ (λ_o^{Φ} , 1/ч) должно быть меньше нормированной величины интенсивности опасных

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 370 научных и методических работ, в том числе трех монографий и четырех учебников. Имеет 61 патент на изобретения.

Малых Александр Николаевич, старший преподаватель кафедры «Системы управления транспортной инфраструктурой» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: влияние надежности и эффективности систем железнодорожной автоматики и телемеханики на перевозочный процесс. Автор 31 научных работ.

Курашева Гулистан Галымбаевна, аспирант кафедры «Системы управления транспортной инфраструктурой» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: анализ эффективности производственных процессов эксплуатации инфраструктуры железнодорожного транспорта. Автор шести научных работ.

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

отказов для соответствующих систем и устройств ЖАТ (λ_{oi}^H , $1/4$) (нормативные значения которых устанавливаются в документах [2–6]);

- фактическое значение коэффициента готовности по отказам первой и второй категории для объектов ЖАТ ($K_{r12}^{\Phi ЖАТ}$) для железнодорожных линий определенного класса и специализации не должно быть меньше соответствующего нормативного значения ($K_{r12}^{H ЖАТ}$) данного показателя (значения устанавливаются нормативными документами ОАО «РЖД»).

Таким образом, достижение поставленной цели предполагает оптимизацию функционирования структурных подразделений хозяйства автоматики и телемеханики, систем ЖАТ, при которой критерием оптимизации является минимальная стоимость жизненного цикла, а ограничениями — условия по критериям надежности, безопасности и пропускной способности:

$$n_{нал}^{ЖАТ} > n_{потр}^{ЖАТ}; \quad (1)$$

$$\forall i (\lambda_{oi}^{\Phi} > \lambda_{oi}^H); \quad (2)$$

$$K_{r12}^{\Phi ЖАТ} > K_{r12}^{H ЖАТ}, \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^N CЖЦ \rightarrow \min, \quad (4)$$

где N — совокупность всех систем ЖАТ;

i — отдельная система ЖАТ.

Фактическое значение коэффициента готовности по отказам первой и второй категории $K_{r12}^{\Phi ЖАТ}$ может быть рассчитано по формуле:

$$K_{r12}^{\Phi ЖАТ} = \frac{1}{1 + \lambda_{12}^{\Phi} \cdot \bar{T}_{B12}^{\Phi}},$$

где λ_{12}^{Φ} — фактическое значение интенсивности отказов систем ЖАТ 1 и 2 категорий за отчетный период, $1/4$;

$\bar{T}_{B12}^{\Phi}$ — фактическое значение среднего времени до восстановления после отказов систем ЖАТ 1 и 2 категорий, ч.

Нормативные значения соответствующих показателей ($K_{r12}^{H ЖАТ}$, λ_{12}^H) устанавливаются согласно [7]. Пример сравнения нормативных и фактических показателей надежности приведен в табл. 1.

Кроме того, при оценке ограничений по показателям надежности функционирования систем ЖАТ может использоваться прогнозное значение уровня риска (R^{np} , поездо-часы потерь) функционирования этих систем.

В соответствии с [8], значение $n_{нал}$ зависит не только от функционального ресурса систем ЖАТ, т.е. потенциальных технических возможностей, заложенных в проектах соответствующих типов систем

ЖАТ, но и от надежности этих систем — фактических значений интенсивностей отказов λ_{12}^{Φ} и $\bar{T}_{B12}^{\Phi}$. Следовательно, фактическое значение K_{r12}^{Φ} влияет на величину $n_{нал}$ железнодорожных участков, т.е. на выполнение неравенства (1), что должно учитываться при оценке нормативных значений $K_{r12}^{H ЖАТ}$ для различных железнодорожных участков.

В настоящее время, согласно [8], влияние отказов железнодорожной инфраструктуры и подвижного состава на наличную пропускную способность участков железных дорог, учитывается с помощью эмпирического усредненного коэффициента, который не отражает в полной мере степень влияния надежности систем ЖАТ на наличную пропускную способность. Таким образом, для уточнения задачи оптимизации (1)–(4), необходимо применить научно-обоснованную методику оценки влияния отказов СЖАТ на наличную пропускную способность, предполагающую использование дополнительных показателей. Данная методика предложена в [9].

Для достижения нормативного значения $K_{r12}^{H ЖАТ}$ в соответствии с неравенством (3), в том числе с учетом заданного значения $n_{потр}^{ЖАТ}$, наиболее эффективными мероприятиями являются:

- внедрение малообслуживаемых технических средств, систем и устройств ЖАТ с целью повышения производительности труда;
- совершенствование различных видов технического обслуживания и ремонта (ТО и Р) систем ЖАТ с учетом их технического состояния и условий эксплуатации;
- изменение организационной структуры хозяйства, предусматривающее репрофилирование дистанций СЦБ с выделением процессов текущего ремонта и ТО и Р аппаратуры и оборудования ЖАТ;
- внедрение технологии аутсорсинга и обслуживания систем и устройств ЖАТ сервисным методом;
- применение и функциональное развитие систем диагностики и мониторинга, совершенствование технологий обслуживания устройств ЖАТ с применением этих систем.

Реализация указанных выше мероприятий требует для каждого конкретного объекта ЖАТ выбора и обоснования по критерию максимальной эффективности (выражение (4) следующих управленческих решений:

- Выбор вида технологического обслуживания и ремонта СЖАТ (планово-предупредительное ТО и Р, ТО и Р по состоянию, ТО и Р по состоянию до отказа).
- Выбор метода технологической работы (на месте эксплуатации, вне места эксплуатации, эксплуатиру-

Таблица 1

Значения показателей надежности технических средств по управлению автоматике и телемеханики Центральной дирекции инфраструктуры за месяц (условные данные)

Дирекции	Коэффициент готовности по отказам 1 и 2 категории, $K_{г12}$			Интенсивность отказов 1 и 2 категории, $\lambda_{12}^{мес}$, 1/мес		
	допуст.	факт.	+/-, %	допуст.	факт.	+/-, %
Октябрьская	0,9935	0,9953	0,18	2,811	3,153	12,17
Калининградская	0,9966	0,9994	0,28	1,03	1,001	-2,82
Московская	0,9948	0,9972	0,24	2,765	2,092	-24,34
Горьковская	0,9895	0,9964	0,7	3,168	2,404	-24,12
Северная	0,9952	0,9974	0,22	1,806	1,562	-13,51
Северо-Кавказская	0,9974	0,9986	0,12	1,139	0,835	-26,69
Юго-Восточная	0,9978	0,9988	0,1	0,993	0,953	-4,03
Приволжская	0,9959	0,9966	0,07	2,043	1,806	-11,6
Куйбышевская	0,9989	0,9999	0,1	0,57	0,294	-48,42
Свердловская	0,9932	0,9972	0,4	2,681	1,716	-35,99
Южно-Уральская	0,996	0,9991	0,31	1,358	0,638	-53,02
Западно-Сибирская	0,9934	0,9985	0,51	2,528	1,675	-33,74
Красноярская	0,9942	0,9956	0,14	2,284	2,999	31,3
Восточно-Сибирская	0,9939	0,998	0,41	2,177	1,533	-29,58
Забайкальская	0,9946	0,997	0,24	3,14	2,564	-18,34
Дальневосточная	0,9943	0,9945	0,02	2,443	2,687	9,99
Сеть (ЦШ)	0,9948	0,9973	0,25	2,195	1,844	-15,99

ющей организации, методом аутсорсинга или контракта жизненного цикла).

3. Выбор перечня и периодичности различных работ по ТО и Р с учетом его вида и метода.

Использование различных видов ТО и Р с переменной номенклатурой и периодичностью работ позволит дифференцировать и в конечном счете минимизиро-

вать материально-технические и трудовые ресурсы для выполнения ограничений по уровню безопасности (2) и готовности (3) конкретных объектов ЖАТ с учетом их технического состояния и условий эксплуатации.

Наиболее значимой и наименее исследованной проблемой является научное обоснование необходимого

и достаточного перечня и периодичности работ по ТО и Р различных систем ЖАТ с учетом вышеуказанных ограничений и условий эксплуатации. Решение данной задачи может быть основано на статистическом анализе эффективности применения различных видов ТО и Р ЖАТ, построения математической модели, позволяющей найти и обосновать рациональную периодичность работ по обслуживанию устройств ЖАТ [10].

Периодичность технического обслуживания систем и устройств ЖАТ изменялась, что отражено в документах [10–12]. Анализ показывает, что в подавляющем большинстве случаев периодичность выполнения регламентных работ по контролю технического состояния и техническому обслуживанию устройств и систем ЖАТ имела тенденцию к увеличению. Распределение работ по периодичности их выполнения приведено на рисунке.

Рассмотрим значения показателей надежности функционирования основных систем ЖАТ на множестве перегонов и станций железных дорог РФ, приведенные в статистических отчетах ОАО «РЖД» за период с 2011 по 2020 годы включительно. Проанализируем количество отказов за год основных систем ЖАТ по вине работников хозяйства Ш, отнесенного к одному измерителю: для систем электрической централизации — к одной централизованной стрелке, для систем автоблокировки и полуавтоматической блокировки — к одному километру участков. При этом сравним два периода наблюдения: с 2011 по 2015 годы (период действия инструкций [10;11])

и с 2016 по 2020 годы (период действия инструкции [12] с изменениями).

Различия в рассматриваемых периодах оценивались с помощью непараметрического U-критерия Манна-Уитни [13] при уровне значимости $\alpha=0,05$. Результаты приведены в табл. 2.

Результаты расчетов показывают, что данные, приведенные за два исследуемых периода не имеют статистически значимых отличий, что свидетельствует об отсутствии значимого влияния увеличения периодичности технического обслуживания на динамику показателей надежности систем ЖАТ.

Проведенный анализ позволяет сделать вывод о целесообразности для каждого конкретного объекта ЖАТ осуществлять научно обоснованный выбор по критерию максимальной экономической эффективности следующих управленческих решений:

1. Выбор вида ТО и Р систем ЖАТ (планово-предупредительное ТО и Р, ТО и Р по состоянию, ТО и Р по состоянию до отказа).

2. Выбор метода технологической работы (на месте эксплуатации, вне места эксплуатации, эксплуатирующей организации, методом аутсорсинга или контракта жизненного цикла).

3. Выбор перечня и периодичности различных работ по ТО и Р с учетом его вида и метода.

Адресное экономически обоснованное применение различных видов ТО и Р с переменной номенклатурой и периодичностью работ позволит дифференцировать и, в конечном счете, минимизировать материально-

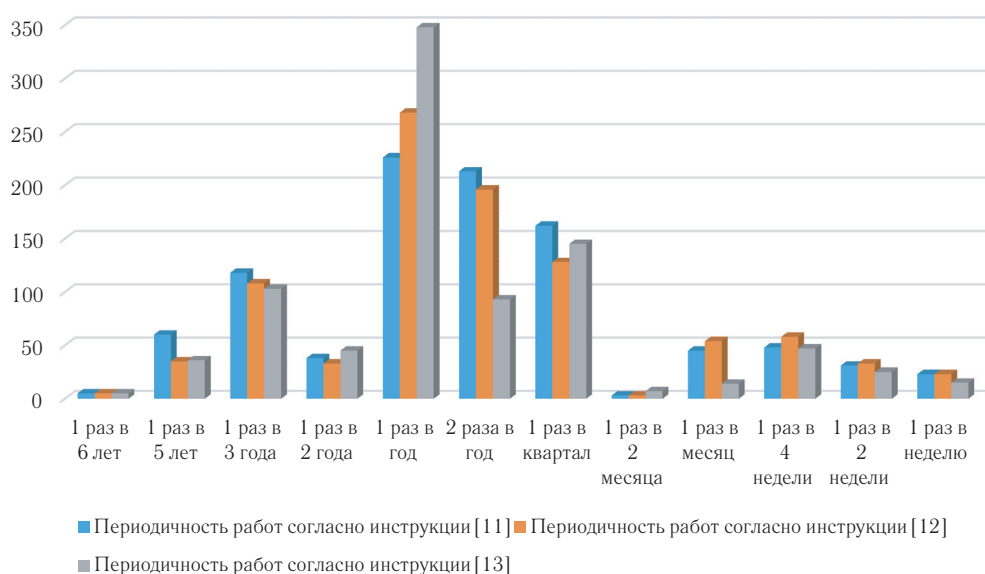


Рисунок. Распределение работ по периодичности их выполнения согласно различным нормативным документам

Таблица 2

**Результаты расчета показателей надежности основных систем ЖАТ
на железных дорогах РФ**

Период наблюдения	Годы	Приведенное количество отказов основных систем ЖАТ			Динамика изменения количества отказов относительно предыдущего года		
		ЭЦ, 1/стр	АБ, 1/км	ПАБ, 1/км	ЭЦ, %	АБ, %	ПАБ, %
Период 1	2011	0,04909	0,07722	0,00243	−6,86%	−7,19%	−28,56%
	2012	0,04791	0,07547	0,00360	−2,39%	−2,26%	48,07%
	2013	0,04337	0,06726	0,00287	−9,48%	−10,89%	−20,27%
	2014	0,04354	0,06678	0,00290	0,39%	−0,71%	1,07%
	2015	0,04085	0,06313	0,00281	−6,18%	−5,46%	−3,27%
Период 2	2016	0,04144	0,06477	0,00223	1,45%	2,60%	−20,77%
	2017	0,04150	0,06214	0,00241	0,15%	−4,07%	8,37%
	2018	0,04066	0,05635	0,00215	−2,02%	−9,32%	−10,76%
	2019	0,03969	0,05568	0,00260	−2,38%	−1,19%	20,93%
	2020	0,04220	0,05337	0,00358	6,30%	−4,15%	37,69%
Значение статистического U-критерия Манна-Уитни					3,00	6,00	7,00
p – уровень значимости					0,097	0,333	0,433
Вывод					различий нет	различий нет	различий нет

технические и трудовые ресурсы для выполнения ограничений по уровню безопасности (2) и готовности (3) для конкретных объектов ЖАТ с учетом их технического состояния и условий эксплуатации.

При этом следует учитывать, что любое техническое или организационное мероприятие, инвестиционный проект, реализуемый в хозяйстве автоматики и телемеханики, должен в первую очередь оцениваться по критерию экономической эффективности и обеспечивать экономию инвестиционных затрат, эксплуатационных расходов, увеличение доходов от перевозок и других видов деятельности, повышение эффективности управленческих решений в части планирования и организации производственной деятельности хозяйства. В первую очередь планируемые мероприятия, проекты и ключевые инициативы должны быть направлены на повышение производительности труда в структурных подразделениях хозяйства автоматики и телемеханики ОАО «РЖД». Любое мероприятие будет являться эффективным при условии снижения стоимости жизненного цикла (СЖЦ) систем ЖАТ и сохранении эксплуатационных и иных показателей деятельности структурных подразделений хозяйства автоматики и телемеханики в пределах установленных нормативных значений. 

Литература

1. Оценка функционального ресурса систем железнодорожной автоматики и телемеханики / А. В. Горелик, А. С. Веселова, И. А. Журавлев, П. А. Неваров, А. В. Орлов, П. В. Савченко, Н. А. Тарадин. - МГУПС (МИИТ) : Москва, 2015. - 27 с. - Текст : непосредственный.
2. ГОСТ 33893-2016. Системы железнодорожной автоматики и телемеханики на железнодорожных переездах. Требования безопасности и методы контроля = Railway automatics and telemechanics systems on railway crossings. Safety requirements and methods of checking : национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по тех-

А.В. Горелик, А.Н. Малых, Г.Г. Курашева, Т.С. Щедрина
«СТРАТЕГИЧЕСКИЕ ЦЕЛИ И СРЕДСТВА ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ СИСТЕМ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ»

ническому регулированию и метрологии от 30 марта 2017 г. №222-ст.: дата введения: 2017-11-01. - Москва : Стандартинформ, 2019. - 11 с. - Текст : непосредственный.

3. ГОСТ 33894-2016. Системы железнодорожной автоматики и телемеханики на железнодорожных станциях. Требования безопасности и методы контроля = Railway automatics and telemechanics systems on railway stations. Safety requirements and methods of checking : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 31 марта 2017 г. №233-ст.: дата введения: 2017-11-01. - Москва: Стандартинформ, 2019. - 26 с. - Текст : непосредственный.

4. ГОСТ 33895-2016. Системы железнодорожной автоматики и телемеханики на перегонах железнодорожных линий. Требования безопасности и методы контроля = Railway automatics and telemechanics systems on stages of railroad lines. Safety requirements and methods of checking : национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 31 марта 2017 г. №234-ст.: дата введения: 2017-11-01. - Москва: Стандартинформ, 2019. - 10 с. - Текст: непосредственный.

5. ГОСТ 33896-2016. Системы диспетчерской централизации и диспетчерского контроля движения поездов . Требования безопасности и методы контроля = Centralized traffic and dispatching control systems of trains movement. Safety requirements and methods of checking : национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 31: национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 30 марта 2017 г. №222-ст.: дата введения: 2017-11-01. - Москва: Стандартинформ, 2019. - 19 с. - Текст : непосредственный. 31 марта 2017 г. №235-ст.: дата введения: 2017-11-01. - Москва: Стандартинформ, 2019. - 11 с. - Текст : непосредственный.

6. ГОСТ 34012-2016. Аппаратура железнодорожной автоматики и телемеханики. Общие технические требования = Railway automatics and telemechanics equipment. General technical requirements : национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 31 марта 2017 г. №230-ст.: дата введения: 2017-10-01. - Москва: Стандартинформ, 2019. - 45 с. - Текст : непосредственный.

7. Методика оценки рисков, связанных с функционированием систем железнодорожной автоматики и телемеханики ОАО «РЖД» : утверждена распоряжением ОАО «РЖД» от 01.12.21 г. - №3031р. - Текст : непосредственный .

8. Инструкция по расчету наличной пропускной способностей железных дорог ОАО «РЖД» : утверждена распоряжением ОАО «РЖД» от 01.12.21 г №545р. - Текст : непосредственный.

9. Малых, А. Н. Оценка влияния отказов систем железнодорожной автоматики на наличную пропускную способность перегонов / А. Н. Малых. - Текст : непосредственный // Наука и техника транспорта. - 2019. - №3. - С. 15-17.

10. Горелик, А. В. Определение периодичности работ по техническому обслуживанию систем железнодорожной автоматики и телемеханики / А. В. Горелик, А. Н. Малых, А. В. Орлов . - Текст : непосредственный // Наука и техника транспорта. - 2021. - № 4. - С. 26-29.

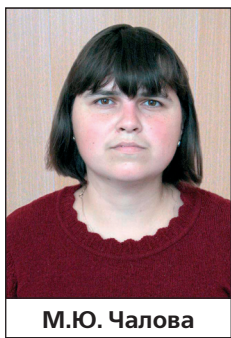
11. Инструкция по технической эксплуатации устройств и систем сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ) ЦШ-720-09, утверждена распоряжением ОАО «РЖД» от 22.10.2009 г. №2150р . - Текст : непосредственный

12. Инструкция по технической эксплуатации устройств и систем сигнализации, централизации и блокировки, утверждена распоряжением ОАО «РЖД» от 17.04.2014 г. №939р. - Текст : непосредственный .

13. Инструкция по техническому обслуживанию и ремонту устройств и систем сигнализации, централизации и блокировки, утверждена распоряжением ОАО «РЖД» от 30.12.2015 г. №3168р (в ред. распоряжения ОАО «РЖД» от 01.09.2016 №1795р и распоряжения ОАО «РЖД» от 18.02.2019 №286р). - Текст : непосредственный.

14. Кобзарь, А. И. Прикладная математическая статистика: для инженеров и научных работников / А. И. Кобзарь. - Москва : Физматлит, 2006. - 813 с (Современные методы в математике). - ISBN 5-9221-0707-0. Текст : непосредственный.

ОЦЕНКА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ЩЕБНЕОЧИСТИТЕЛЬНЫХ МАШИН НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЗАСОРЕННОСТИ И ВЛАЖНОСТИ БАЛЛАСТНОГО СЛОЯ



М.Ю. Чалова



П.А. Григорьев

В связи со значительным износом парка существующих щебнеочистительных машин необходима разработка современных моделей, обеспечивающих наибольшую энергоэффективность при выполнении работ. В настоящее время при проектировании машин для вырезки балластного слоя не учитывается ряд параметров, которые значительно снижают их фактическую выработку, что требует корректировки.

Ключевые слова: щебнеочистительные машины, загрязненность балластного слоя, влажность балласта, производительность

EDN: MEEVGZ

В соответствии с Распоряжением ОАО «РЖД» от 17 апреля 2018 г. №769/р. Об утверждении стратегии научно-технологического развития холдинга «РЖД» на период до 2025 года и на перспективу до 2030 года (Белая книга)» одной из приоритетных целей при развитии путевого хозяйства в нашей стране является «... формирование единого транспортного пространства России на базе сбалансированного опережающего развития эффективной транспортной инфраструктуры [1]. Для достижения данной цели необходимо решение огромного спектра задач, в частности к ним относятся повышение производительности, качества и энергоэффективности выполняемых работ по ремонту и текущему содержанию пути.

Наиболее энергозатратным из всего перечня путевых работ, которые установлены Распоряжением ОАО

«РЖД» от 17.12.2021 №2888/р. Правила назначения ремонтов железнодорожного пути [2], является выполнение капитальных ремонтов пути. При проведении данного вида ремонтов наиболее сложными и требующих затрат времени, являются те, которые связаны с очисткой балластного слоя от засорителей. В настоящее время для выполнения данного технологического процесса используются современные щебнеочистительные машины (ЩОМ) с рабочими органами барового типа.

Для эффективного применения ЩОМ важна согласованная и стабильная работа трех основных систем:

- вырезающего устройства;
- конвейерной системы;
- очистного устройства (грохота).

Чалова Маргарита Юрьевна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Наземные транспортно-технологические средства» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: исследование рабочих процессов, повышение энергоэффективности и надежности путевых машин нового поколения. Автор более 60 научных работ.

Григорьев Павел Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Наземные транспортно-технологические средства» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: исследование и оптимизация процессов взаимодействия рабочих органов землеройных и путевых машин. Автор более 45 научных работ.

Для каждой из перечисленных систем возможно возникновение внештатных ситуаций, влияющих на работу комплекса в целом:

- для вырезающего устройства наибольшую проблему представляют цементация (излишняя уплотненность балласта), а также незакрепленные шпалы. При устранении участков со сцементированным балластом происходит остановка машины. Время, затрачиваемое на демонтаж и передвижку шпал, а также разрыхление балласта, значительно влияет на выработку и продолжительность «окна»;

- для конвейерной системы наибольшую проблему представляет его переполнение, вследствие которого необходимо снижать скорость движения машины и глубину обработки подшпальной зоны;

- для грохота свойственна проблема переполнения и засорения нижних сит. Работа грохота в значительной степени зависит от состояния балласта — его влажности и засоренности, типа балласта, содержания примесей и растительности. Кроме того, необходимо регулировать поток щебня, не допуская переполнения грохота.

Большое влияние на производительность грохотов оказывает площадь поверхности сит. В соответствии с ростом производительности ЩОМ, увеличиваются количество и габаритные размеры грохотов, поэтому производительность щебнеочистительной техники определяется производительностью грохота.

Так, заявленная производительность щебнеочистительной машины ЩОМ-1400 обусловлена установкой двух грохотов типа ГИТ-700К с производительностью по 700 м³/ч каждый.

Современные высокопроизводительные машины для очистки балластного слоя во время эксплуатации не обеспечивают производительность, указанную заводом-изготовителем. Это связано с несовершенством методик расчета основных параметров ЩОМ. Расчет производительности ЩОМ осуществляется по приближенным формулам.

Производительность, м³/ч, вырезающего устройства, [3]:

$$\Pi(B, h, k_p, \vartheta_m) = Bh\vartheta_m k_p, \quad (1)$$

где B — ширина вырезаемого слоя щебня, м;

h — высота вырезаемого слоя щебня, м;

ϑ_m — рабочая скорость движения (подачи) машины, м/с;

k_p — коэффициент разрыхления щебеночного балласта.

Расчетная производительность по данной методике зависит только от геометрических параметров рабочей зоны баровой цепи и скорости подачи машины, но не зависит от коэффициента заполнения меж-

скребкового пространства, который определяется из соотношения скоростей движения машины и скребковой цепи.

Производительность, м³/ч, грохота определяется по следующей зависимости, [4]:

$$Q_{гр} = qFk_1k_2k_3m, \quad (2)$$

где q — удельная производительность грохота для заданного размера сита, м³/(м²/ч);

k_1 — коэффициент, учитывающий процентное содержание засорителей в вырезаемом щебне;

k_2 — коэффициент, учитывающий содержание в засорителях частиц, размер которых меньше половины размера отверстия нижнего сита;

k_3 — коэффициент, учитывающий угол наклона сита;

m — коэффициент, учитывающий возможную неравномерность питания, форму частиц и тип грохота (для щебня и наклонного грохота $m=0,5$).

Важным показателем ЩОМ для организации технологического «окна» является выработка машины в «окно», которая показывает протяженность пройденного машиной в процессе работы участка. Производители ЩОМ предпочитают оставлять расчет выработки эксплуатирующим организациям, так как не имеют возможности определить условия работы и состояние щебеночного балласта на выбранном участке.

Выработка машины в «окно», м, определяется по формуле [5]:

$$L = \vartheta_m t_p, \quad (3)$$

где L — протяженность очищенного пути, м;

$\vartheta_m = Q/bh$ — скорость движения машины; м/ч;

Здесь Q — производительность машины, м³/ч;

b — ширина зоны вырезки щебеночного балласта, м;

h — высота (толщина) вырезаемого слоя балласта, м;

t_p — время работы щебнеочистительной машины, ч (без учета зарядки/разрядки машины, замены рулонов геотекстиля и т.д.).

Параметры b и h определяются конструктивными особенностями вырезающего устройства — шириной подпутьной балки и высотой баровой цепи с учетом заглубления всего вырезающего устройства.

В соответствии с ТЗ и ТУ, а также ГОСТ 32215-2013 [6] производительность ЩОМ обеспечивается только при исходной засоренности балласта 35% и влажности до 5% [7].

В настоящее время ОАО «РЖД» решает эту проблему с использованием поправочных коэффициентов (табл. 1). Согласно [5], нормы выработки ЩОМ в «окно» определены при работе на перегоне длиной

10 км на прямых участках пути с щебеночным балластом, имеющем в своем составе до 30% засорителей, с влажностью не более 5%.

Главный недостаток подобного подхода — невозможность учесть промежуточные значения (засоренность в интервале от 30 до 40%, от 40 до 60%, свыше 60%, аналогично и с влажностью балласта). Также при определении производительности не учтено влияние наличия сцементированных участков и незакрепленных шпал.

По сравнению с теоретической, фактическая выработка при проведении работ по очистке балластного слоя с использованием ЩОМ значительно снижается (рис. 1). Это связано с тем, что при расчете производительности машин данного класса на стадии проектирования не учитываются все влияющие эксплуатационные факторы, такие как засоренность, влажность и т.д.

На примере щебнеочистительного комплекса ЩОМ-1200 рассмотрим влияние засорителей на производительность. Приведенные данные не учитывают влажность щебеночного балласта и тоннаж (табл. 2). Номинальная производительность ЩОМ-1200, заявленная заводом-изготовителем, составляет 1200 м³/ч.

Согласно [5], при засоренности больше 40 % при пропущенном тоннаже свыше 200 млн т и влажности

больше 5% выработка должна составлять 360 м³/ч. Таким образом, проведя анализ результатов, полученных АО «ВНИКТИ» (табл. 2), максимальная производительность снижается на 40,5%; при засоренности 46,3% производительность при стабильной работе на 65,66%. На работу ЩОМ влияет также состояние щебеночного балласта, при одинаковой влажности 17,5%, но при различном состоянии балластного слоя производительность снижается на 32,14%. Оценить достоверность предложенной ОАО «РЖД» инструкции невозможно так как нет данных о пропущенном тоннаже и влажности.

В табл. 3 представлены данные об изменении производительности в зависимости от засоренности для разных ЩОМ исходя из их фактической наработки.

По данным АО «ВНИКТИ» производительность ЩОМ-1400 составляет 480–506 м³/ч (табл. 3) достигается при влажности 92% и при пропущенном тоннаже 809 млн т брутто. Таким образом, влажность существенно влияет на производительность щебнеочистительных машин.

При работе на балластах с влажностью более 5% наблюдается снижение качества очистки из-за «замазывания» ячеек металлических сит липким засорителем. Содержание засорителей в очищенном щебне возрастает в два и более раза. Это

Таблица 1

Показатели изменения норм выработки

Критерий		Изменение выработки, %
При работе на однопутных участках пути		+25
При работе машины на участках с уплотненным балластом		–15
При работе на сильно уплотненном и загрязненном балласте (засоренность свыше 40% и с пропущенным тоннажем свыше 200 млн т)		–30
При влажности свыше 5%		–30
При работе на перегонах длиной более 10 км	11–20 км	–2
	21–30 км	–6
	31–40 км	–10
При работе машин с укладкой геотекстиля		–10
При укладке пенополистирола		–15
При работе в пределах пассажирских платформ		–35
При повторной очистке балласта		+35
На участках с деревянными шпалами		+3
При работе в кривых участках пути с возвышением 5 см и более нормы выработки в «окно»		–10
При работе на неэлектрифицированных участках пути		+10

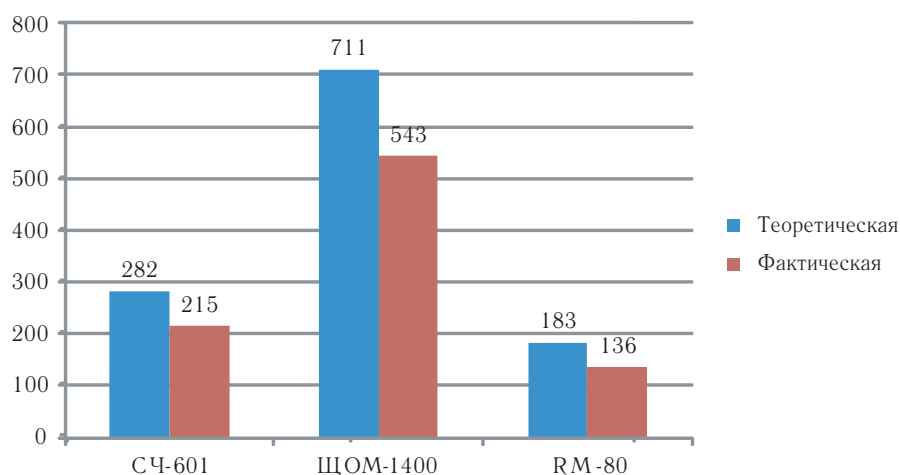


Рис. 1. Сравнение теоретической и фактической выработки ЩОМ

Таблица 2

Зависимость производительности ЩОМ-1200 от засоренности

Железная дорога	Засоренность, %	Максимальная производительность, м ³ /ч	Производительность (стабильная работа), м ³ /ч
Северо-Кавказская	33,9	979	784
	46,3	714	412
Куйбышевская	17,5	1230	756 (на уплотненном 530)
Московская (Горбачево – Арсеньево)	33,6	1024	Нет данных
	>60	Нет данных	<430
Московская	17,5	980–1000	850

Таблица 3

Влияние засоренности на производительность ЩОМ

Машины	Засоренность, %	Производительность, м ³ /ч	Заявленная производительность, м ³ /ч
СЧ-601	58–59	363	500
RM-80	58–59	148	650
ЩОМ-6У	58	415	800
ЩОМ-1400	24–33	480–506	1400

приводит к сокращению межремонтных сроков и возникновению выплесков на данных участках уже через 3...5 лет [8].

По данным АО «ВНИКТИ» (см. табл. 2,3), была построена зависимость производительности от засо-

ренности в процентном соотношении, без учета влажности щебеночного балласта (рис. 2).

По полученной зависимости установлено, что при засоренности больше 30% происходит резкое снижение производительности.

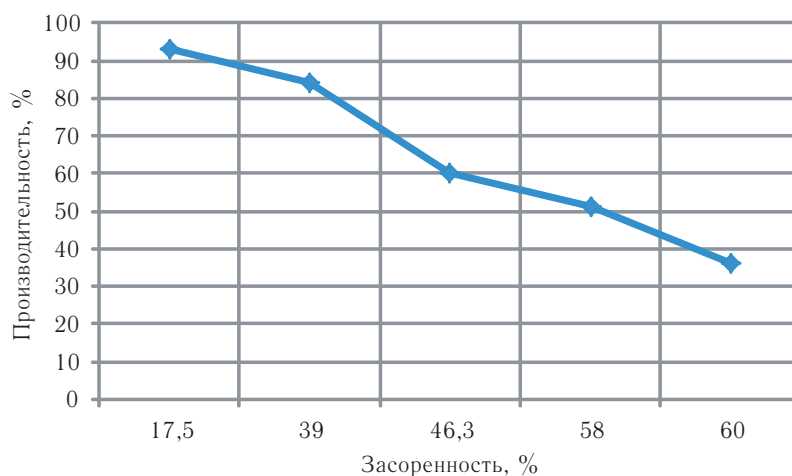


Рис. 2. Влияние засоренности на производительность ЩОМ

Заключение

В настоящее время заводами-изготовителями практически не учитываются эксплуатационные факторы, влияющие на производительность ЩОМ нового поколения. Указанные показатели в производительности машин данного типа в технических характеристиках не соответствуют фактической выработке машин. Для решения этой проблемы ОАО «РЖД» было предложено введение поправочных коэффициентов для определения фактической выработки машин в «окно» с целью определения продолжительности выполнения работ, но данные корректировки не в полной мере учитывают все эксплуатационные факторы. При определении производительности по существующим нормам учитываются изменения влажности и засоренности балластного слоя в больших диапазонах. На взгляд авторов, необходимо провести экспериментальные исследования, целью которых будет являться определение рациональности введения дополнительных коэффициентов (с дискретностью для загрязненности в 1 %, а для влажности 0,5 %) с целью определения фактической выработки машин уже на стадии проектирования. Данные изыскания позволят повысить энергоэффективность ЩОМ и наиболее точно определять необходимую продолжительность технологических «окон» для производства работ, а также с большей точностью оценивать показатели надежности ЩОМ в зависимости от условий эксплуатации.



Литература

1. Распоряжение ОАО «РЖД» от 17 апреля 2018 г. №769/р. Об утверждении стратегии научно-технологического развития холдинга «РЖД» на период до 2025 года и на перспективу до 2030 года (Белая книга). - Текст: непосредственный.
2. Распоряжение ОАО «РЖД» от 17.12.2021 №2888/р. Правила назначения ремонтов железнодорожного пути». - Текст : непосредственный.
3. Ковальский, В. Ф. Системный анализ и синтез статических и динамических параметров гидрообъемного привода скребковой цепи щебнеочистительных машин : специальность 05.02.02 «Машиноведение, системы приводов и детали машин (технические науки)» : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Ковальский Виктор Федорович ; Моск. гос. ун-т путей сообщ. (МИИТ) . - Москва, 2005. - 240 с. - Текст : непосредственный.
4. Бауман, В. А. Вибрационные машины и процессы в строительстве: учебное пособие для студентов строительных и автомобильно-дорожных вузов / В. А. Бауман, И. И. Быховский. - Москва : Высшая школа, 1977. - 255 с. - Текст: непосредственный.

5. Распоряжение ОАО «РЖД» от 25 февраля 2019 г. №348/р . Об утверждении Инструкции о порядке планирования, разработки, предоставления и использования технологических «окон» для ремонтных и строительно-монтажных работ в ОАО «РЖД» . - Текст: непосредственный.

6. ГОСТ 32215-2013 . Машины для вырезки, очистки, дозирования балласта, оздоровления и ремонта земляного полотна. Общие технические требования = Machines for cutting out, cleaning, forming of ballast and repair of railway bed. General technical requirements : национальный стандарт : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 8 ноября 2013 г. № 1467-ст : введен впервые : дата введения 2014-06-01 / Разработан Федеральным государственным унитарным предприятием «Всероссийский научно-исследовательский институт стандартизации и сертификации в машиностроении» (ВНИИНМАШ) . - Москва : Стандартинформ, 2014. - 15 с. - Текст : непосредственный.

7. СТО РЖД 1.09.001-2006 . Метод расчета производительности плоских вибрационных грохотов щебнеочистительных машин железнодорожного пути : дата принятия 01 января 2006 г. - Москва : ОАО «РЖД», 2006. - 16 с. - Текст: непосредственный.

8. Краснов , О. Г. Повышение эффективности глубокой очистки балласта железнодорожного пути совершенствованием щебнеочистительных устройств : специальности 05.22.06 «Железнодорожный путь, изыскание и проектирование железных дорог» ; 05.05.04 «Дорожные, строительные и подъемно-транспортные машины» (технические науки) : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Краснов Олег Геннадьевич / Санкт - Петербургский государственный университет путей сообщения . - Санкт-Петербург, 2002. - 24 с.

ПРОБЛЕМЫ СОЗДАНИЯ ТЕПЛОВОЗОВ ДЛЯ ЛИНИЙ С НЕБОЛЬШОЙ ИНТЕНСИВНОСТЬЮ ДВИЖЕНИЯ



А.С. Космодамианский



В.И. Воробьев

Рассмотрена задача поиска решений для замены тепловозов М62 и 2М62. В результате проведенного анализа выбран перспективный тепловоз для замены, предложены создание на его базе ряда тепловозов для пассажирского и грузового движения, а также меры по модернизации экипажной части тепловоза и ее узлов. На предложенные авторами решения по теме статьи получены четыре патента на полезные модели.

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

EDN: EMJJMW

Для линий с небольшой интенсивностью движения на отечественных железных дорогах длительное время использовались тепловозы М62 и 2М62, при этом последние фактически заменили собой тепловозы ТЭЗ. Тепловоз М62, разработанный в первой половине 60-х годов прошлого века для поставок на экспорт, морально устарел примерно к 80-м годам прошлого века, когда в отрасли обсуждался вопрос о создании новой аналогичной машины. Однако в связи с существовавшей в то время необходимостью сосредоточиться на решении задач по созда-

нию мощных магистральных тепловозов, предложения развития не получили.

К основным недостаткам тепловозов серии М62 относились:

- применение двухтактного дизеля 14Д40, основанного на решениях созданного в 30-е годы дизеля 30Д, и исчерпавшего к 80-м годам возможности снижения расхода топлива;
- применение коллекторного генератора постоянного тока ГПТЗ12, который менее надежен, чем синхронные;

Космодамианский Андрей Сергеевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Тяговый подвижной состав» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: автоматизация агрегатов и систем тягового подвижного состава, электрические передачи локомотивов. Автор 438 научных работ, в том числе 27 монографий, одного учебника и 25 учебных пособий. Имеет 128 патентов РФ.

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

Измеров Олег Васильевич, главный консультант отдела информационных систем хозяйственного управления Администрации губернатора Брянской области и Правительства Брянской области. Область научных интересов: динамика и методы конструирования тяговых приводов рельсового подвижного состава. Автор 83 научных работ, в том числе 20 монографий и десяти учебников. Имеет 90 патентов РФ.

Копылов Степан Олегович, инженер-конструктор ООО «ТМХ Инжиниринг». Область научных интересов: электрические передачи локомотивов, тяговый и вспомогательный электроприводы. Автор 34 научных работ, в том числе трех монографий и одного учебного пособия. Имеет 19 патентов РФ.

Николаев Евгений Владимирович, доцент кафедры «Тяговый подвижной состав» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: электрические передачи локомотивов, тяговый и вспомогательный электроприводы. Автор 21 научной работы, в том числе одной монографии. Имеет 10 патентов РФ.

- гидромеханический и механический привод вспомогательных машин и агрегатов, ограничивавший возможности снижения расхода энергии на вспомогательные нужды и расхода средств на ремонт и обслуживание.

В результате, несмотря на модернизированную серию 2М62У, позволившую работать на длинных тяговых плечах, данные тепловозы в целом можно рассматривать как неудачные для отечественной дорожной сети. В связи с этим уже в 90-х годах начались попытки модернизации тепловозов на отечественных дорогах, с заменой дизеля на 5-2Д49, ранее применявшийся на тепловозе ТЭМ7, однако число модернизированных тепловозов было незначительным. Примерно 20 лет назад началась модернизация тепловозов М62, эксплуатируемых дорогами зарубежных стран, с применением как дизель-генератора 5-26ДГ-01 российского производства, так и дизелей зарубежных фирм, в частности, Caterpillar.

В настоящее время модернизация тепловозов серии М62 теряет смысл, поскольку последние тепловозы данной серии были построены более 20 лет назад. Создание новой серии тепловозов на замену М62 сталкивается с проблемой рационального выбора конструктивных решений локомотива. Предлагаемая статья является попыткой решения данной проблемы.

Объект исследования

Тепловозы серии М62 и их модификации достаточно подробно описаны в технической литературе, в связи с чем приведение в статье сведений об их устройстве излишне. Имеет смысл остановиться лишь на следующих основных выводах:

- тепловозы данного класса оправданно создавать в расчете как на возможность экспорта для зарубежных железных дорог, так и для отечественного рынка, чтобы добиться более стабильного спроса (количе-

ство произведенных секций тепловозов М62, 2М62, 2М62У превышает 4000, в то время как число тепловозов семейства ТЭ109, производимых в основном на экспорт, составило примерно 1000).

- тепловозы должны быть по возможности унифицированы с магистральными тепловозами отечественных железных дорог, для повышения серийности производства комплектующих изделий.

Требование экспорта данных тепловозов диктует необходимость использования европейского габарита, что делает нецелесообразным использование тепловозов данного мощностного класса в двухсекционном варианте. Отсюда вытекают области использования таких тепловозов на отечественных железных дорогах:

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

Кроме того, в западных регионах также имеет смысл эксплуатация тепловозов с европейским габаритом и возможностью быстрой переделки их на колею 1435 мм.

Возможности производства в России тепловозов для линий с небольшой интенсивностью движения

В настоящее время в России имеются два основных производителя магистральных тепловозов — это «Трансмашхолдинг» и холдинг «Синара-Транспортные Машины».

АО ЛТЗ (холдинг «Синара-Транспортные Машины») на базе экипажа маневрового тепловоза ТЭМ7 в 2012 году был создан односекционный тепловоз ТЭ8 (рис.1).

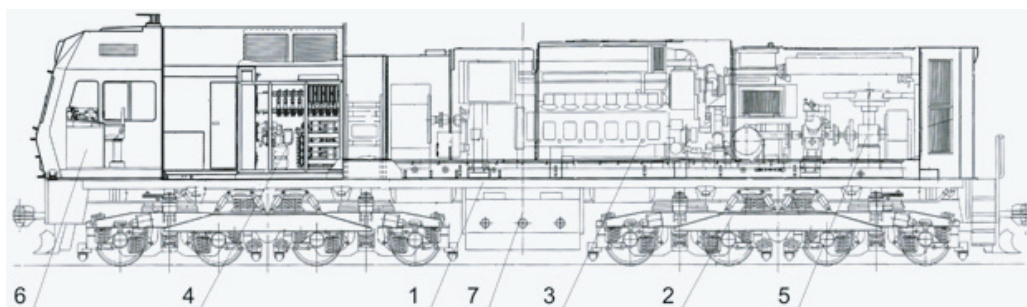


Рис. 1. Тепловоз ТЭ8: 1 – главная рама; 2 – тележка; 3 – дизель-генератор; 4 – высоковольтная камера; 5 – холодильная камера; 6 – кабина; 7 – топливный бак

Тепловоз длиной 21,5 м с дизелем мощностью 2430 кВт развивает в длительном режиме силу тяги 434 кН, и имеет нагрузку на ось 221 кН. Тепловоз построен в габарите 1-Т, имеет капотный кузов с главной рамой. К потенциальным достоинствам данного тепловоза относятся высокая сила тяги в длительном режиме, превышающая силу тяги тепловоза 2М62У.

Выполнению тепловоза в габарите 02-Т (02-ВМ) препятствует значительная ширина четырехосной тележки (примерно 3200 мм) вследствие размещения боковин промежуточной рамы снаружи тележек. Данная проблема может быть решена при использовании независимых двухосных тележек, опирающихся непосредственно на главную раму. Проект подобного тепловоза был предложен отечественным предприятием «Луганский тепловозостроительный завод» в 70-х годах (рис. 2).

Вариант с независимыми тележками исследовался при выборе экипажной части тепловоза ТЭМ7 [1]. В результате было установлено, что для тепловоза, предназначенного для следования по крутым кривым путей промышленного транспорта (радиус 80 м), такое решение нецелесообразно, в связи с чем была выбрана экипажная часть с промежуточной

рамой. Однако для магистрального тепловоза минимальный радиус проходимых кривых принимается равным 125 м, в связи с чем модификация экипажной части с четырьмя независимыми тележками вполне возможна.

К остальным сложностям создания тепловоза для малодействительных линий на базе ТЭ8 относятся следующие:

- использование импортного дизеля 7FDL производства США. Необходима конструктивная проработка варианта для европейского габарита с отечественным дизелем семейства ДМ-185, создаваемым той же группой «Синара-Транспортные Машины»;
- механический привод вспомогательных агрегатов.

Таким образом, силами АО «Людиновский тепловозостроительный завод» возможно создание магистрального тепловоза в европейском габарите на основе решений уже выпускаемых локомотивов, способного обеспечить вождение поездов до 4000 тонн, полностью заменяющего тепловозы М62 и 2М62У и частично — 2ТЭ10М, но это связано с существенным объемом работ по доводке экипажной части.

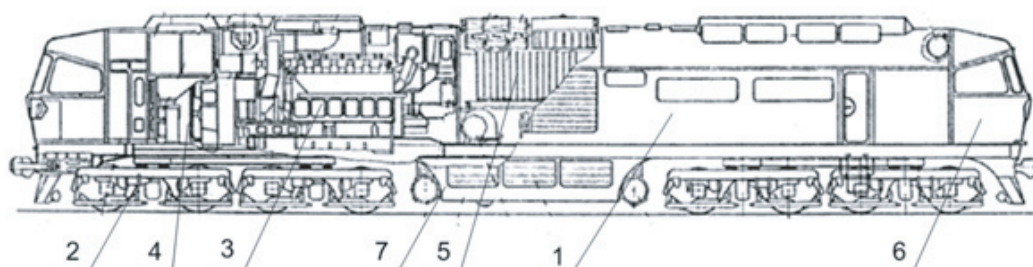


Рис. 2. Проект тепловоза 4410 кВт: 1 – кузов; 2 – тележка; 3 – дизель-генератор; 4 – высоковольтная камера; 5 – холодильная камера; 6 – кабина; 7 – топливный бак

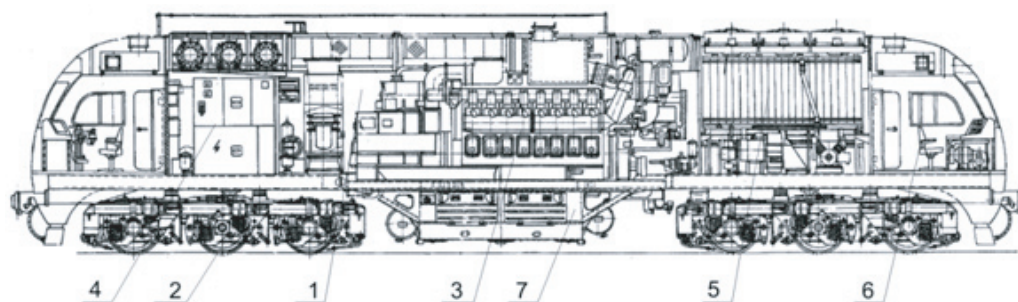


Рис. 3. Тепловоз ТЭП150: 1 – кузов; 2 – тележка; 3 – дизель-генератор; 4 – высоковольтная камера; 5 – холодильная камера; 6 – кабина; 7 – топливный бак

ПАО «Лугансктепловоз» («Трансмашхолдинг») в 2005–2008 гг. выпустил четыре пассажирских тепловоза ТЭП-150 в габарите 02-ВМ (рис. 3).

Тепловоз имеет длину 20,35 м, мощность по дизелю 3100 кВт и осевую нагрузку 220,65 кН, и представляет собой модификацию ранее созданного тем же производителем грузопассажирского тепловоза ТЭ125. Технически не составляет проблем использование тележек грузового тепловоза 2ТЭ25КМ со снижением конструкционной скорости до 100 км/ч и повышением силы тяги. В качестве силовой установки применен отечественный дизель ряда Д49, в качестве компенсационных муфт опорно-рамного тягового привода применены дисковые резинокордные муфты, конструктивно подобные освоены отечественным производством. В настоящее время выпуск данного тепловоза затруднен по внеэкономическим причинам.

ООО «ТМХ Инжиниринг» («Трансмашхолдинг») разработан проект шестиосного односекционного тепловоза ТЭ26 в европейском габарите (рис.4).

Тепловоз длиной 21,8 м предназначен для работы с поездами весом до 3100 тонн на уклоне 9 тысячных, мощность по дизелю 2850 кВт, сила тяги длительного режима 323 кН. Достоинством ТЭ26 является возможность отбора 600 кВт на энергоснабжение вагонов, что позволяет использовать его с местными поездами и путевой техникой, наличие двух компрессоров дает возможность работать с думпкарами. На тепловозе применен дизель-генератор на базе модернизированного дизеля Д49 и тележки, унифицированные с тепловозами серии 2ТЭ25КМ, что упрощает ремонт и обслуживание в депо. Фактически тепловоз представляет собой дальнейшее развитие моделей ТЭ125 и ТЭП150 с другим кузовом, электрическим и вспомогательным оборудованием.

Проектный тепловоз ТЭ26, благодаря его универсальности, позволяет максимально повысить интен-

сивность его использования и, кроме того, он максимально унифицирован по основным агрегатам с уже выпускаемыми сериями. К недостаткам тепловоза можно отнести то, что по силе тяги он несколько уступает 2М62У.

Таким образом, из рассмотренных выше вариантов наиболее подходящим для замены тепловозов М62 и 2М62 и поставок на экспорт на линии с европейским габаритом является проектный тепловоз ТЭ26. Основной проблемой является то, что тепловоз пока не развернут в платформу, включающую в себя машины различного назначения, которые позволили бы создать более стабильный спрос и снизить стоимость производства. Кроме того, существует необходимость модернизации тележки тепловоза 2ТЭ25КМ, о чем авторы ранее писали в [2]. Рассмотрим пути решения этих проблем.

Использование ТЭ26 в качестве пассажирского тепловоза для большинства неэлектрифицированных линий

Ранее [3] авторами уже рассматривался вопрос создания пассажирского тепловоза с диаметром колеса 1050 мм, максимально унифицированного с грузовыми тепловозами. В частности, отмечалась возможность несколько увеличить силу тяги длительного режима по сравнению с выпускаемым тепловозом ТЭП70. Основной проблемой для реализации изложенных авторами идей было то, что на момент выхода [3] АО УК «БМЗ» не выпускал односекционных тепловозов. Создание тепловоза ТЭ26 снимает эту проблему.

Модернизация тепловоза ТЭ26 в пассажирский с конструкционной скоростью 160 км/ч и грузопассажирский со скоростью 140 км/ч может быть осуществлена использованием тележек тепловоза ТЭП150. При этом используется опорно-рамный тяговый привод с полым валом на оси и плоскими

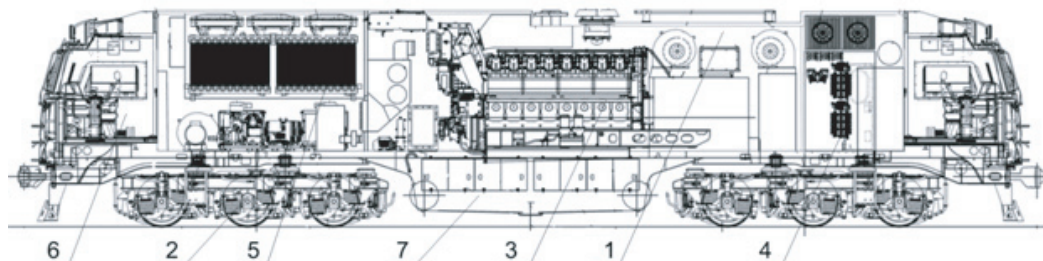


Рис. 4. Проект тепловоза ТЭ26: 1 – кузов; 2 – тележка; 3 – дизель-генератор; 4 – высоковольтная камера; 5 – холодильная камера; 6 – кабина; 7 – топливный бак

резинокордными муфтами. В варианте пассажирского тепловоза с двигателями, подобными ЭДУ-133Ц УХЛ1, как на тепловозе 2ТЭ25КМ, при снижении передаточного числа с 4,41 до 2,607, как у ТЭП150, сила тяги в продолжительном режиме снизится с 323,6 до 191,3 кН, что на 14% выше, чем у тепловоза ТЭП70БС.

Возможна дальнейшая модернизация тележки на основе предложений авторов, ранее изложенных в [4] (рис. 5).

В модернизированной тележке предлагается применить двухступенчатое рессорное подвешивание, в котором 2/3 статического прогиба приходится на вторую ступень подвешивания, с расположением гидравлических гасителей колебаний во второй ступени. Для снижения перераспределения нагрузок по осям при реализации силы тяги авторами предлагается применить наклонные тяги и пневматический догружатель, аналогичный применяемому на тепловозе ТЭМ7.

В отечественной практике традиционно принято, что пассажирский тепловоз, имеющий конструкционную скорость 160 км/ч должен иметь опорно-рамное подвешивание ТЭД. Этот вывод был сделан на основании исследований тепловоза ТЭ7, в котором были применены коллекторные ТЭД и жесткая зубчатая передача [5]. В то же время при испытаниях тепловоза HS4000 фирмы Brush (Великобритания), имевшего опорно-осевое подвешивание ТЭД с упругой зубчатой передачей, динамические показатели экипажной части при скорости 200 км/ч оказались лучше, чем у тепловоза ТЭП75, в частности, потому, что при опорно-осевом подвешивании ТЭД момент инерции тележки в вертикальной и горизонтальной плоскости оказался ниже, чем при опорно-рамном. В связи с тем, что коллекторные ТЭД имеют низкую надежность при

воздействии ускорений от пути, данное направление развитие не получило. Однако имеет смысл вернуться к исследованиям динамики опорно-осевого привода для пассажирских тепловозов при использовании бесколлекторных ТЭД, имеющих меньшую массу и более высокую устойчивость к воздействию ударов и вибраций. Например, синхронный ТЭД НТВ-1000, спроектированный для электровоза ЭП200 на базе экипажной части тепловоза ТЭП80, имеет массу 2300 кг вместо 3100 кг у ЭД133. При максимальной частоте вращения НТВ-1000 $n_{\max}=3100 \text{ мин}^{-1}$, для достижения скорости $v_k=160 \text{ км/ч}$ требуется передаточное число

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

где $D_k=1,05 \text{ м}$ — диаметр колеса. При указанных данных $u=3,835$, или $75:20=3,75$.

При использовании преобразователя с принудительной коммутацией синхронный ТЭД реализует крутящий момент в 1,25–1,3 раза выше, чем при коммутации за счет противо-ЭДС [6], в связи с чем можно принять момент в длительном режиме для НТВ-1000 $M_{\text{сд}}=6066 \text{ Н} \cdot \text{м}$. Отсюда касательная сила тяги шестиосного тепловоза

$$F_k = \frac{12uM_{\text{сд}}\eta}{1000D_k}; \quad (2)$$

где $\eta=0,98$ — КПД зубчатой передачи при моторно-осевых подшипниках качения.

При указанных значениях получим $F_k=255 \text{ кН}$, что выше, чем у тепловоза М62. Таким образом, применение синхронных ТЭД при опорно-осевом приводе позволило бы получить тепловоз с конструкционной скоростью пассажирского и силой тяги грузового. При

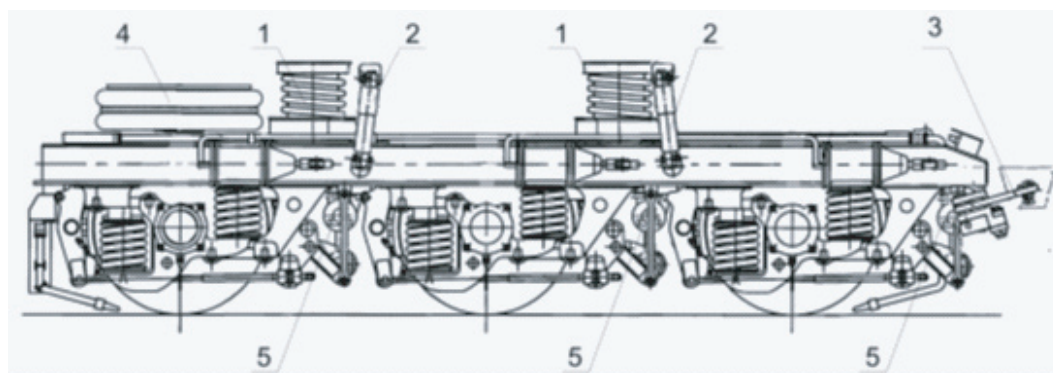


Рис. 5. Схема модернизации тележки грузового тепловоза: 1 – вторая ступень рессорного подвешивания; 2 – гаситель колебаний; 3 – наклонные тяги; 4 – догружатель; 5 – подвешивание ТЭД

этом преобразовательная часть была бы значительно проще, чем у тепловозов с асинхронными ТЭД, в связи с тем, что синхронный ТЭД не требует использования широтно-импульсной модуляции. Следует также отметить, что неподрессоренная масса пассажирских электровозов отечественных железных дорог с диаметром колес 1250 мм, использующих привод с осевым редуктором, составляет примерно 4,5 т на ось, в то время как неподрессоренная масса тепловоза с ТЭД с параметрами НТВ-1000 и диаметром колес 1050 мм составит примерно 4 т на ось, в связи с меньшей массой колес диаметром 1050 мм, а тепловозы ТЭП10 с неподрессоренной массой 4,4 т на ось и жесткой зубчатой передачей эксплуатировались до 2006 года.

На основании изложенных фактов авторы считают целесообразным вернуться к вопросу использования для пассажирских тепловозов с диаметром колеса 1050 мм приводов с частичным опиранием ТЭД на ось при использовании быстроходных бесколлекторных ТЭД и упругой тяговой передачи.

Другим возможным вариантом использования быстроходного бесколлекторного ТЭД является применение опорно-рамного привода с промежуточным зубчатым колесом. Следует отметить, что в опытном тепловозе ТЭ120 опорно-рамный привод с резинокордными муфтами был рассчитан на реализацию тепловозом силы тяги в длительном режиме, равную 255 кН. При этом несущая способность плоских резинокордных муфт может быть повышена за счет уточнения условий эксплуатации (в частности, уменьшения угловых деформаций вследствие снижения перемещений первой ступени рессорного подвешивания) и за счет использования решений, ранее предложенных авторами, по достижению равнопрочности муфт [7;8].

Создание тепловоза с тяговыми возможностями 2М62

После реконструкции тяги в прошлом веке на базах запаса было сосредоточено большое количество паровозов производства 40–50-х годов, включая взятые в качестве трофея и полученные по репарации, которые могли в случае необходимости работать на железных дорогах с европейским габаритом. К 80-м годам, в связи с ликвидацией инфраструктуры эксплуатации паровозов, за исключением депо, обслуживающих паровозы запаса, первоначальный смысл содержания последних был утрачен, однако в это время в западной части СССР шла активная замена изношенных тепловозов ТЭ3 на 2М62 и 3М62. В связи с выводом из эксплуатации тепловозов серии М62 имеет смысл рассмотреть техническую сторону вопроса создания

односекционного тепловоза в габарите 02-ВМ с тяговыми свойствами не хуже, чем у 2М62.

Как указывалось, выше, при восьми обмоточных осях односекционный тепловоз с передачей переменного постоянного тока способен развивать силу тяги в длительном режиме свыше 430 кН, однако при этом не удастся использовать существующую экипажную часть от тепловоза ТЭМ7 из-за большой ширины промежуточной рамы. Рассмотрим варианты возможной реализации экипажной части.

При колесах диаметром 1050 мм и индивидуальном опорно-осевом приводе использование нижней промежуточной рамы, как на тепловозе ТЭ136, невозможно, а использование верхней промежуточной рамы, как на тепловозе U50 фирмы General Electric (США) требует не просто увеличения длины кузова, а его существенного перепроектирования в связи с переносом автосцепки на промежуточную раму. Таким образом, четырехтележечная экипажная часть в данном случае может быть реализована только при независимых или сочлененных парах тележек. Поскольку сочленение тележек ведет к увеличению их влияния в прямых, при использовании короткобазовых двухосных тележек они должны быть независимыми.

Исходя из реально достигнутой в отечественной практике минимальной базы двухосных тележек, равной 2100 мм, и необходимости обеспечения их поворота друг относительно друга, получаем величину расстояния от первой до четвертой оси, равной 6300 мм. Минимальное расстояние от первой оси до вертикальной оси автосцепки, достигнутое у тепловоза ТГП50, равно 2050 мм. У проектного тепловоза ТЭ26 расстояние между осями колесных пар тележек, наиболее близких к топливному баку, составляет примерно 8500 мм. Таким образом, общая длина тепловоза при независимых тележках без существенной переделки конструкции средней части кузова составит $L = 2 \cdot 2050 + 2 \cdot 6300 + 8500 = 25200$ мм, что потребует увеличения длины кузова на 3200 мм и дополнительного сужения его для вписывания в кривые.

АО «ВНИКТИ» создана четырехосная тележка с диаметром колес 1080 мм и радиальной установкой колесных пар (РУКП), что позволило установить колесные пары в жесткой раме и сократить базу тележки с 6300 мм у тепловоза ТЭМ7 до 5700 мм (рис. 6).

Благодаря РУКП в кривой снижается угол набегания на рельс передней по ходу колесной пары, в результате чего воздействие на путь в кривых четырехосной тележки становится практически тем же самым, что и у трехосной тележки грузовых тепловозов. Данную тележку предполагается применить в проектном тепловозе 2ТЭ35А с длиной секции 24 м.

Аналогично для тепловоза ТЭ26 потребовалось бы увеличение длины тепловоза до 24 м. Другим недостатком четырехосной тележки с РУКП является более сложный механизм РУКП по сравнению с ранее созданной тележкой тепловоза 2ТЭ25А (в три раза больше вертикальных рычагов и появление балансиров для рессорного подвешивания).

Для того, чтобы разместить четырехосную тележку под кузовом ТЭ26 при расстоянии от первой оси до вертикальной оси автосцепки 2050 мм, база тележки должна быть равна 4600 мм, т.е. расстояние между соседними колесными парами — 1533 мм, а расстояние между поверхностями катания колес — 483 мм.

В мировой практике такие параметры не являются чем-то новым. На тепловозах и электровозах фирмы Альстом (Франция) с мономоторным приводом расстояние между поверхностями катания колес составляло 350...508 мм (таблица).

Аналогичные попытки предпринимались и в нашей стране. В 1960 году «Луганский тепловозостроительный завод» создал опытный газотурбовоз ГТ101, имевший трехосную тележку с базой 3400 мм, а в 1973 году на «Коломенском тепловозостроительном заводе» был создан проект тепловозной тележки

с групповым приводом, для которого расстояние между поверхностями катания составляло 215 мм (рис. 7).

Перечисленные примеры дают основания полагать, что достижение базы четырехосной тележки, близкой к 4600 мм, в принципе реализуемо. Но при этом возникает проблема динамики тележки с увеличенной базой, так как применение РУКП потребует увеличения расстояния между колесными парами.

Известно, что «Коломенским тепловозостроительным заводом» были созданы опытные тепловоз ТЭП80 и электровоз ЭП200, имеющие четырехосную тележку в жесткой раме с базой 6200 мм и попарным балансированием колесных пар (рис. 8). Оба локомотива прошли испытания и находились в опытной эксплуатации, не пойдя в серийное производство по причине экономического кризиса и падения спроса. В отличие от рассмотренной выше тележки с РУКП, в данной тележке угол набегания не уменьшается, а горизонтальные усилия распределяются балансирной связью, расположенной между буксами, на две первые по ходу локомотива колесные пары. Подобное решение неэффективно в крутых кривых при установке наибольшего перекаса, но может снижать

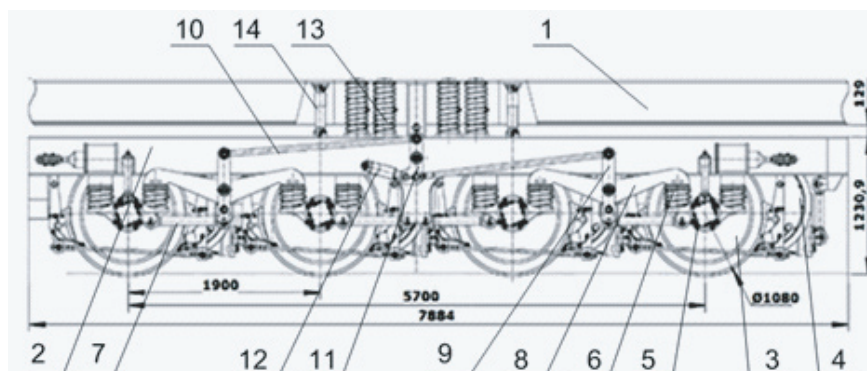


Рис. 6. Четырехосная тележка с РУКП: 1 – главная рама; 2 – рама тележки; 3 – колесная пара; 4 – ТЭД; 5 – букса; 6 – буксовая ступень рессорного подвешивания; 7 – буксовый поводок; 8 – балансир; 9, 11 – рычаги; 10 – тяга; 12, 14 – гасители; 13 – вторая ступень рессорного подвешивания

Таблица

Серия	СС2400	СС70000	СС72000	СС21000
Диаметр колес, мм	950	1100	1140	1140
База тележки, мм	2400	3216	3216	3216
Межосевое расстояние, мм	1200	1608	1608	1608
Расстояние между поверхностями катания, мм	350	508	468	468

горизонтальные усилия при динамической установке в пологих кривых.

Тот факт, что оба локомотива были выпущены в опытную эксплуатацию, дает основание предполагать, что при существенно меньшей базе тележки (4600 мм против 5200) могут быть достигнуты динамические свойства тележки, приемлемые для грузового локомотива с минимальным радиусом проходимых кривых 125 м.

В тележке грузового тепловоза с диаметром колес 1050 мм достаточно только буксовой ступени рессорного подвешивания и необходимо использование группового привода по схеме один ТЭД на две колесные пары. Таким образом, возможность практической реализации рассматриваемого тепловоза определяется созданием бесколлекторного ТЭД для привода двух соседних колесных пар.

Известно, что максимальная частота вращения асинхронного ТЭД СТА-1200У1 равна 2900 мин⁻¹. Согласно (1), при максимальной скорости тепловоза 100 км/ч требуемое передаточное число составит

$u=5,74$. Такое передаточное число достижимо для интегрированных и агрегатных приводов и групповой привод, собственно, может быть реализован в виде такой конструкции. При этом крутящий момент на валу данного ТЭД в длительном режиме составляет $M_{\text{АД}}=10400 \text{ Н} \cdot \text{м}$, соответственно, сила тяги такого локомотива в длительном режиме

$$F_k = \frac{8uM_{\text{АД}}\eta}{1000D_k}, \quad (3)$$

поскольку рассматриваемый локомотив имеет 4 ТЭД, а не 6. При указанных параметрах $F_k=446 \text{ кН}$, что превышает силу тяги тепловоза 2М62. При этом ширина статора ТЭД СТА-1200У1 составляет около 800 мм, а расстояние между статором и осью составит примерно 360 мм, что позволяет разместить полый вал привода.

Приведенные факты позволяют сделать вывод о принципиальной возможности создания при необходимости восьмиосной модификации тепловоза ТЭ26 с силой тяги, превышающей силу тяги тепловоза М62, без

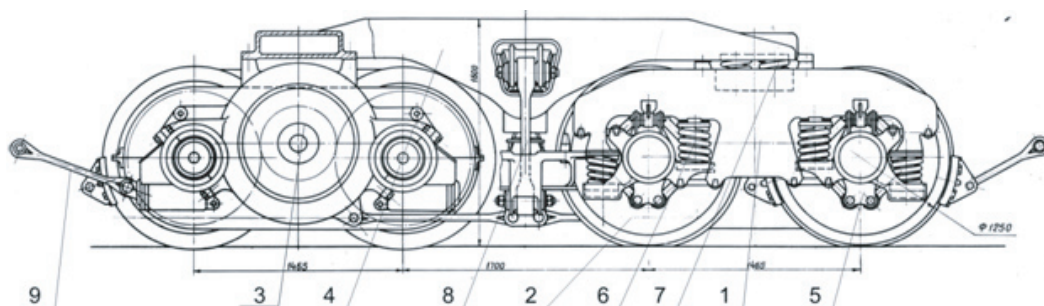


Рис. 7. Проект (1973 год) экипажной части локомотива «Коломенского тепловозостроительного завода»: 1 – рама тележки; 2 – колесная пара; 3 – ТЭД; 4 – промежуточная рама; 5 – тяговый привод; 6 – буксовая ступень рессорного подвешивания; 7 – вторая ступень рессорного подвешивания; 8 – маятниковое подвешивание; 9 – наклонная тяга

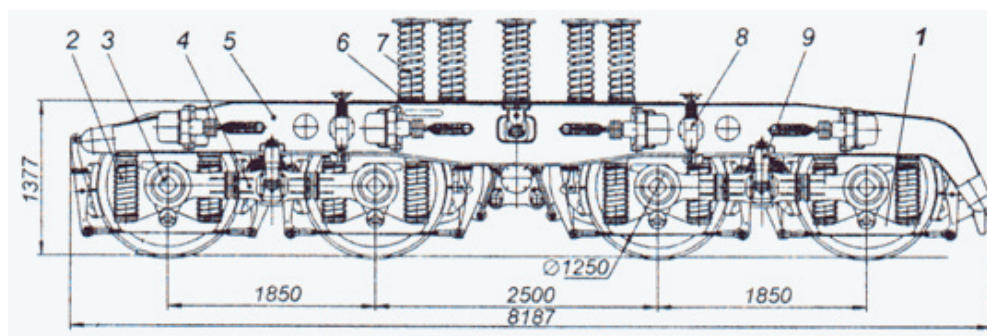


Рис. 8. Тележка электровоза ЭП200 АО «Коломенский завод»: 1 – буксовый балансир; 2 – буксовая ступень рессорного подвешивания; 3 – букса; 4 – балансирующая связь; 5 – рама тележки; 6, 7 – вторая ступень рессорного подвешивания; 8, 9 – гасители

увеличения длины кузова. Авторы считают целесообразным провести конструктивные проработки четырехосной локомотивной тележки с диаметром колес 1050 мм, базой 4600 мм и групповым приводом колесных пар.

Возможные меры модернизации трехосной локомотивной тележки

Основным недостатком локомотивной тележки тепловоза 2ТЭ25КМ, применяемой на тепловозе ТЭ26, является применение пружинной подвески тягового электродвигателя. Ранее авторами, например, в [9], были предложены конструкции, заменяющие пружинную подвеску. Основным условием для таких конструкций является сохранение возможности подкатки ТЭД, переоборудованных под установку новой подвески, под непереоборудованные тележки.

В порядке решения такой задачи авторами были предложены трехшарнирные подвески ТЭД (рис. 9), которые могут быть размещены между приливами на остовах ТЭД. Поперечные перемещения в этих конструкциях обеспечиваются путем скольжения по валику одного или двух шарниров по валику. При этом трущиеся поверхности рекомендуется закрыть кожухами в целях снижения износа (на рис. 9 не показаны).

Для демонтажа подвески достаточно открутить болты на планках, которые предохраняют оси от выпадания, и выбить оси из шарниров.

На предложенные решения получены патенты на полезные модели [10; 11].

Выводы и рекомендации

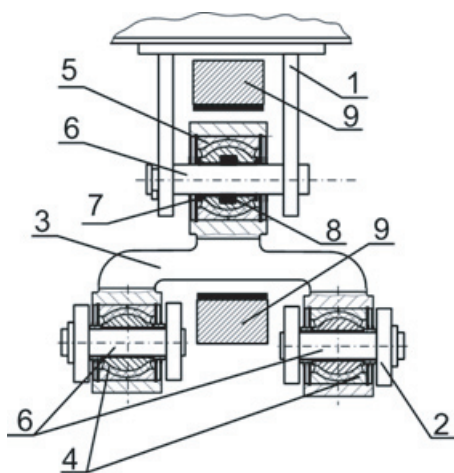
1. Определено, что в настоящее время, в связи с длительным сроком эксплуатации тепловозов М62 и 2М62 модернизация последних нецелесообразна. Необходимо создание нового тепловоза в габарите 02-ВМ, с возможностью при необходимости переделки на колею 1435 мм и поставки на экспорт, для выполнения следующих работ:

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

2. Анализ ранее созданных и перспективных отечественных тепловозов показывает, что для выполнения указанных работ больше всего подходит проектный тепловоз ТЭ26, предложенный ООО «ТМХ Инжиниринг». Недостатком ТЭ26 является то, что он на данный момент не развернут в ряд моделей тепловозов, что позволило бы найти новые области сбыта и расширить производство.

3. Установлено, что на базе ТЭ26 может быть создан пассажирский тепловоз с конструкционной скоростью 160 км/ч и силой тяги в продолжительном режиме на 14 % выше выпускаемого в настоящее время ТЭП70БС. При использовании синхронных ТЭД с принудительной коммутацией такой пассажир-

а



б

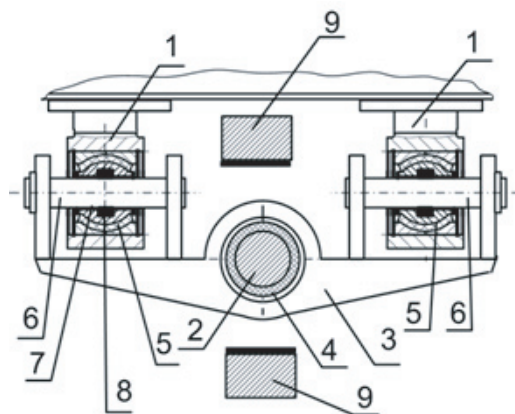


Рис. 9. Трехшарнирная подвеска ТЭД: а – с шарнирами с параллельными осями; б – с шарнирами с перпендикулярными осями; 1 – кронштейн крепления к раме тележки; 2 – кронштейн крепления к ТЭД; 3 – траверса подвески; 4 – неподвижный резинометаллический шарнир, 5 – подвижный резинометаллический шарнир; 6 – оси; 7 – смазывающая жидкость с ферромагнитными наночастицами; 8 – постоянные магниты; 9 – приливы на остовах ТЭД

ский тепловоз способен развивать в длительном режиме силу тяги выше, чем М62. Предложены меры по модернизации тележки тепловоза.

4. Доказана принципиальная возможность создания на базе ТЭ26 восьмиосного тепловоза с силой тяги в продолжительном режиме выше, чем у 2М62, без увеличения длины кузова. Данные показатели могут быть реализованы при использовании четырехосной тележки в жесткой раме с поперечным балансированием колесных пар и групповым приводом с применением бесколлекторных ТЭД, близких по параметрам к электровозным.

5. Рекомендованы меры по модернизации подвешивания ТЭД тепловоза ТЭ26.

6. На предложенные авторами решения по теме статьи получены четыре патента на полезные модели.



Литература

1. Повышение надежности экипажной части тепловозов / А. И. Беляев, Б. Б. Бунин, С. М. Голубятников [и др.]; под ред. Л. К. Добрынина. - Москва : Транспорт, 1984. - 248 с. (НК. Надежность и качество. Межизд. сер.). - Текст : непосредственный.

2. Поиск новых путей повышения надежности узла подвески тяговых электродвигателей / А. С. Космодамианский, В. И. Воробьев, О. В. Измеров, М. Ю. Капустин, Д. Н. Шевченко. - Текст : непосредственный // Вестник транспорта Поволжья. - 2019. - № 6 (78). - С. 19-26.

3. Возможности унификации грузовых и пассажирских тепловозов широкой колеи / Д. Я. Антипин, М. И. Борзенков, В. И. Воробьев, О. В. Дорофеев, С. Н. Злобин, О. В. Измеров, С. О. Копылов. - Текст : непосредственный // Мир транспорта и технологических машин. - 2019. - № 4 (67). - С. 40-49.

4. Воробьев, В. И. Возможности улучшения конструкций механических узлов грузовых тепловозов [Текст] + [Электронный ресурс] / В. И. Воробьев, О. В. Измеров // Повышение эффективности транспортных машин: сборник научных трудов ; под ред. В. И. Воробьева, В. В. Рогалева. - Брянск: БГТУ, 2017. - С. 119-148.

5. Евстратов, А. С. Исследование динамики тяговых электродвигателей тепловозов ТЭ3 и ТЭ7 / А. С. Евстратов, Л. К. Добрынин. - Текст : непосредственный // Новости машиностроения. - 1959. - № 6. - С. 6-8.

6. Вентильные двигатели и их применение на электроподвижном составе / Б. Н. Тихменев, Н. Н. Горин, В. А. Кучумов, В. А. Сенаторов ; под ред. д-ра техн. наук, проф. Б. Н. Тихменева. - Москва : Транспорт, 1976. - 279 с. - Текст : непосредственный.

7. Патент № 157519, Российская Федерация, МПК F16D 3/78(2006.01) . Оболочка резинокордная для высокоэластичной муфты : № 2015119063/11: заявлено 20.05.2015 : опубликовано 10.12.2015, бюл. № 34./ Воробьев В. И., Измеров О. В., Дорофеев, О. В., Злобин С. Н. ; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Государственный университет - учебно-научно-производственный комплекс» (ФГБОУ ВПО «Государственный университет - УНПК») (RU) . - Текст : непосредственный.

8. Патент № 173560, Российская Федерация, МПК B61C 9/00, F16D 3/78 (2006.01) . Компенсационная муфта тягового привода локомотива : № 2017105539 : заявлено 20.02.2017 : опубликовано 30.08.2017., бюл. № 25 / Воробьев В. И., Антипин Д. Я., Измеров О. В., Новиков А. С., Космодамианский А. С., Шорохов С. Г., Мануева М. В. : Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования «Брянский государственный технический университет» (RU). - Текст : непосредственный.

9. Воробьев, В. И. Возможности модернизации колесно-моторных блоков локомотивов с диаметром колеса 1050 мм. [Текст] + [Электронный ресурс] / В. И. Воробьев, О. В. Измеров, С. О. Копылов // Совершенствование транспортных машин: сборник научных трудов ; под ред. В. В. Рогалева. - Брянск: БГТУ, 2018. - С. 20-29.

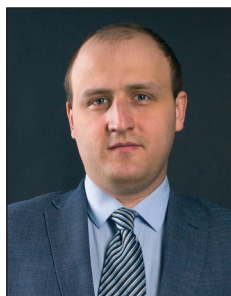
10. Патент № 176843, Российская Федерация, МПК B61C 9/38 (2006.01) . Узел подвешивания тягового электродвигателя : № 2017120584 : заявлено 13.06.2017 : опубликовано 30.01.2018, бюл. № 4. / Антипин Д. Я., Воробьев В. И., Измеров О. В., Копылов С. О., Маслов М. А., Шорохов С. Г. : Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования «Брянский государственный технический университет» (RU). - Текст : непосредственный.

11. Патент № 186173, Российская Федерация, МПК B61C 9/50 (2006.01) . Узел подвешивания тягового электродвигателя : № 2018114136 : заявлено 13.06.2017 : опубликовано 11.01.2019, бюл. № 2 / Воробьев В. И., Антипин Д. Я., Пугачев А. А., Измеров О. В., Маслов М. А., Копылов С. О., Рошупкин Е. В., Разумовский С. В., Надточей Д. Г., Космодамианский А. С. : Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования «Брянский государственный технический университет» (RU). - Текст : непосредственный.

ОСОБЕННОСТИ ПРОПУСКА ГРУЗОВЫХ ПОЕЗДОВ В КРУПНЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ УЗЛАХ ПРИ ДРОБНОЙ НУМЕРАЦИИ НИТОК В ГРАФИКЕ ДВИЖЕНИЯ



С.П. Вакуленко



Д.Ю. Роменский

Рассматривается актуальная для магистральных железнодорожных линий проблема нумерации поездов в нормативном графике движения поездов. Для двух способов организации движения поездов (с использованием дробных и недробных ниток графика грузовых поездов) сформулированы условия распределения размеров движения поездов в зависимости от их назначения.

Ключевые слова: железнодорожные перевозки, грузовые перевозки, железнодорожные узлы, график движения поездов

EDN: QGNBRX

Основным нормативным технологическим документом, регламентирующим работу железнодорожных участков и координирующий работу всех подразделений железных дорог является график движения поездов, который представляет собой графическое отображение положения поезда на железнодорожном участке в рассматриваемый момент времени [1].

График движения поездов обеспечивает:

- координацию, согласование технологических процессов работы станций, локомотивных и вагон-

ных депо, тяговых подстанций, пунктов технического осмотра;

- наилучшее использование подвижного состава;
- требуемую безопасность движения поездов;
- ритмичную работу станций и железнодорожных участков.

Согласно инструкции по учету выполнения графика движения пассажирских, пригородных и грузовых поездов [2], нумерация ниток поездов на графике движения имеет важное значение для организации движения на железнодорожных участках. Каждому

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, доцент 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 49 научных работ.

Ершов Андрей Дмитриевич, старший преподаватель кафедры «Управление транспортным бизнесом и интеллектуальные системы» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: организация движения поездов, технология работы железнодорожных полигонов и участков, моделирование работы станций. Автор восьми 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 36 научных работ.

поезду при отправлении со станции формирования или оборота присваивается номер в зависимости от категории поезда, который сохраняется на всем пути следования до станции расформирования, оборота состава или станции, где заканчивается движение рассматриваемого поезда.

Однако в пути следования грузового поезда его номер может меняться в зависимости от определенных условий. Номер пассажирского поезда меняется с четного на нечетный или наоборот по станциям, где это предусмотрено графиком движения поездов.

Новый номер присваивается транзитному грузовому поезду в следующих случаях (рис. 1):

- прибывшему на участковую (техническую) станцию по расписанию, которое заканчивается на этой станции или не совпадает с направлением дальнейшего следования данного поезда;
- при замене или пополнении на станции более половины вагонов в составе поезда.

На подходах к крупным городам наблюдается интенсификация движения пригородных и пассажирских поездов, в связи с чем наличная пропускная способность может оказаться меньше потребной для обеспечения беспрепятственного пропуска всех категорий поездов. Для решения возникающей проблемы нехватки пропускной способности на головных участках крупных железнодорожных узлов для осуществления пропуска транзитных поездопотоков сооружают грузовые обходы [3], позволяющие избежать необходимости следования транзитных грузовых поездов через центральную часть города [4]. Через центральную часть узла целесообразно пропускать маршрути-

зированные или передаточные поезда, состоящие из местных вагонов, следующих в переработку.

Особенности организации пропуска грузовых поездов в крупных железнодорожных узлах

Рассмотрим характер работы южного участка кольцевой железнодорожной линии вокруг Москвы — Большого кольца Московской железной дороги (БМО), являющегося грузовым обходом Московского железнодорожного узла (МЖУ). На рис. 2 представлен фрагмент нормативного графика движения поездов в сечении Бекасово-Сортировочное — Сандарово.

В нормативном графике движения поездов (НГДП) на приведенном участке j каждой нитке грузового поезда η , может соответствовать более одного назначения i . Нумерацию таких грузовых поездов, имеющих различные назначения, но приходящихся на одну нитку, при составлении графика движения принято обозначать через дробь [3]. Нитки графика движения поездов, имеющие дробную нумерацию, означают, что поезда, пропускаемые через станции в моменты времени, соответствующие данной нитке, могут в разные дни иметь различные назначения. Необходимость подобного подхода к нумерации ниток в графике движения возникает из-за характера формирования составов на технических станциях; так при дробной нумерации поезда могут отправляться с технических станций по готовности, в случае наличия соответствующего назначения. Причины образования дробной нумерации в обозначении ниток в графике движения

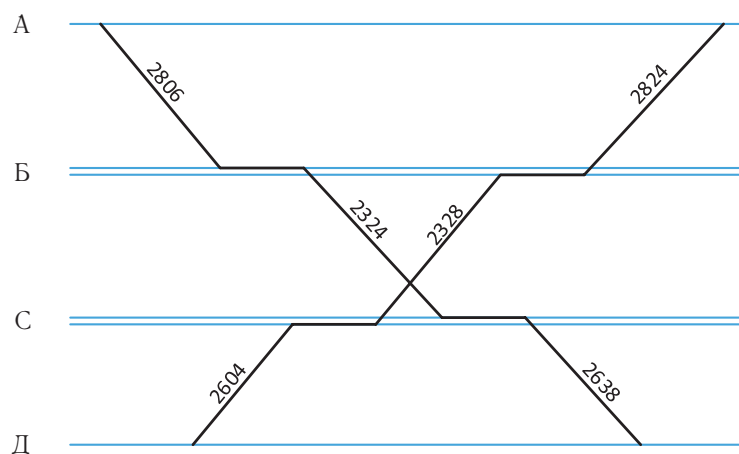


Рис. 1. Смена номера транзитного грузового поезда на участковых (технических) станциях Б и С в пути следования

поездов рассмотрим на примере железнодорожного узла, приведенного на рис. 3.

На приведенном примере участковая станция А формирует поезда на станцию В (нумерация поездов такого назначения может принимать значения 2101-2198), на станцию Г (2201-2298) и на станцию Д (2301-2398). Участковая станция Б формирует поезда назначением на станции В (2401-2498), Г (2501-2598), Д (2601-2698) [6]. Подробная информация о возможных назначениях поездов сведена в табл. 1.

Тогда в сечении между узловыми (стыковочными) станциями Е–Ж одной нитке в графике движения поездов может быть присвоено до четырех номеров грузовых поездов. Стоит отметить, что при работе

железнодорожного комплекса отсутствует практика согласования моментов отправления поездов с различных участковых станций на один участок с дробной нумерацией, что может привести к одновременному прибытию на рассматриваемый участок поездов двух и более назначений, следующих по одной нитке в графике движения поездов. В случае возникновения такой ситуации возникают простои грузовых поездов под ожиданием следующего момента отправления или прибытия, а порядок следования поездов по участку в этом случае определяется в оперативном порядке поездным диспетчером.

Для дальнейшего анализа введем следующие термины, описывающие рассмотренное явление:

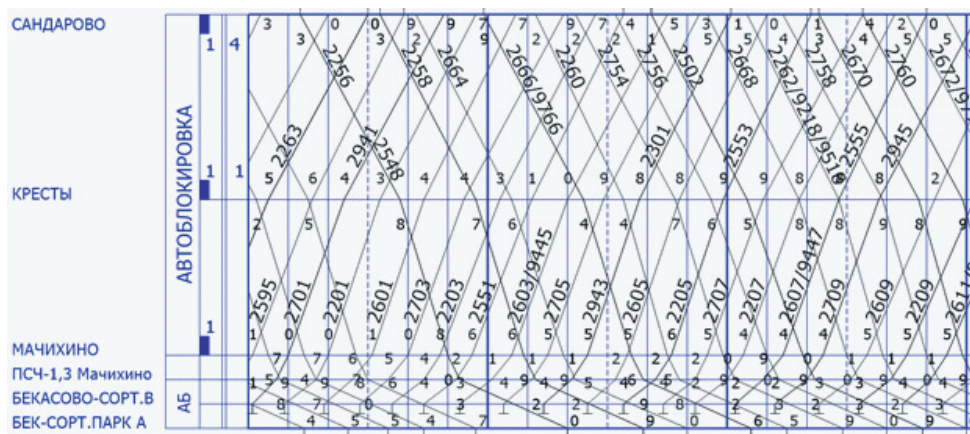


Рис. 2. Фрагмент НГДП движения в сечении Бекасово-Сортировочное – Сандарово

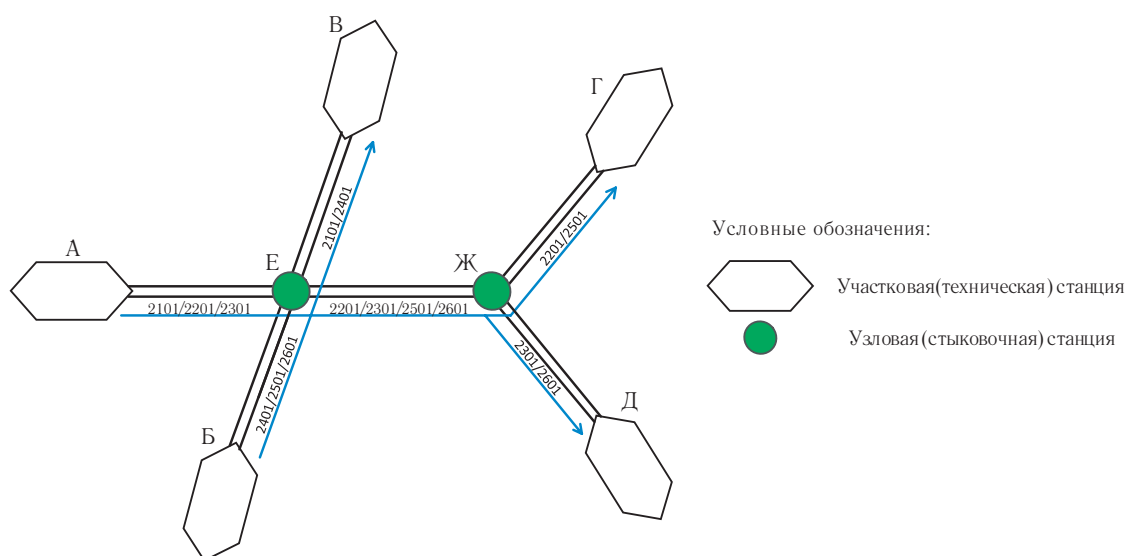


Рис. 3. Дробная нумерация ниток графика движения поездов в сечениях участков крупного железнодорожного узла

Таблица 1

**Нумерация и участки наложения поездов на дробную нитку НГДП
в крупном железнодорожном узле**

Назначения поездов	Установленный диапазон номеров под назначение	Узловые (стыковочные) станции в пути следования поезда	Участки наложения поездов на дробную нитку
А-В, В-А	2101-2198	Е	А-Е, Е-В
А-Г, Г-А	2201-2298	Е, Ж	А-Е, Е-Ж, Ж-Г
А-Д, Д-А	2301-2398	Е, Ж	А-Е, Е-Ж, Ж-Д
Б-В, В-Б	2401-2498	Е	Б-Е, Е-В
Б-Г, Г-Б	2501-2598	Е, Ж	Б-Е, Е-Ж, Ж-Г
Б-Д, Д-Б	2601-2698	Е, Ж	Б-Е, Е-Ж, Ж-Д

1. Нитка графика движения с дробной нумерацией — нитка графика, по которой можно пропустить поезда, имеющие более одного назначения k .

2. Нитка графика движения с недробной нумерацией — нитка графика, по которой можно пропустить поезда строго одного назначения k .

3. Дробность нитки графика движения поездов — величина, характеризующая количество назначений, приходящихся на одну нитку в графике движения поездов (Λ).

В графике исполненного движения поездов (ГИД) отображаются нитки фактически пропущенных поездов по участкам и дробной нумерации в исполненном графике движения уже нет.

Следовательно, НГДП можно спроектировать как с использованием дробной нумерации ниток графика движения поездов, так и с недробной нумерацией.

В условиях применения дробной нумерации ниток графика движения поездов суммарные размеры движения поездов (т.е. количество ниток η , проложенных в графике движения поездов) на j -м участке не могут превышать наличную пропускную способность рассматриваемого сечения железнодорожного участка, однако при наличии дробности на нитках в графике движения ($\Lambda > 1$) общее количество номеров за рассматриваемый период i может превысить наличную пропускную способность.

$$\sum_{\delta=1}^{\delta_{\max}} \eta_{\delta j} \leq N_{j \text{нал}}, \quad (1)$$

где $N_{j \text{нал}}$ — наличная пропускная способность j -го участка; δ — момент времени отправления поезда с рассматриваемой станции в графике движения поездов; $\delta_{\max}$ — момент отправления последней нитки в графике движения поездов.

$$\sum_1^{i_{\eta \max}} i_{\eta} = \Lambda_{\eta}, \quad (2)$$

где Λ_{η} — дробность рассматриваемой нитки графика движения поездов; i_{η} — назначение поезда на рассматриваемой нитке графика движения поездов (номер поезда); $i_{\eta \max}$ — последний номер в записи на рассматриваемой нитке графика движения поездов.

В условиях недробной нумерации ниток поездов сумма потребных размеров движения n k -го назначения в j -м сечении не могут превышать наличную пропускную способность.

$$\sum n_j^k \leq N_{j \text{нал}}. \quad (3)$$

НГДП в зависимости от соотношения общего количества назначений поездов и наличной пропускной способности участка можно спроектировать как с использованием дробной нумерации ниток поездов, так и с недробной нумерацией. Для сохранения возможности построения НГДП без дробной нумерации ниток, т.е. $\Lambda_{\eta} = 1$, общее количество назначений i_{η} не должно превышать наличную пропускную способность рассматриваемого участка.

Применение ниток графика движения поездов с дробной нумерацией позволяет отправлять поезда разных назначений по готовности на участковой станции, устраняя или сокращая время ожидания нитки графика движения по отправлению. При однозначной, недробной нумерации ниток в НГДП такой возможности нет.

С другой стороны, вследствие применения дробной нумерации ниток в графике движения поездов может возникнуть ситуация одновременного прибытия двух и более поездов на участок j в момент времени δ , соответствующий одной и той же нитке в графике движения поездов $\eta_{\delta j}$. Возникает наложение фактически

отправленных грузовых поездов в узле, требующее принятия оперативных решений по изменению времени проследования таких поездов. У таких поездов возникают дополнительные простои под ожиданием следующей нитки для проследования.

Для приведенного примера железнодорожного узла, показанного на рис. 2 такая ситуация может возникнуть в случае несоординированного отправления грузового поезда назначением А-Г (№2201) и грузового поезда назначением Б-Д (№2601), при этом к участку Е–Ж они прибывают к одному моменту времени δ на нитку графика движения поездов с дробным обозначением $\Lambda_n=4$, например №2201/2301/2501/2601. При возникновении такой ситуации поезду диспетчеру необходимо принимать решение о том, какой из двух поездов проследует по нормативной нитке графика движения поездов, а какой поезд будет ожидать на узловой (стыковочной) станции Е.

При наличии резервов пропускной способности такая проблема решается диспетчерским управлением, расставляя приоритеты по принятию поездов технической станцией. При дробной нумерации поездов вынужденные стоянки грузовых поездов уменьшают их участковую скорость, ухудшая общие показатели работы участка.

На примере БМО нитки с недробной нумерацией в графике движения поездов могут способствовать рациональному подходу по обработке различных назначений поездов, а также планированию работы локомотивных бригад и оборота локомотивов, обслуживающих различные участки. Для узловых (стыковочных) станций будут исключены стоянки в ожидании нитки радиального направления [7].

Рассматриваемый в качестве примера на рис. 3, 4 южный участок БМО, который имеет одинаковое техническое оснащение на всем участке (количество главных путей, средства интервального регулирования (СИР), электрификацию постоянным током, межпоездной интервал и т.д.) [8]. Наличие пропускная способность на участках Бекасово – Столбовая, Столбовая – Михнево, Михнево – Воскресенск, Воскресенск – Куровская, Куровская – Орехово будет одинакова [9].

Расчетный межпоездной интервал в пакете грузовых поездов на южном участке Бекасово – Орехово составляет $I=8$ мин.

Наличную пропускную способность участка можно определить по формуле (4)

$$N_{\text{нал}}^{\text{Ю БМО}} = \frac{(1440 - t_{\text{тех}}) \alpha_n}{I}, \quad (4)$$

где $t_{\text{тех}}$ – технологический перерыв в движении, на двупутном участке $t_{\text{тех}}=120$ мин;

α_n – коэффициент надежности инфраструктуры и подвижного состава; для двупутного участка при электрической тяге $\alpha_n = 0,93$.

Отсюда $N_{\text{нал}}^{\text{Ю БМО}}=153$ пары поездов в сутки. Однако, в действующих НГДП максимальные размеры движения проложены в сечении Куровская – Воскресенск в размере 116 пар поездов в сутки, а среднее значение размеров движения на южном участке БМО составляет 107 пар поездов в сутки. Коэффициент резерва пропускной способности железнодорожного участка μ , который показывает долю от суточного свободного времени под возможное занятие дополнительными нитками поездов в НГДП, либо под организацию технологических окон, можно определить по формуле (5).

$$\mu = \left(1 - \frac{N_{\text{НГДП}}}{N_{\text{нал}}^{\text{Ю БМО}}} \right), \quad (5)$$

Для южного участка БМО средний показатель по сечениям $\mu=0,3$.

Общее время для проведения технологического окна $T_{\text{тех}}$ с учетом времени технологического перерыва можно определить по формуле (6)

$$T_{\text{тех}} = (1440 - t_{\text{тех}}) \mu + t_{\text{тех}}. \quad (6)$$

Критерием для выбора эффективного варианта построения НГДП предлагается рассматривать следующий показатель:

Значение участковой скорости грузовых поездов должно стремиться к максимуму

$$V_{\text{уч}} \rightarrow \max.$$

При сборе и анализе данных о нумерации ниток НГДП за 2018 год на южном участке БМО между двумя опорными сортировочными станциями (Бекасово-Сорт. – Столбовая – Михнево – Воскресенск – Куровская – Орехово-Сорт.) было установлено, что на отдельных сечениях южной части БМО доля дробных ниток составляет от 0,36 до 0,66 (табл. 2).

Новые назначения поездов могут появляться при зарождении новых грузопотоков или изменении структуры существующих [10]. В табл. 3 представлены все возможные назначения поездов со сменой номера на участковой (технической) станции, маршрут которых следует через южный участок БМО, а в табл. 4 распределение назначения поездов по сечениям.

Из табл. 3 следует, что в сечениях 3 – Михнево – Воскресенск и 4 – Воскресенск – Куровская нитке грузового поезда может быть присвоено до 10 номеров. Учитывая, что с одной участковой (технической) станции одновременно попутные грузовые поезда не отправляются, на одну нитку в сечении Воскресенск – Куровская могут прибыть до 5 поездов назначений

Таблица 2

Доля дробных ниток в сечениях южной части БМО

Участок	Бекасово — Столбовая		Столбовая — Михнево		Михнево — Воскресенск		Воскресенск — Куровская		Куровская — Орехово	
Направление	Четн.	Нечетн.	Четн.	Нечетн.	Четн.	Нечетн.	Четн.	Нечетн.	Четн.	Нечетн.
Доля дробных ниток	0,50	0,45	0,36	0,47	0,47	0,48	0,56	0,43	0,60	0,66

Таблица 3

Возможные назначения поездов, маршрут которых следует через южный участок БМО

Номер назначения	Назначение поезда	Категория поезда
k_1	Бекасово—Люблино	Передаточный
k_2	Бекасово—Тула	Сквозной/Участковый
k_3	Бекасово—Ожерелье	Сквозной/Участковый
k_4	Бекасово—Рыбное	Сквозной/Участковый
k_5	Бекасово—Вековка	Сквозной/Участковый
k_6	Бекасово—Орехово	Сквозной/Участковый
k_7	Тула—Орехово	Сквозной/Участковый
k_8	Тула—Вековка	Сквозной/Участковый
k_9	Люблино—Орехово	Передаточный
k_{10}	Люблино—Вековка	Сквозной/Участковый
k_{11}	Люблино—Рыбное	Сквозной/Участковый
k_{12}	Ожерелье—Орехово	Сквозной/Участковый
k_{13}	Ожерелье—Вековка	Сквозной/Участковый
k_{14}	Рыбное—Вековка	Сквозной/Участковый
k_{15}	Рыбное—Орехово	Сквозной/Участковый
k_{16}	Перово—Орехово	Передаточный
k_{17}	Вековка—Орехово	Сквозной/Участковый

(например, назначения $k_5, k_8, k_9, k_{13}, k_{14}$). В данном случае возникают дополнительные простои грузовых поездов в ожидании нитки, а также необходимость диспетчерского регулирования движения.

При недробных нитках грузовые поезда следуют определенным расписанием без наложения по сечениям, исключая простои по узловым (стыковочным) станциям, в связи с чем участковая скорость грузовых поездов не уменьшается. Однако, могут появляться простои вагонов на участковых (технических) станциях в ожидании нитки [11].

На рис. 4,5 представлены изображения потоков ниток поездов на участке Бекасово-Сорт. — Орехово-Сорт. в зависимости от метода их прокладки в НГДП.

Закключение

Разработка НГДП с использованием дробной нумерации, как решение инженерной задачи, является проще, так как согласование ниток поездов на узловых (стыковочных) станциях не происходит. При не дробной нумерации требуется согласование по всему маршруту следования между участковыми (техническими) станциями, однако, показатель участковой скорости грузовых поездов будет выше, чем при дробной нумерации.

Итоговый выбор НГДП с дробной или недробной нумерацией ниток грузовых поездов в крупных железнодорожных узлах должен основываться на экономических показателях и показателях эксплуатационной работы.



Таблица 4

Распределение поездов по сечениям южного участка БМО

Сечение	Назначения поездов в сечении
1 – Бекасово–Столбовая	Бекасово–Люблино – k_1 Бекасово–Тула – k_2 Бекасово–Ожерелье – k_3 Бекасово–Рыбное – k_4 Бекасово–Вековка – k_5 Бекасово–Орехово – k_6
2 – Столбовая–Михнево	Бекасово–Ожерелье – k_3 Бекасово–Рыбное – k_4 Бекасово–Вековка – k_5 Бекасово–Орехово – k_6 Тула–Орехово – k_7 Тула–Вековка – k_8
3 – Михнево–Воскресенск	Бекасово–Рыбное – k_4 Бекасово–Вековка – k_5 Бекасово–Орехово – k_6 Тула–Орехово – k_7 Тула–Вековка – k_8 Люблино–Орехово – k_9 Люблино–Вековка – k_{10} Люблино–Рыбное – k_{11} Ожерелье–Орехово – k_{12} Ожерелье–Вековка k_{13}
4 – Воскресенск–Куrowsкая	Бекасово–Вековка – k_5 Бекасово–Орехово – k_6 Тула–Орехово – k_7 Тула–Вековка – k_8 Люблино–Орехово – k_9 Люблино–Вековка – k_{10} Ожерелье–Орехово – k_{12} Ожерелье–Вековка – k_{13} Рыбное–Вековка – k_{14} Рыбное–Орехово – k_{15}
5 – Куrowsкая–Орехово	Бекасово–Орехово – k_6 Тула–Орехово – k_7 Люблино–Орехово – k_9 Ожерелье–Орехово – k_{12} Рыбное–Орехово – k_{15} Перово–Орехово – k_{16} Вековка–Орехово – k_{17}



Рис. 4. Потоки ниток грузовых поездов при их дробной нумерации в НГДП

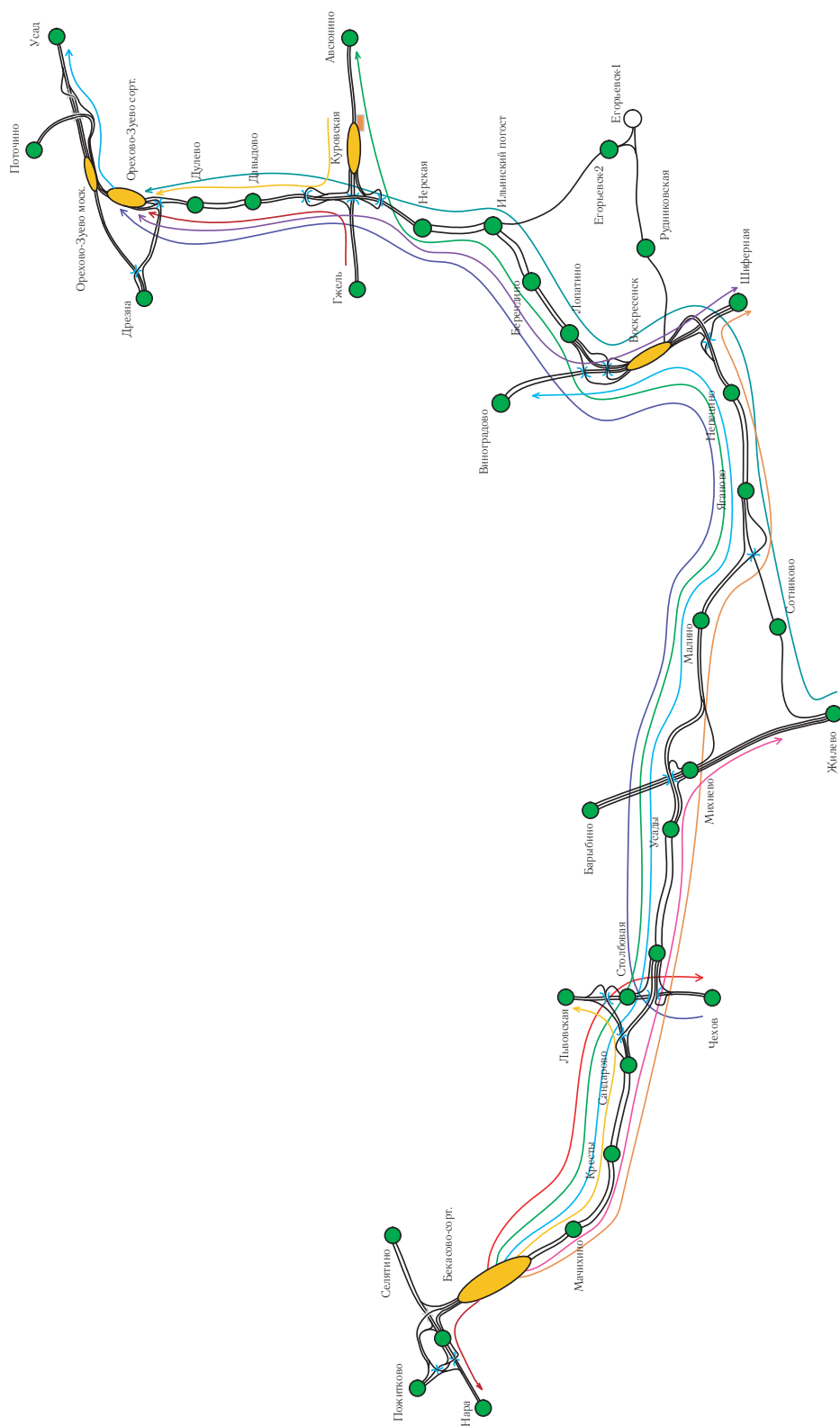


Рис. 5. Поток ниток грузовых поездов при их недробной нумерации в НГДП

Литература

1. Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации. - 3-е изд., испр. и доп. - Москва : ИНФРА-М, 2022. - 622 с. - Текст : непосредственный.
2. Инструкция по учету выполнения графика движения пассажирских, пригородных и грузовых поездов (с изм., внесенными распоряжением ОАО «РЖД» от 31.03.2009 № 668р). - Текст : непосредственный.
3. Московский транспортный узел: перспективы развития: монография / Вакуленко С. П., Колин А. В., Роменский Д. Ю. [и др.]; под ред. канд. техн. наук, проф. С. П. Вакуленко ; Российская академия наук, РУТ (МИИТ). Часть III. Структура грузопотоков различных видов транспорта и основные сценарии развития грузовой работы. - Москва : ВИНТИ РАН, 2020. - 208 с. - ISBN 978-5-902928-88-1. - Текст : непосредственный.
4. Экологический аспект организации грузового обхода в створе коридора «Центр - Юг» / С. П. Вакуленко, А. В. Колин, Д. Ю. Роменский, К. А. Калинин. - Текст : непосредственный // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. - 2021. - № 1(49). - С. 82-92. - DOI 10.20291/2079-0392-2021-1-82-92.
5. Кирякин, В. Ю. Обеспечение учета дробной нумерации грузовых поездов при автоматизированном построении графика движения поездов с помощью аппаратно-программного комплекса ЭЛЬБРУС / В. Ю. Кирякин, А. В. Новгородцева. - Текст : непосредственный // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. - 2015. - № 3. - С. 57-64. - EDN: TUVQQR.
6. Железнодорожные станции и узлы : учебник для студентов, обучающихся по специальности 1904-01.65 «Эксплуатация железных дорог» и направлению подготовки 190700.62 «Технология транспортных процессов» ВПО / В. И. Апатцев [и др.]; под ред. В. И. Апатцева и Ю. И. Ефименко. - Москва : Учеб.-методический центр по образованию на ж.-д. трансп., 2014. - 854 с. (Высшее профессиональное образование. Федеральный государственный образовательный стандарт) (Учебник для специалистов); ISBN 978-5-89035-674-1. - Текст : непосредственный.
7. Ковалев, В. Н. Твердый график движения поездов - основа коренного улучшения организации работы локомотивных бригад / В. Н. Ковалев, В. Л. Сальченко. - Текст : непосредственный // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. - 2008. - № 1. - С. 38-42.
8. Метод оценки изменения электромагнитной обстановки в местах функционирования систем интервального регулирования движения поездов / Л. А. Баранов, П. Ф. Бестемьянов, В. Г. Сидоренко, Е. Г. Щербина. - Текст : непосредственный // Наука и техника транспорта. - 2013. - № 3. - С. 35-40.
9. Абдуллаев, Ж. Я. Особенности определения пропускной способности двухпутных участков / Ж. Я. Абдуллаев. - Текст : непосредственный // Известия Петербургского университета путей сообщения. - 2019. - Т. 16, № 3. - С. 361-371. - DOI 10.20295/1815-588X-2019-3-361-371.
10. Мугинштейн, Л. А. Методические подходы к выявлению факторов, влияющих на стабильность пропуска поездопотоков / Л. А. Мугинштейн, М. И. Мехедов. - Текст : непосредственный // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. - 2014. - № 2. - С. 24-33.
11. Ершов, А. Д. Календарное планирование логистики ввоза массовых грузов в московский железнодорожный узел / А. Д. Ершов, К. А. Калинин, М. В. Роменская. - Текст : непосредственный // Инновационные технологии на железнодорожном транспорте: сборник трудов научно-практической конференции с международным участием, Москва, 20–21 октября 2021 года. - Москва: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет транспорта», 2022. - С. 158-170.

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ СИНТЕЗ ВЗАИМОЗАВИСИМОСТЕЙ В СТАНЦИОННЫХ СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЦЕНТРАЛИЗАЦИИ МЕТРОПОЛИТЕНОВ



С.С. Мальцев

Анализируется отечественный и зарубежный опыт автоматизированного синтеза взаимозависимостей в системах электрической централизации (ЭЦ) магистральных железных дорог и метрополитенов. Приведены особенности синтеза взаимозависимостей в станционных системах ЭЦ метрополитенов с обозначением актуальности решения задач автоматизации построения зависимостей в данных системах. Подчеркнута актуальность разработки методов и алгоритмов автоматизации синтеза релейно-контактных схем ЭЦ станций метрополитенов даже в условиях перехода на микропроцессорные системы ЭЦ.

Ключевые слова: метрополитен, электрическая централизация, таблица взаимозависимостей, релейно-контактная схема, автоматизированный синтез, топологический принцип

EDN: FXHYPM

В данной статье на основе анализа состояния вопроса ставится задача автоматизации процесса синтеза взаимозависимостей в станционных системах ЭЦ метрополитенов.

Следует отметить, что базой для построения взаимозависимостей в ЭЦ служат схематические планы станций (СПС), которые, в свою очередь, являются основой для составления таблиц взаимозависимостей (ТВЗ) маршрутов, стрелок и светофоров. Далее по ТВЗ строятся электрические принципиальные схемы станционных устройств ЭЦ, обеспечивающих безопасность движения электропоездов и определяющих пропускную способность участков линии метрополитена в зависимости от конфигурации путевого развития станций как конечных, так и промежуточных. Вся эта техническая документация разрабатывается проектными организациями и впоследствии используется на этапах строительства, реконструкции, эксплуатации устройств автоматики и телемеханики движения поездов (АТДП) метрополитена.

Особенности синтеза взаимозависимостей в системах ЭЦ станций метрополитенов в условиях цифровой трансформации

В зависимости от применяемой элементной базы системы ЭЦ подразделяются на релейную централизацию, гибридную или релейно-процессорную централизацию, микропроцессорную централизацию.

На действующих метрополитенах Российской Федерации системы ЭЦ построены преимущественно на релейной элементной базе.

Микропроцессорная централизация (МПЦ) как соответствующий тип ЭЦ в настоящее время функционирует на Казанском метрополитене, на восьми станциях пятой линии Петербургского метрополитена, на трех станциях Нижегородского метрополитена [1].

Первая система МПЦ на Московском метрополитене успешно введена в эксплуатацию 9 апреля 2021 года в рамках реконструкции электродепо «Сокол» [2]. Следующий успешный ввод МПЦ на Московском

Мальцев Сергей Сергеевич, заместитель генерального директора – руководитель Департамента проектирования метрополитенов ООО «СтройЖелДорПроект». Область научных интересов: интеллектуальные автоматизированные системы на транспорте.

метрополитене состоялся в начале января 2023 года на Кольцевой линии, где заменили релейные устройства 1954 года на цифровое управление [3].

В настоящее время именно микропроцессорные системы ЭЦ являются флагманом развития отечественных метрополитенов, позволяющим объединять в единый аппаратно-программный комплекс различные подсистемы автоматики телеуправления движением поездов (АТДП) и достичь высокого уровня интеграции в централизованную систему автоматического управления движением электропоездов.

Современная цифровая трансформация транспортного комплекса Российской Федерации уже определила дальнейшую стратегию технического перевооружения как магистрального железнодорожного, так и городского внеуличного транспорта, к которому относится метрополитен.

Требования технического перевооружения в части построения современных цифровых систем ЭЦ указывают на необходимость повышения качества выпускаемых проектов по АТДП и увеличения производительности труда проектировщиков как в рамках нового строительства линий метрополитенов, так и реконструкции действующих.

Процесс проектирования систем ЭЦ метрополитенов, в том числе и микропроцессорных, начинается с составления специальных ТВЗ. Ошибки в данных таблицах могут привести к нарушениям правил безопасности движения и эксплуатации метрополитена.

Выявление ошибок в ТВЗ на этапе проведения пусконаладочных работ позволяет избежать опасных ситуаций, связанных с нарушением правил безопасности движения и эксплуатации метрополитена. Однако данное обстоятельство отразится на репутации проектного института и тем самым приведет к большим экономическим потерям.

Автоматический синтез ТВЗ по цифровой модели схематического плана станции метрополитена позволит избежать определенного количества проектных ошибок, связанных с человеческим фактором: недостаточной квалификацией, отсутствием опыта, невнимательностью, усталостью.

Вопросам автоматизации составления ТВЗ по электронной модели схематического плана железнодорожной станции посвящены зарубежные работы [4–10] и отечественная работа [11].

Для станционных систем ЭЦ отечественных магистральных железных дорог составляется известный типовой перечень таблиц взаимозависимостей стрелок и светофоров. Разработка алгоритмов автоматизированного синтеза данных таблиц явилась одним из результатов отечественной работы [11]. Однако в перечень основных таблиц, определяющих взаимоза-

висимости в устройствах электрической централизации магистральных железных дорог, не входит таблица взаимозависимостей маршрутов, которая отражает их взаимную враждебность.

При построении релейных систем ЭЦ станций отечественных метрополитенов предусматривается неблочное исполнение принципиальных схем кнопочных и исполнительных реле. Данные схемы строятся с учетом зависимостей, указанных в графе «Маршруты» ТВЗ маршрутов, стрелок и светофоров. Правильно составленная графа «Маршруты» в ТВЗ представлена на рисунке.

Наличие графы «Маршруты» в ТВЗ, составляемых для станций метрополитенов, является первой особенностью синтеза взаимозависимостей в системах ЭЦ метрополитенов.

Кстати, данная особенность прослеживается в зарубежной работе [10], в которой представлен фрагмент таблицы взаимозависимостей, учитывающей взаимную враждебность маршрутов на железнодорожной станции Познань-Главный в Польше.

Следующими отличительными и неотъемлемыми частями ТВЗ станций метрополитенов являются графы «Замыкающие реле», «Маршрутные кнопки», «Светофоры», «Путевые секции в цепях реле». Графы «Светофоры» и «Путевые секции в цепях реле» в ТВЗ составляются по-разному, в зависимости от основного средства сигнализации, которое применяется на линиях метрополитенов.

Основными средствами сигнализации на линиях отечественных метрополитенов являются: автоматическая локомотивная сигнализация с автоматическим регулированием скорости и предупредительной сигнализацией (АЛС-АРС-ПС) с кодированием по схеме 2/6, дополненная резервным средством сигнализации, автоматической блокировкой без автостопов и защитных участков; путевая автоматическая блокировка (АБ) с автостопами и защитными участками, дополненная АЛС-АРС с кодированием по схеме 1/5.

Основное средство сигнализации на линиях отечественных метрополитенов определяет два различных вида ТВЗ, на основании которых строится ЭЦ. Первой отличительной особенностью данных таблиц является либо безусловное наличие (при АБ), либо полное или частичное отсутствие (при АЛС-АРС-ПС) электромеханических автостопов. При полном их отсутствии в графе «Путевые секции в цепях реле» не учитываются цепи линейных и включающих автостопных реле, а при частичном отсутствии — только цепи линейных реле. Второй отличительной особенностью данных таблиц является либо полное отсутствие (при АБ), либо безусловное наличие (при АЛС-АРС-ПС) в графе «Светофоры» режима

ошибок проектирования приходится на электрические принципиальные схемы ЭЦ.

При современных высоких темпах развития Московского метрополитена как в плане строительства новых и продления существующих линий, так и в плане комплексной модернизации устаревших систем автоматики и телемеханики движения поездов, включая ЭЦ, возникает острая необходимость повышения скорости производства проектных работ вследствие их большого количества и сжатых сроков выполнения. Следовательно, важнейшим направлением является увеличение объема схем АТДП метрополитенов, синтезируемых программно с помощью специализированных автоматизированных систем.

Принципы автоматизированного синтеза взаимозависимостей в станционных системах ЭЦ метрополитенов

Принципы автоматизированного синтеза подразделяются на топологический и индивидуальный.

Топологический принцип автоматизированного синтеза используется при построении железнодорожных ТВЗ в системах ЭЦ по цифровой модели топологии станции. Примером здесь могут послужить зарубежные работы [4;5;8–10] и отечественная работа [11].

Индивидуальный принцип автоматизированного синтеза используется при построении электрических принципиальных схем устройств железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ). Соответствующим примером здесь может послужить отечественная работа [13], в которой представлен алгоритм автоматизированного синтеза схем управления стрелками для железнодорожной системы ЭЦ-12-00. Смысл данного принципа заключается в индивидуальном автоматическом подборе готовых типовых фрагментов схем, из которых формируются те или иные общие схемы контроля и управления устройствами ЖАТ. Подбор осуществляется посредством считывания данных (СПС), разработанного в электронном виде.

Учитывая отечественный и зарубежный опыт магистральных железных дорог, процесс автоматизации построения ТВЗ в станционных системах ЭЦ метрополитенов должен следовать преимущественно топологическому принципу синтеза, в соответствие с которым зависимости в ТВЗ формируются согласно топологии путевого развития станции метрополитена.

Следование топологическому либо индивидуальному принципу автоматизированного синтеза тех или иных релейно-контактных схем ЭЦ станций метрополитенов необходимо определять с учетом сложности автоматизации процесса построения зависимостей в данных схемах.

По мнению автора данной статьи, индивидуальный принцип синтеза в решении задач автоматизации построения РКС ЭЦ метрополитенов является предпочтительнее топологического. Причиной этому является более низкий уровень сложности разработки алгоритмов. Топологический принцип сложнее из-за большой размерности задачи, связанной с автоматическим выстраиванием всех необходимых контактов реле в одну общую схему ЭЦ по цифровой модели топологии станции.

Возможности современных систем автоматизированного синтеза ЖАТ движения поездов метрополитена в части построения ЭЦ станций

В настоящее время основными отечественными системами автоматизированного синтеза устройств ЖАТ являются «Автоматизированное рабочее место проектировщика технической документации» (АРМ-ПТД) совместной разработки Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I и группы компаний «ИМСАТ», а также «Корпоративная автоматизированная система проектирования устройств СЦБ и связи» (КАСПР) разработки АО «Росжелдорпроект».

Основной системой автоматизированного синтеза устройств АТДП метрополитенов, которую применяют такие проектные организации, как СтройЖелДорПроект, Ленметрогипротранс, Метрогипротранс, является АРМ-ПТД, адаптированное под специфику метрополитенов.

АРМ-ПТД «Метрополитен» содержит модуль синтеза таблицы маршрутов, предназначенный для автоматического построения графы «Маршруты» ТВЗ на основе схематического плана станции метрополитена. Однако возможности данного модуля не позволяют в автоматическом режиме правильно синтезировать таблицу маршрутов в соответствие с примером, показанным на рисунке. Также АРМ-ПТД «Метрополитен» автоматически не синтезирует такие графы, как «Номера путей», «Замыкающие реле», «Маршрутные кнопки», «Стрелки», «Светофоры», «Путевые секции в цепях реле».

В итоге на сегодняшний день АРМ-ПТД и КАСПР позволяют полностью синтезировать ТВЗ только для магистрального железнодорожного транспорта.

Автоматизация синтеза РКС ЭЦ как в АРМ-ПТД, так и в КАСПР состоит главным образом в использовании готовых типовых фрагментов схем ЭЦ, выбор, объединение и редактирование которых осуществляется проектировщиком. В соответствии с [13] проектирование 60–80% объема принципиальных схем не автоматизировано. Поэтому важной задачей

является повышение объема РКС ЭЦ, синтезируемых программно, и, следовательно, разработка новых методов, алгоритмов и программного обеспечения для решения данной задачи.

Следует отметить, что за рубежом также используются специализированные системы автоматизированного синтеза для ЖАТ, такие как немецкая WSP ProSig и норвежская RailComplete [14;15], австралийская VicTrack Drawing Management System [16] и др.

Изложенное позволяет сделать соответствующий вывод о том, что представленные отечественные и зарубежные системы автоматизированного синтеза преимущественно ориентированы на построение устройств безопасности движения поездов для магистральных железных дорог, включая ЭЦ. В свою очередь, для создания подобных полноценных специализированных систем автоматизированного синтеза устройств АТДП метрополитенов, включая станционные системы ЭЦ, требуется разработка новых и совершенствование существующих методов и алгоритмов. При этом в процессе решения задач автоматизации построения ЭЦ необходимо учитывать представленные выше особенности синтеза взаимозависимостей в станционных системах ЭЦ метрополитенов и с точки зрения максимальной эффективности правильно следовать либо топологическому, либо индивидуальному принципу синтеза.

Заключение

1. Анализ отечественного и зарубежного опыта автоматизации процесса синтеза взаимозависимостей в системах ЭЦ указывает на высокую степень разработанности вопроса в части автоматизированного построения ТВЗ для магистральных железных дорог.

2. Современный уровень автоматизации процесса синтеза взаимозависимостей в системах электриче-

ской централизации метрополитенов сводится к использованию готовых типовых фрагментов ТВЗ и схем ЭЦ, выбор, объединение и редактирование которых осуществляется проектировщиком вручную.

3. Проведенный анализ последствий ручного процесса синтеза взаимозависимостей в ЭЦ магистральных железных дорог и метрополитенов указывает на актуальность решения задач автоматизации построения зависимостей в станционных системах ЭЦ метрополитенов.

4. Представленные особенности построения ТВЗ маршрутов, стрелок и светофоров станций метрополитенов указывают на необходимость разработки новых методов и алгоритмов автоматизации процесса синтеза следующих граф в данных ТВЗ: «Маршруты», «Замыкающие реле», «Маршрутные кнопки», «Светофоры», «Путевые секции в цепях реле».

5. Разработка методов и алгоритмов автоматизации построения ТВЗ в станционных системах ЭЦ метрополитенов должна вестись преимущественно в рамках топологического принципа синтеза с учетом отечественного и зарубежного опыта магистральных железных дорог.

6. Задача автоматизации процесса синтеза РКС ЭЦ станций метрополитенов сохраняет свою актуальность даже в условиях перехода на микропроцессорные системы ЭЦ.

7. При разработке методов и алгоритмов автоматизации построения РКС ЭЦ метрополитенов необходимо учитывать опыт магистральных железных дорог в части индивидуального принципа синтеза.

8. При разработке методов и алгоритмов автоматизации построения РКС ЭЦ метрополитенов в рамках топологического принципа синтеза необходимо учитывать размерность задачи. 

Литература

1. Акционерное общество «Научно-исследовательский институт точной механики» (АО «НИИ ТМ»): [сайт]. - 2022. - URL: http://www.niitm.spb.ru/produkcia/sistema_dvizhenie/ (дата обращения: 07.12.2022). - Текст : электронный.
2. Gudok.ru : [сайт] / учредитель АО «Издательский дом «Гудок». - Москва, 2011. - Обновляется в течение суток. - URL: <https://gudok.ru/newspaper/?ID=1559934&archive=2021.04.13> (дата обращения: 07.12.2022). - Текст : электронный.
3. 1520 Сигнал : [сайт]. - 2003. - URL: <https://1520signal.ru/press/2023-god/divizion-zhat-gk-1520-vvyel-tsfirovye-upravlenie-dvizheniem-poezdov-na-koltsevoy-linii-moskovskogo-m/?ysclid=ldojyids7u714097-140> (дата обращения: 16.01.2023). - Текст : электронный.
4. D. Tombs, N. Robinson and G. Nikandros, Signalling control table generation and verification, Proc. of the Conf. on Railway Engineering (CORE2000), Railway Technical Society of Australasia, November 2002. - URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Signalling-Control-Table-Generation-and-Tombs-Robinson/3ce990a1fb62f99d22c18d2477a413787eca5721> (дата обращения: 07.12.2022).

5. U. Yildirim, M. S. Durmuş, M. Soylemez. Automatic Interlocking Table Generation for Railway Stations using Symbolic Algebra, 13th IFAC Symposium on Control in Transportation Systems, The International Federation of Automatic Control, September 12-14, 2012. Sofia, Bulgaria. - URL: <https://doi.org/10.3182/20120912-3-BG-2031.00035> (дата обращения: 07.12.2022).
6. A. Mirabadi and M. B. Yazdi. Automatic Generation and Verification of Railway Interlocking Control Tables Using FSM and NUSMV, Transportation Problems, 2009, Volume 4, pp. 103-110. - URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Automatic-generation-and-verification-of-railway-Mirabadi-Yazdi/5ded8486479d24baf6624fc16b8eb364eb48e0c6> (дата обращения: 07.12.2022).
7. Yan Cao, Tianhua Xu, Tao Tang, Haifeng Wang, Lin Zhao. Automatic generation and verification of interlocking tables based on Domain Specific Language for Computer Based Interlocking Systems (DSL-CBI), 2011 IEEE International Conference on Computer Science and Automation Engineering, 10-12 June 2011. Shanghai. - URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5952519> (дата обращения: 07.12.2022).
8. I. Mutlu, U. Yildirim, M. S. Durmuş, M. Soylemez. Automatic Interlocking Table Generation for Non-ideal Railway Yards, 1st IFAC Workshop on Advances in Control and Automation Theory for Transportation Applications, September 16-17, 2013. Istanbul, Turkey. - URL: <https://doi.org/10.3182/20130916-2-TR-4042.00035> (дата обращения: 07.12.2022).
9. A. Kuzu, O. Songuler, A. Sonat, S. Turk, B. Birol, E. Dogruguvan. Automatic interlocking table generation from railway topology, 2011 IEEE International Conference on Mechatronics, 13-15 April 2011. Istanbul, Turkey. - URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5971206> (дата обращения: 07.12.2022).
10. M. Jurczak, J. Młynczak. Method for automation of generation of interlocking tables for station traffic control devices, WUT Journal of Transportation Engineering, 2021, vol. 131, pp. 45-58. - URL: <https://pnpw-transport.publisherspanel.com/resources/html/article/details?id=214669&language=en> (дата обращения: 07.12.2022).
11. Гордон, М. А. Методы и алгоритмы автоматизации синтеза взаимозависимостей положения стрелок и показаний светофоров в системах электрической централизации : специальность 05.22.08 «Управление процессами перевозок» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Гордон Михаил Аркадьевич ; Петербургский государственный университет путей сообщения. - Санкт-Петербург, 2021. - 175 с. - Библиогр.: с. 127-133. — Текст : непосредственный.
12. Разработка и внедрение средств автоматизированного проектирования систем железнодорожной автоматики и телемеханики / М. Н. Василенко, Д. В. Зуев, Д. В. Седых, М. А. Гордон. — Текст : электронный // Автоматика на транспорте. - 2017. - № 3 (2). - С. 250–269. - URL: <http://atjournal.ru/ru/View/Article/1084> (дата обращения: 21.12.2022).
13. Веселков, С. М. Алгоритмизация синтеза схем железнодорожной автоматики / С. М. Веселков. — Текст : электронный // Известия Петербургского университета путей сообщения : Proceedings of Petersburg Transport University. - 2006. - № 4 (9). - С. 90-100. - URL: http://izvestiapgups.org/assets/pdf/04_2006.pdf (дата обращения: 26.12.2022).
14. Luteberget Bjornar. Automated Reasoning for Planning Railway Infrastructure: doctoral dissertation / Oslo, 2019 - 208 p. - URL: <https://www.mn.uio.no/ifi/english/research/projects/railcons/documents/luteberget-thesis-b5-2019-09-17.pdf> (дата обращения: 26.12.2022).
15. Shahzad Ali Khan. Railway Interlocking Design Support Tools: master's thesis / Oslo, 2016 - 77 p. - URL: <https://www.duo.uio.no/bitstream/handle/10852/54578/Essay.pdf?sequence=7&isAllowed=y> (дата обращения: 26.12.2022).
16. CAD & Drafting Manual for Signalling Drawings (ESD-25-01). Engineering and Systems Signalling Standard, version 1.3, applied to the Australian Rail Track Corporation Limited (ARTC). - URL: <https://extranet.artc.com.au/docs/eng/signal/procedures/design/ESD-25-01.pdf> (дата обращения: 26.12.2022).

ИССЛЕДОВАНИЕ СОЗДАНИЯ ШУМОВОЙ ПОЛОСЫ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИМ МЕТОДОМ



Р.М. Мухаметшина



М.М. Махмутов

Представлены данные экспериментального исследования способа создания шумовой полосы на автомобильных дорогах термомеханическим методом. Шумовые полосы все чаще используются как элемент активной безопасности дорожного движения, а предлагаемый способ нанесения шумовой полосы позволяет повысить ее эксплуатационные характеристики, что определяет актуальность данной работы.

Ключевые слова: дорожное полотно, шумовая полоса, термомеханический метод, автомобильная дорога, безопасность

EDN: MKDFGV

Под определением «шумовые полосы» обычно понимают неравномерности, намеренно создаваемые на поверхности дороги, для создания неожиданного изменения восприятия направления движения водителем транспортного средства, например, автомобиля, а также мотоцикла или большегрузного транспортного средства. Практически эти полосы представляют собой углубления (обычно расположенные в поперечном направлении полосы движения и, таким образом, к направлению движения транспортных средств), получаемые посредством «киркования» поверхности дороги, т.е. посредством удаления частей поверхности дороги [1].

Устройство фрезерованной шумовой полосы выполняется с помощью самоходной или навесной дорожной фрезы с шириной фрезерного барабана до 50 см. Продольная шумовая полоса, проводимая методом фрезерования, должна состоять из отдельных чередующихся элементов шириной от 20 до 40 см и длиной от 10 до 20 см. Глубина элементов составляет от 10 до 20 мм. Интервал между осями соседних элементов должен быть не менее двух длин элементов и не более 1,2 м. При нарезании шумовой полосы, толщина верхнего слоя асфальтобетона должна превышать глубину нарезки шумовых полос так, чтобы не нарушалась целостность слоев дорожного покрытия [2].

Мухаметшина Румия Мугаллимовна, кандидат химических наук, доцент, доцент кафедры «Химия и инженерная экология в строительстве» Казанского государственного архитектурно-строительного университета. Область научных интересов: транспортно-технологические комплексы и автоматизированные системы в строительстве, взаимодействие рабочих органов дорожно-строительных машин с обрабатываемой средой, влияние климатических факторов на свойства материалов и надежность дорожно-строительных машин, исследование комплексов меди(II) с оксиэтилидендифосфоновой кислотой. Автор 50 научных работ. Имеет четыре патента на изобретения.

Махмутов Марат Мансурович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Цифровые дорожные технологии» Казанского государственного архитектурно-строительного университета. Область научных интересов: транспортно-технологические комплексы и автоматизированные системы в строительстве, технологические процессы и организация дорожной деятельности, сервис транспортных машин, повышение тягово-сцепных свойств колесных машин. Автор 160 научных работ. Имеет 12 патентов на изобретения.

Горюнова Светлана Михайловна, кандидат химических наук, доцент, доцент кафедры «Аналитическая химия, сертификация и менеджмент качества» Казанского национального исследовательского технологического университета. Область научных интересов: организация и технология испытаний, управление качеством в испытательной лаборатории, технология методов измерений и испытаний. Автор 68 научных работ, в том числе двух монографий. Имеет два патента на изобретения.

Создание шумовых полос, таким образом, является все более привлекательным решением в рамках мер усовершенствования дорог и безопасности вождения, где с этой целью шумовые полосы (обычно известные также как «предохранительные полосы» типа «стиральной доски») предпочтительно создают в особенно опасных местах, например, между полосой движения и аварийной полосой, а также вблизи пунктов взимания дорожных сборов и/или перекрестков и разворотов. Способ установки шумовых полос вместо нанесения их фрезерованием позволит сохранить целостность дорожного покрытия. При использовании фрезы несущий слой дорожной одежды теряет прочностные свойства и в процессе эксплуатации дороги появятся усталостные трещины. Чтобы избежать таких последствий разрабатываются другие, менее разрушительные способы установки шумовых полос.

В данной статье предлагается способ установки шумовой полосы термомеханическим методом, содержащим углубление проезжей части, поперечный профиль которого соответствует форме цилиндра диаметром 200 мм и 200 мм в высоту, строительство искусственной неровности такой конструкции не требует затрат строительных материалов, для этого асфальт нагревают с помощью инфракрасного нагревателя и прикатывают одноосным вибрационным катком с кулачками. Данный способ применяли на дороге с асфальтом марки Б2 с геометрическими параметрами: 100 мм в длину, 200 мм в ширину [3] и величиной углубления в 14 мм круглой формы.

Первым государственным стандартом, регламентирующим порядок выполнения шумовых полос, стал ГОСТ Р 52766-2007 «Дороги автомобильные общего пользования. Элементы обустройства. Общие требования», утвержденный приказом Федерального агентства по

техническому регулированию и метрологии от 23 октября 2007 года №270-ст.

Нанесение шумовых полос возможно с помощью наклейки на дорожную поверхность линий из пластичных материалов, обустройства поперечных впадин и другими способами. В табл. 1 представлены характеристики шумовой полосы перед участком повышенной опасности в зависимости от необходимой величины снижения скорости.

Величину необходимого снижения скорости находят как разницу между фактической скоростью и официально разрешенной. Фактическую скорость определяют с помощью натуральных наблюдений в течение дня и усреднения показателей скорости. На участках автомобильных дорог, где используются шумовые полосы, устанавливают знаки 1.17 «Искусственная неровность» (рис. 1) и 3.24 «Ограничение максимальной скорости» (рис. 2) по ГОСТ Р 52290 «Технические средства организации дорожного движения. Знаки дорожные. Общие технические требования».

Для более полного нормирования и применения шумовых полос на дорогах общего пользования приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 26 марта 2015 г. №184-ст был принят ГОСТ 33025-2014 [4], в котором изложены технические требования по обустройству шумовых полос; требования безопасности и охраны окружающей среды; методы контроля по обустройству шумовых полос; указания по применению шумовых полос; гарантии изготовителя.

Данная работа посвящена поиску оптимальных параметров для нанесения продольных шумовых полос термомеханическим методом [5]. Данный метод заключается в нагреве асфальтобетона до определенной температуры и приложении на него необходи-

Таблица 1

Параметры шумовых полос

Величина необходимого снижения скорости, %	Требуемое число поперечных полос, шт.	Расстояние от начала опасного участка до первой полосы, м	Расстояние между полосами, м							
			1...2	2...3	3...4	4...5	5...6	6...7	7...8	8...9
20	4	10	10	15	20	—	—	—	—	—
25	5	6	6	10	15	20	—	—	—	—
30	6	6	6	6	10	15	20	—	—	—
40	8	3	3	3	6	6	10	15	20	—
50	9	3	3	3	3	3	6	10	15	20

Примечание. Глубина (или высота) первых трех полос 1,5...2 см, последующих — 2,5...3 см.



Рис. 1. Знак 1.17 «Искусственная неровность»



Рис. 2. Знак 3.24 «Ограничение максимальной скорости»

мой нагрузки. Для эксперимента были взяты образцы асфальтобетона марки Б2 (рис. 3) по ГОСТ 9128-2013, доведенные до необходимых требований в лабораторных условиях ООО «ВОЛГА-АВТОДОР». Геометрические параметры образцов асфальтобетона представлены на рис. 3.

Характеристика асфальта марки Б2:

- плотный асфальтобетон, остаточная пористость 2,5...5 %;
- относится к мелкозернистым асфальтобетонам (зерна размером до 20 мм);
- содержание камня (щебня, гравия) в составе от 30 до 40 %;
- оптимальная температура для укладки 145...155 °С.

В состав асфальта марки Б2 входят песок, отсе́вы дробления, битум, щебень, минеральные порошки.

Затем необходимо выбрать форму углубления. Идеальной формой для углубления будет круг, так как такая форма потребует минимальных сил для создания углублений и минимизирует нагрузку на ходовую часть автомобиля — повторяет форму колеса автомобиля.

Геометрические параметры для продольных шумовых полос, выполненных термомеханическим методом, были выбраны на основе рекомендаций метода фрезерования. В ГОСТ 33025-2014 [3] для шумовых полос, выполненных методом фрезерования, есть следующие рекомендации по геометрическим параметрам:

- длина сегмента от 0,1 до 0,2 м;
- ширина сегмента от 0,2 до 0,4 м;
- глубина сегмента от 1 до 2 см.

Размеры образцов асфальта позволяют уложиться в минимальные размеры по ГОСТ 33025-2014 [3]. Испытательные размеры длины и ширины сегмента будут 10 и 20 см, соответственно. Для нахождения величины углубления круглой формы необходимо провести геометрический расчет (рис. 4). Необходимо от двух крайних точек длины провести окружности раз-

мером с величину длины (10 см) сегмента. От точки пересечения окружностей необходимо провести еще одну окружность по крайним точкам линии. Так мы определим форму углубления в разрезе сечения шумовой полосы [6]. Проведем вертикальную прямую по центру линии и измерим участок от линии до окружности. Этот участок является расчетным размером углубления, которое составляет 1,34 см, что укладывается в рекомендации ГОСТ 33025-2014 [3].

Образец для придания формы углубления должен быть в форме цилиндра диаметром 200 мм и 200 мм в высоту и выдерживать высокую физическую нагрузку (рис. 5).

Испытания проводились в лаборатории государственного казенного учреждения «Главтатдортранс». Опыты были проведены следующим образом. Над образцом асфальта располагался цилиндрический образец для придания формы углубления (см. рис. 5). Образцы асфальта разогревались в специальной конвекционной печи (сухожаровом шкафу) memmert UNE 200 (рис. 6). Задавались разные температуры разогрева асфальта. После этого разогретый образец направлялся под гидравлический пресс ИП-1000-0 (рис. 7). На гидравлическом прессе задавалась нагрузка разной величины через определенный промежуток времени [7;8]. Затем снимали нагрузку с образцов и измеряли геометрические параметры углубления, опыты проводились 8 раз. Результаты измерений показаны в табл. 2.

Из приведенных экспериментальных данных следует, что минимальным геометрическим параметрам продольной шумовой полосы для асфальта марки Б2, соответствуют температура асфальта 140 °С, направленная сила 42 кН и время приложения нагрузки 30 с.

Исследуемые факторы рассчитывались по следующим формулам:

$$X_1 = \frac{T - 142}{14}, \quad (1)$$

где T — температура нагрева асфальта, °С.



Рис. 3. Измерение геометрических параметров образцов

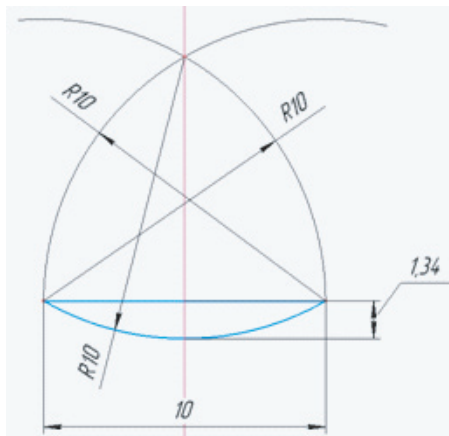


Рис. 4. Геометрический расчет формы и величины углубления (размеры даны в см)



Рис. 5. Образец для придания формы углубления



Рис. 6. Сухожаровой шкаф temmert UNE 200: образец асфальта внутри сухожарового шкафа



Рис. 7. Гидравлический пресс ИП-1000-0

Таблица 2

Зависимость величины углубления от переменных факторов

Фактор	Номер эксперимента							
	1	2	3	4	5	6	7	8
$T, ^\circ\text{C}$	128	132	136	140	144	148	152	156
$F, \text{кН}$	30	33	37	40	42	45	47	50
$t_F, \text{с}$	45	37	32	30	22	18	15	15
$h, \text{мм}$	6,5	8	11,5	14	15,8	18,1	20,7	22

$$X_2 = \frac{t_F - 30}{15}, \quad (2)$$

где t_F — время приложения силы, с.

$$X_3 = \frac{F - 40}{10}, \quad (3)$$

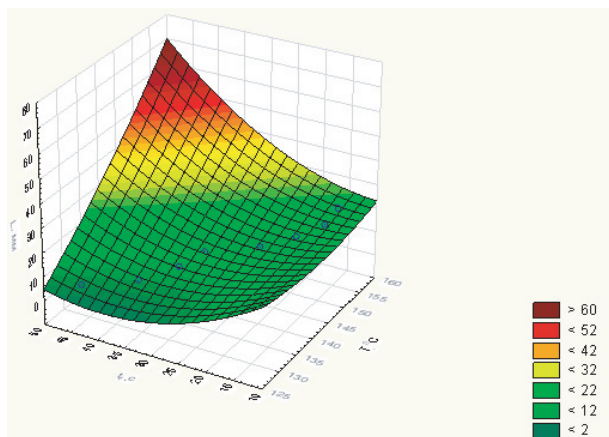
где F — сила, приложенная к асфальту, кН.

На рис. 8,9 представлены трехмерные графики поверхностей для h — величины углубления. Графики составлены с помощью программы Statsoft Statistica. Эта программа помимо графика выдает уравнение регрессии [9;10].

Уравнение регрессии по этому графику выглядит следующим образом:

$$h = 345,8712 - 7,8002 \cdot x - 3,9844 \cdot y + \\ + 0,0254 \cdot x \cdot x + 0,0466 \cdot x \cdot y + 0,0123 \cdot y \cdot y, \text{ мм} \quad (4)$$

На графике (см. рис. 8) показаны оптимальные зоны для параметров зависимости от T и t_F . Наиболее оптимальная зона находится в светло-зеленой зоне. По графикам оптимальные значения глубины углубления h находятся в пределах от 12 до 22 мм. Нужна

Рис. 8. График поверхностей h в зависимости от T и t_F

лишь часть зоны от 14 до 20 мм, чтобы уложиться в рекомендации ГОСТ 33025-2014 [3]. С четвертой по седьмую точку экспериментальные значения по всем параметрам попадают под требования ГОСТа.

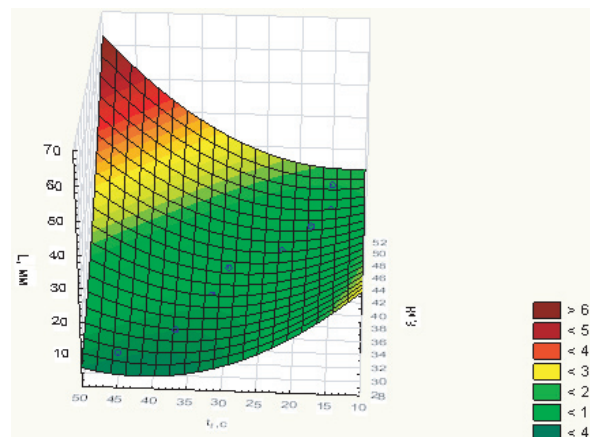
Уравнение регрессии по этому графику выглядит следующим образом:

$$h = 139,0509 - 4,183 \cdot x - 4,2697 \cdot y + \\ + 0,0395 \cdot x \cdot x + 0,068 \cdot x \cdot y + 0,0285 \cdot y \cdot y, \text{ мм} \quad (5)$$

На графике (см. рис. 9) показаны оптимальные зоны для параметров зависимости от F и t_F . Наиболее оптимальная зона находится в светло-зеленой зоне. Оптимальные значения h находятся в пределах от 14 до 24 мм. Нужна лишь часть зоны от 14 до 20 мм, чтобы уложиться в рекомендации ГОСТ 33025-2014 [3].

Уравнение регрессии по этому графику выглядит следующим образом:

$$F = 26,41576 - 3,0258 \cdot x - 5,4486 \cdot y + \\ + 0,0105 \cdot x \cdot x + 0,0344 \cdot x \cdot y + 0,0138 \cdot y \cdot y. \quad (6)$$

Рис. 9. График поверхностей h в зависимости от F и t_F

На графике (рис. 10) показаны оптимальные зоны для параметров зависимости от T и t_F . Наиболее оптимальная зона находится в светло-зеленой зоне. Следовательно, для значения F оптимальные значения находятся в пределах от 38 до 48 кН. Четвертый опыт, которому соответствует искомый результат $F=40$ кН, входит в зону оптимальных значений.

Уравнение регрессии по этому графику выглядит следующим образом:

$$T, ^\circ\text{C} = 28,99795 - 11,1207 \cdot x - 5,6025 \cdot y + 0,2444 \cdot x \cdot x + 0,2004 \cdot x \cdot y + 0,0462 \cdot y \cdot y. \quad (7)$$

На графике (рис. 11) показаны оптимальные зоны для параметров зависимости от значения глубины углубления h и температуры t_F . Наиболее оптимальная зона находится в светло-зеленой зоне. Для расчетных значений T оптимальные параметры находятся в пределах от 148 до 168 $^\circ\text{C}$. Четвертый опыт, которому соответствует искомый результат $T=140$ $^\circ\text{C}$, находится близко к зоне оптимальных значений [11]. Следуя из графика, возможно, что при создании более высокой температуры (от 148 до 168 $^\circ\text{C}$) каче-

ство проводимых испытаний было бы лучше. Но при нагревании асфальта выше нормы есть риск выгорания битума и ухудшения эксплуатационных свойств асфальта [12;13].

Выводы

Термомеханический способ нанесения шумовой полосы может быть альтернативой методу фрезерования, так как не разрушает поверхностный слой асфальта, а лишь переуплотняет его, сохраняя его целостную структуру.

По экспериментальной части работы можно сделать следующие выводы. Для того, чтобы нанести продольную шумовую полосу термомеханическим методом на дороге с асфальтом марки Б2 с геометрическими параметрами 100 мм в длину, 200 мм в ширину (минимальные размеры по ГОСТ 33025-2014 [3]) и величиной углубления в 14 мм круглой формы, необходимы следующие условия: твердая прочная заготовка цилиндрической формы диаметром 200 мм и длиной 200 мм, асфальт необходимо разогреть до 140 $^\circ\text{C}$ и приложить на него нагрузку через заготовку 40 кН в течение 30 с.

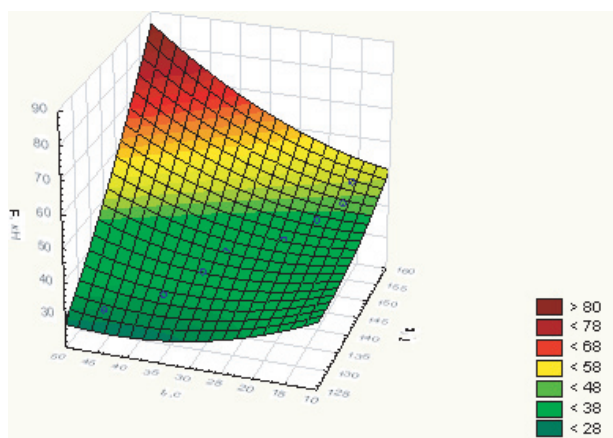


Рис. 10. График поверхностей для F в зависимости от T и t_F

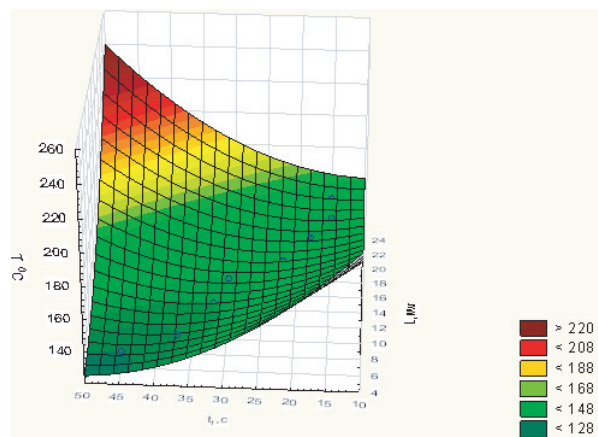


Рис. 11. График поверхностей для температуры T в зависимости от h и t_F

Литература

1. ГОСТ Р 52605 - 2006. Технические средства организации дорожного движения. Искусственные неровности. Общие технические требования. Правила применения = Traffic control devices. Road bumps and road humps. General technical requirements. Application rules : национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 11 декабря 2006 г. №295-ст. : дата введения : 2008-01-01 / разработан Федеральным государственным унитарным предприятием «РОСДОРНИИ» (ФГУП

«РОСДОРНИИ») по заказу Федерального дорожного агентства - Москва: Стандартинформ, 2007. - 14 с. - Текст : непосредственный.

2. Пугин, К. Г. Современные материалы нанесения дорожной разметки / К. Г. Пугин, В. С. Юшков. - Текст : непосредственный : материалы международной научно-практической конференции «Проблемы функционирования систем транспорта» (г. Тюмень, 18-19 ноября 2010 г.). - Тюмень : Тюменский индустриальный университет, 2010. - С. 277-280.

3. ГОСТ 33025 - 2014. Дороги автомобильные общего пользования. Полосы шумовые. Технические условия = Automobile roads of general use. Rumble strips. Technical requirements : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 26 марта 2015 г. №184-ст.: дата введения: 2015-07-01 / разработан Обществом с ограниченной ответственностью «Центр инженерно-технических исследований «Дорконтроль» (ООО ЦИТИ «Дорконтроль») - Москва: Стандартинформ, 2019. - 15 с. - Текст : непосредственный.

4. ГОСТ 32830 - 2014. Дороги автомобильные общего пользования. Материалы для дорожной разметки. Технические требования = Automobile roads of general use. Road marking materials. Technical requirements : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 2 февраля 2015 г. №50-ст.: дата введения: 2015-10-01. / разработан Обществом с ограниченной ответственностью Центр инженерно-технических исследований «Дорконтроль», Межгосударственным техническим комитетом по стандартизации МТК 418 «Дорожное хозяйство». - Москва: Стандартинформ, 2019. - 11 с. - Текст: непосредственный.

5. Совершенствование рецептур и технологии производства пластичных материалов для дорожной разметки на полимерной основе : монография / А. П. Бажанов, С. М. Евтеева, С. И. Возный [и др.] ; под науч. ред. А. В. Кочеткова ; М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное гос. бюджетное образовательное учреждение высш. проф. образования «Пензенский гос. ун-т архитектуры и стр-ва» (ПГУАС), Федеральное гос. бюджетное образовательное учреждение высш. проф. образования «Саратовский гос. технический ун-т им. Ю. А. Гагарина», Российская акад. трансп. - Пенза : ПГУАС, 2015. - 199 с. - ISBN 978-5-9282-1317-6. - Текст : непосредственный.

6. Дорожно-строительные машины и комплексы : учебник для вузов по специальности «Строит. и дор. машины и оборуд.» / В. И. Баловнев, А. Б. Ермилов, А. Н. Новиков [и др.]; под общ. ред. В. И. Баловнева. - Москва : Машиностроение, 1988. - 383 с. - ISBN 5-217-00090-2. - Текст : непосредственный.

7. Машины для содержания и ремонта городских и автомобильных дорог : учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности «Подъем.-трансп., строит., дорож. машины и оборудование», направление подготовки «Трансп. машины и трансп.-технол. комплексы» / Комлев А. И. [и др.]; под общ. ред. В. И. Баловнева. - изд. 2-е, доп. и перераб. - Москва ; Омск : Омский дом печати, 2005. - 768 с. - ISBN 5-86849-018-5. - Текст : непосредственный.

8. Бандаков, Б. Ф. Дорожные фрезы / Б. Ф. Бандаков, канд. техн. наук - Москва : Машиностроение, 1971. - 136 с. - Текст : непосредственный.

9. Ерохин, Я. С. К вопросу повышения износостойкости деталей машин / Я. С. Ерохин, Т. Р. Габдуллин. - Текст : непосредственный // Техника и технология транспорта. - 2019. - № 1 (10). - С. 3.

10. Сахапов, Р. Л. Влияние исследуемых факторов на мощность фрезерования / Р. Л. Сахапов, М. М. Махмутов. - Текст : непосредственный // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. - 2015. Т. 17, № 2 (4). - С. 896 - 900.

11. Николаева, Р. В. Продольные шумовые полосы на автомобильных дорогах республики Татарстан / Р. В. Николаева. - Текст : непосредственный // Вестник НЦБЖД. - 2015. - № 1 (23). - С. 5-9.

12. Пепина, Л. А. Влияние шумовой продольной полосы на безопасность дорожного движения / Л. А. Пепина, С. М. Шевченко, С. В. Алексеев. - Текст : непосредственный // Неделя науки ИСИ : сборник материалов Всероссийской конференции. 2022. - Санкт-Петербург : Политех –Пресс. - С. 135 -137.

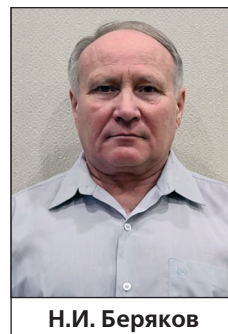
13. Свежинский, В. Н. Шумовые полосы на автомобильных дорогах / В. Н. Свежинский. - Текст : непосредственный // Мир дорог. - 2021. - № 136. - С. 25 - 28.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПРИНЯТЫХ РЕШЕНИЙ В ПРОЕКТЕ ОРГАНИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬСТВА НА СМЕТНУЮ СТОИМОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА ТРАНСПОРТНЫХ ОБЪЕКТОВ

На основе анализа экспертных заключений по 40 железнодорожным мостам были выделены наиболее часто встречаемые решения, на основании которых происходит изменение сметной стоимости в ПОС при строительстве мостов. Определен удельный вес по каждому виду затрат к общей сумме снимаемых денежных средств. Получены пути минимизации данного вида затрат.

Ключевые слова: экспертиза, проект организации строительства, замечания, экономия, рекомендации

EDN: FXJZHD



Н.И. Беряков



С.Н. Беряков

Оценка влияния принятых решений в проекте организации строительства (ПОС) основана на опыте проведения ведомственной экспертизы по объектам инфраструктуры ОАО «РЖД». РУТ (МИИТ) за период с 2005 года по настоящее время провел ведомственную экспертизу более чем по 3000 объектам инфраструктуры ОАО «РЖД». В частности, по всем строительным объектам при подготовке Олимпийских игр 2014 года и чемпионата мира по футболу 2018 года. Завышение сметной стоимости, как показал анализ первых смет, доходило до 60 процентов за счет необоснованного применения коэффициентов, сложных вспомогательных устройств, стоимости материалов и т.д. Территориальный диапазон проверяемой проектно-сметной документации был от Ростова-на-Дону до Хабаровска по всей инфраструктуре ОАО «РЖД». Экономия денежных средств за первые 3 года проведения ведомственной экспертизы составила около 2 млрд руб. в базе. РУТ (МИИТ) является разработчиком Методических рекомендаций

по проведению ведомственной экспертизы по объектам строительства, реконструкции и капитального ремонта инфраструктуры ОАО «РЖД», утвержденной распоряжением ОАО «РЖД» № 2736р от 28.12.2012 г.

На основе анализа экспертных заключений по 40 железнодорожным мостам были выделены наиболее часто встречаемые решения, на основании которых происходит изменение сметной стоимости в ПОС при строительстве железнодорожных мостов, в частности:

- за счет изменения технологических площадок и строительства временной автодороги в зависимости от условий строительства;
- за счет технологически обоснованного применения разгрузочных пакетов;
- за счет укладки плит для проезда и разворота тяжелой техники;
- за счет демонтажа существующего железобетонного пролетного строения;
- за счет изменения технологии сооружения моста;

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 12 научных работ.

Беряков Сергей Николаевич, кандидат экономических наук, финансовый директор — главный бухгалтер АНО «Координационный Экспертный Совет «Межотраслевое Инновационное Импортзамещение на Транспорте». Область научных интересов: повышение эффективности инвестиционной деятельности на транспорте. Автор семи научных работ.

- изменение сметной стоимости за счет применения коэффициентов, учитывающих усложняющие условия строительства ($K=1,15$ на стесненные условия, $K=1,2$ на производство работ в охранной зоне ЛЭП, K – на движение поездов и др.);

- за счет завышения расходов по транспортной схеме по доставке щебня для строительных работ и железобетонных плит;

- за счет временных вспомогательных сооружений;

- за счет изменения объемов шпунта и числа оборачиваемости;

- за счет изменения расстояния доставки и количества вызовов железнодорожного крана;

- за счет сооружения временного рабочего мостика, перемычки и укладки металлических труб;

- за счет транспортировки материалов верхнего строения пути с базы ПЧ и обратно;

- за счет сложных вспомогательных обустройств.

Ниже в табличной форме приведен расчет изменения затрат в зависимости от условий строительства и применяемых решений в ПОС на примере реконструкции моста на 586 км I пути участка Буй–Свеча Северной железной дороги. Заказчик ДКРС ОАО «РЖД» (табл. 1).

Характеристики моста: однопутный однопролетный мост I пути через реку Номжа построен в 1904 году по схеме: $1 \times 33,60$ м. Полная длина моста –

Таблица 1

Обоснование и расчет снижения стоимости строительства

№ п/п	Обоснование (описание процесса и рекомендации экспертизы)	Снижение стоимости, тыс. руб.
1	2	3
1	<i>Лист 2 проекта 2270-06-22-ПОС</i> Согласно п.5.2 пояснительной записки 2270-06-22-ПОС.ПЗ все временные вспомогательные сооружения в русле реки возводятся на свайном основании: металлические сваи Ø530 мм, длиной 9 метров, однако согласно чертежа 2270-06-22-ПОС лист 2 пролетное строение опирается на деревянные лежневые опоры.	Снижение сметной стоимости за счет исключения опор на свайном основании временных вспомогательных сооружений 528,405 тыс. руб.
2	<i>Лист 2 проекта 2270-06-22-ПОС</i> Для сокращения количества «окон» (исключается «окно» по вывозу старого пролета на станцию) и ввиду невозможности выгрузки и разборки старого пролетного строения на станции, при доставке его туда по железной дороге, предлагается изменить технологию замены пролетного строения и разборки старого пролета. В соответствии с имеющейся у подрядчика строительной техникой, заменяется применяемый в проекте гусеничный кран СКГ-63А на кран г/п 50 т на спецшасси. Предлагаемая технология производства работ по замене пролетного строения моста: • в «окно» производится выгрузка нового пролетного строения на параллельную ось, на временные опоры №1 и №4 двумя кранами ЕДК-2000; • краном г/п 50 т на спецшасси производится монтаж плит БМП на новое пролетное строение; • в основное «окно» производится демонтаж старого пролетного строения двумя кранами ЕДК-2000, с установкой его на шпальные клетки в междупутье, затем новое пролетное строение двумя кранами ЕДК-2000 монтируется в проектное положение. После чего старое пролетное строение двумя кранами ЕДК-2000 переставляется на временные опоры №1–№4 (на временные опоры предварительно устанавливаются опорные пакеты); • вне «окон» старое пролетное строение режется на шесть блоков весом около 15 т каждый, краном г/п 50 т на спецшасси грузится на автотранспорт и вывозится для утилизации.	Снижение сметной стоимости за счет изменения технологии и конструкции моста, а также за счет изменения количества окон 1057,859 тыс. руб.

Окончание табл. 1

1	2	3
3	Лист 1 проекта 2270-06-22-ПОС Тоннаж заложеного шпунта (9 т) не соответствует размерам фактически приводимой шпунтовой стенки. Кроме того, сооружение шпальных клеток под старое пролетное строение (в междупутье) требует подрезки конуса насыпи, после которой опорные клетки под аутригеры крана (ближние к мосту со стороны междупутья) оказываются в зоне возможного обрушения грунта, для недопущения просадок шпальных клеток под аутригерами кранов требуется сооружение дополнительных шпунтовых стенок. Общая длина шпунтовой стенки составит $L=29,2$ п.м.	Снижение сметной стоимости за счет изменения объемов шпунта и числа оборачиваемости 123,111 тыс. руб.
4	Локальная смета № 429-3-3 П.П.17,49,84 Некорректно учтена стоимость вызовов железнодорожных кранов ЕДК-2000 в локальных сметах. В соответствии с проектом одновременно используются 2 крана ЕДК-2000, соответственно, один вызов осуществляется со ст.Шарья (стоимость 10492,80 р.), второй вызов со ст.Вологда (стоимость 12425,83 р.). Первые 2 вызова кранов осуществляются для выгрузки нового пролетного строения. Второй раз вызовы кранов необходимы для проведения замены пролетного строения. Согласно ОССП-2001 стоимость доставки кранов учитывается от места приписки крана до станции назначения (в данном случае, это ст.Номжа).	Снижение сметной стоимости за счет частоты вызовов железнодорожных кранов 36,875 тыс. руб.
5	Локальная смета № № 429-3-1, 429-3-2, 429-3-3 В соответствии с согласованной транспортной схемой, учесть в сметах транспортные расходы по доставке щебня для строительных работ и железобетонных плит.	Снижение сметной стоимости за счет завышения расходов по транспортной схеме по доставке щебня для строительных работ и железобетонных плит 319,343 тыс. руб.
	ИТОГО изменение сметной стоимости:	2065,593 тыс. руб.

44,40 м, полное отверстие моста составляет 34,62 м. Пролетное строение — металлическое со сплошными стенками, с пониженной строительной высотой в надпорном сечении, с ездой на мостовых деревянных брусках под нагрузку С14. В соответствии с заданием на проектирование и результатами обследования моста через реку Номжа на 586 км I пути участка Буй—Свеча Северной железной дороги настоящим рабочим проектом предусматривается:

- замена старого металлического пролетного строения моста на новое металлическое с ездой на безбалластном мостовом полотне;
- переустройство опор, связанное с заменой пролетного строения;
- устройство одностороннего кабельного желоба для прокладки коммуникаций;

- укрепление конусов;
- устройство лестничных сходов по откосам насыпи;

- переустройство коммуникаций, связанное с производством строительно-монтажных работ.

Сметная стоимость объекта согласно документации, по которой выпущено предварительное заключение экспертной группы РУТ (МИИТ) №020/6309д составляла 8095,880 тыс. руб. в ценах 2001 г. Изменение сметной стоимости за счет вышеперечисленных замечаний составило 2065,593 тыс. руб. в ценах 2001 г., что соответствует более 25% от общей сметной стоимости.

Для определения удельного веса разного вида затрат от общей суммы снимаемых денежных средств был выполнен анализ по 40 железнодорожным мостам. Выбраны мосты, где удельный вес подго-

товительного периода и вспомогательных работ по отношению к основным объемам значителен и может колебаться в пределах от 10 до 60%, как правило это объекты Северной, Забайкальской, Восточно-Сибирской железных дорог со сложными условиями строительства. Основное количество мостов, принятых для анализа приходится на объекты со сметной стоимостью от 4 до 12 млн руб. в базе.

По данной выборке построен график изменения сметной стоимости от длины моста (рис. 1).

Наиболее часто встречаемые мосты по длине от 10 до 30 м, т.е. категория малых мостов. Сметная стоимость в зависимости от длины моста увеличивается, так при длине моста 20 м она составляет около 11 млн руб. в базе (в ценах 2001 года).

Аналогично расчету, приведенному в табл. 1 по каждому мосту было посчитано снижение сметной стоимости за счет корректировки затрат в ПОС. График полученной экономии сметной стоимости строительства в зависимости от длины моста представлен на рис. 2.

Как видно из рис. 2 наиболее сильное снижение сметной стоимости от длины моста приходится на мосты длиной от 15 до 25 м. По мостам от 30 м процент снижения стоимости моста по сравнению с общей стоимостью уменьшается, так как при увеличении общей стоимости строительства набор сложных вспомогательных обустройств остается практически неизменным. Можно предположить, что при строи-

тельстве средних и больших мостов удельный вес экономии денежных средств от общей стоимости будет значительно снижаться.

Более точный показатель это соотношение экономии денежных средств на удельный показатель, а именно на один погонный метр моста. График полученной экономии сметной стоимости затрат на один погонный метр моста представлен на рис. 3.

Как видно из рис. 3 наибольшая экономия денежных средств приходится на мосты с 600–700 тыс. руб. за один погонный метр в ценах 2001 года. Это уже та категория мостов, которая требует для своего сооружения наличия сложных вспомогательных обустройств, строительной площадки, тяжелой техники, подъездной автомобильной дороги и т.д.

На основе анализа наиболее часто встречаемых замечаний при проведении экспертизы проектно-сметной документации по объектам инфраструктуры ОАО «РЖД» экспертами РУТ (МИИТ) определено процентное соотношение изменения стоимости строительства объекта от принятых решений в ПОС ко всем факторам, снижающим сметную стоимость (рис. 4).

Как видно из рис. 4 основное снятие денежных средств приходилось на ПОС и конструктивно-технологические решения, в частности манипуляции со сложными вспомогательными обустройствами, временные конструкции (разобрал, собрал, переставил и далее), отсыпка и разборка, ремонт подъездной дороги. По всем объектам проводилась комплексная экспертиза.

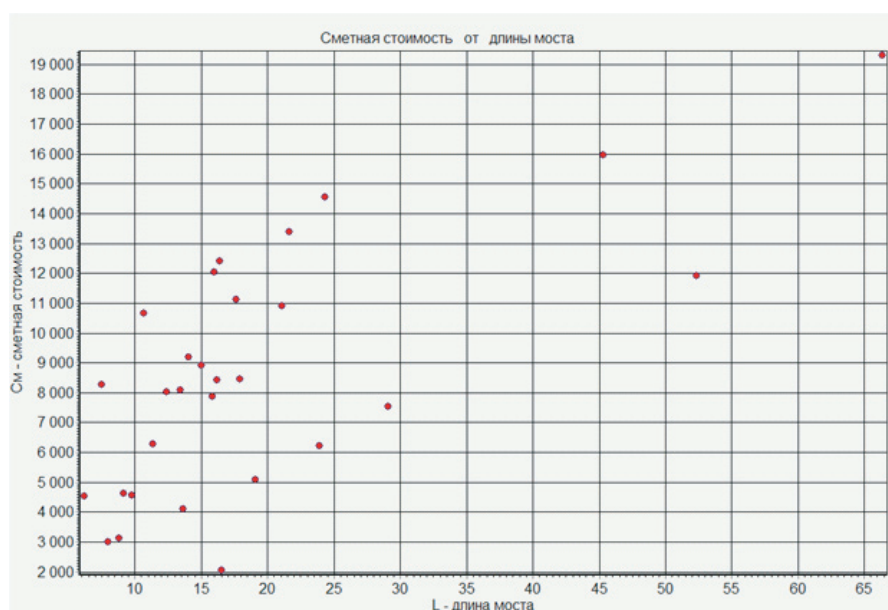


Рис. 1. График изменения сметной стоимости строительства от длины моста

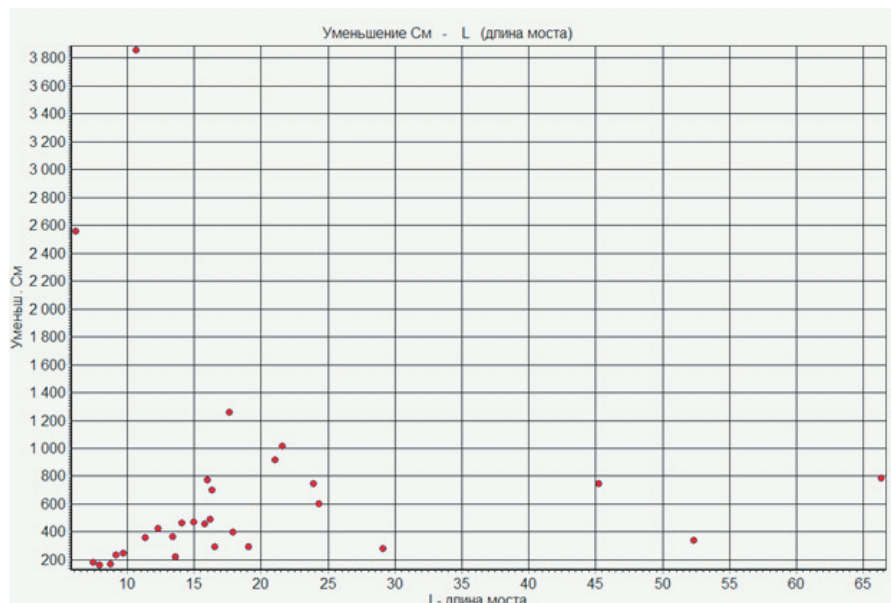


Рис. 2. График полученной экономии сметной стоимости строительства в зависимости от длины моста

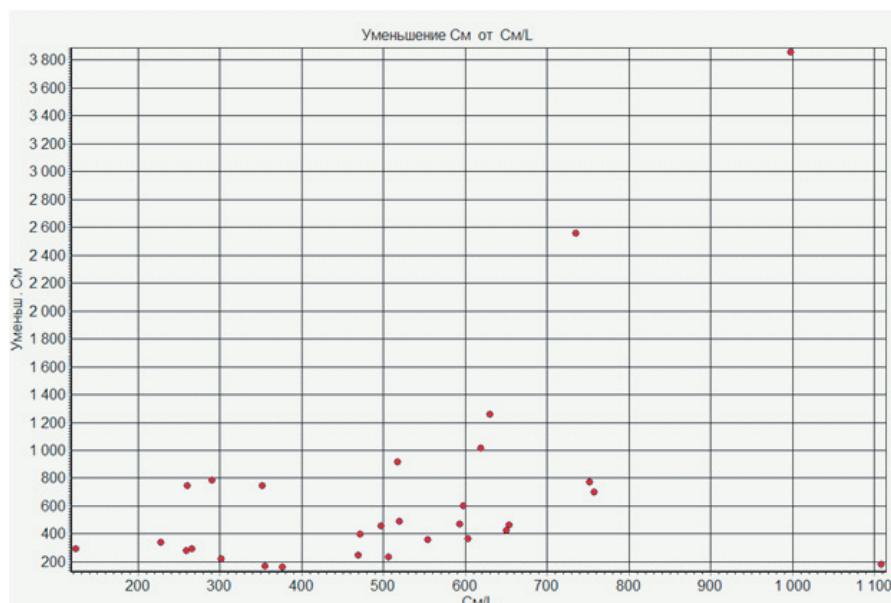


Рис. 3. График полученной экономии сметной стоимости строительства на один погонный метр моста

Общее снятие денежных средств по объекту составило от 15 до 30 процентов от общей сметы.

Исходя из вышеизложенного, для повышения качества проводимой экспертизы и снижения затрат по разделу проекта организации строительства рекомендуется обратить внимание на следующие основные моменты, по которым происходит необоснованное увеличение сметной стоимости работ:

- конструктивные и объемно-планировочные решения;
- смета на строительство объектов капитального строительства;
- объемы строительно-монтажных работ по отдельным зданиям и сооружениям;
- номенклатура и объемы работ, выполняемых в подготовительный период;

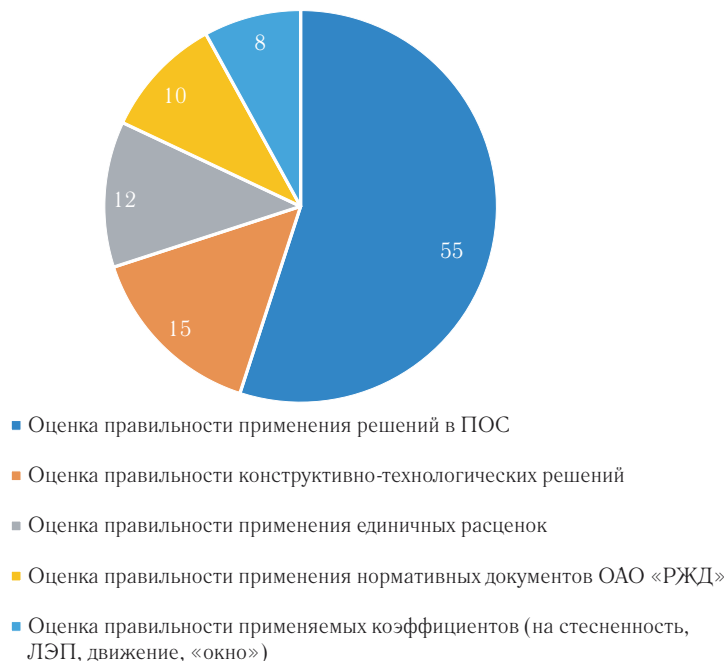


Рис. 4. Процент снимаемых денежных средств по видам затрат при реконструкции и модернизации объектов

- сведения об условиях поставки и транспортирования с предприятий-поставщиков строительных конструкций, готовых изделий, материалов и оборудования;
- организационно-технологические схемы, определяющие оптимальные решения по последовательности и методам строительства объектов (его частей);
- условия поставки и транспортирования с предприятий-поставщиков строительных конструкций, готовых изделий, материалов, оборудования;
- правильность организации временных проездов и площадок по трассам проектируемых внутривозвездных дорог;
- обоснованность применения сложных вспомогательных обустройств (особенно актуально при строительстве искусственных сооружений). 

Литература

1. Методические рекомендации по проведению ведомственной экспертизы по объектам строительства, реконструкции и капитального ремонта инфраструктуры ОАО «РЖД»: утверждены распоряжением ОАО «РЖД» от 28.12.2012 №2736р). - Москва : ОАО «РЖД», 2012. - 204 с. - Текст: непосредственный.
2. Методические рекомендации по разработке и оформлению раздела проектной документации «Проект организации строительства»: утверждены распоряжением ОАО «РЖД» от 28.12.2012 №2736р. - Москва : ОАО «РЖД», 2012. - 204 с. - Текст : непосредственный.
3. Положение об организации и проведении экспертизы предпроектной, проектной документации и результатов инженерных изысканий в ОАО «РЖД»: утверждены 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: утверждены распоряжением ОАО «РЖД» от 29.12.2011 № 2821р. - Москва : ОАО «РЖД», 2011. - 162 с. - Текст : непосредственный.

ОБ ОПТИМИЗАЦИИ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ

В транспортной сети неоптимальной структуры, сложившейся произвольно при формировании узлов и связывающих их путей, существует проблема обеспечения непрерывности транспортного потока. Необходима экономически целесообразная оптимизация пропускной способности транспортной сети.

В статье выполнен анализ предлагаемых методов и модели оптимизации пропускных способностей транспортной сети.

Ключевые слова: транспортная сеть, максимальный поток, пропускная способность, оптимизация, разрез, непрерывность

EDN: MSKLFJ



В.Б. Карпухин



Г.М. Биленко

Для оптимизации пропускной способности транспортной сети предлагаются:

- алгебраический метод, основанный на конструктивном свойстве максимального потока;
- математическая модель оптимизации пропускной способности на соответствие критерию оптимальности транспортной сети и задаваемому уровню финансирования работ по строительству, модернизации и эксплуатации транспортных путей;
- алгоритм повышения пропускной способности транспортной сети.

Постановка задачи

Рассмотрим общий случай заданной транспортной сети и задачу наполнения ее максимальным потоком [1–3].

Основные определения и утверждения

Определение 1. Транспортная сеть — ориентированный граф $\vec{G}(X, D, T(D))$ без циклов и петель, состоящий из совокупности трех множеств:

1. Множества X вершин (транспортных узлов)

$$X = \left\{ \begin{array}{l} x_i : i = \overline{0, n}; x_0 - \text{источник}, x_n - \text{сток}; \\ x_i : i = \overline{1, n-1}; - \text{промежуточные вершины} \end{array} \right\},$$

2. Множества D дуг (дорог), соединяющих вер-

шины, $D = \{x_{ij} : i = \overline{0, n-1}, j = \overline{1, n}, i \neq j\}$, здесь i — номер вершины, из которой исходит дуга; j — номер вершины, в которую входит дуга.

3. Множество $T(D)$ пропускных способностей дуг, каждый элемент которого является неотрицательным

Карпухин Владимир Борисович, доктор технических наук, профессор кафедры «Высшая математика и естественные науки» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: математическое моделирование динамических систем и процессов. Автор 83 научных работ.

Биленко Геннадий Михайлович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Управление транспортными процессами» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: вопросы выбора способов усиления пропускной способности железнодорожных станций и участков, совершенствования технологии работы железнодорожных станций. Автор 52 научных работ.

Шатохин Андрей Андреевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Управление транспортными процессами» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: логистика, управление перевозочным процессом железнодорожного транспорта. Автор 52 научных работ.

Симачкова Ирина Валерьевна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Управление транспортными процессами» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: вопросы совершенствования технологии и технического оснащения железнодорожных станций и полигонов. Автор 28 научных работ.

целым числом, приписанным соответствующей дуге,

$$T(D) = \{t_{ij} \geq 0 : i = \overline{0, n-1}, j = \overline{1, n}, i \neq j; t_{ij} \geq x_{ij}\}.$$

Замечание: x_{ij} — обозначения дуги и величины потока по дуге идентичны, различие следует из контекста.

Определение 2. Пропускной способностью t_{ij} дуги x_{ij} называется максимальное число транспортных единиц или продукта, которое может пропустить дуга x_{ij} за единицу времени.

Определение 3. В транспортной сети $\bar{G}(X, D, T(D))$

задан поток $G = \{x_{ij}, i, j = \overline{0, n-1}, i \neq j\}$ величиной P , если выполнены следующие условия:

1. Суммирование выполняется по всем дугам, входящим в вершину j и исходящим из источника x_0 :

$$P = \sum_j x_{0j}.$$

2. В каждой промежуточной вершине $x_i, i = \overline{1, n-1}$, соблюдается непрерывность потока: сумма потоков, входящих в вершину x_i равна сумме потоков, выходящих из нее

$$\sum_j x_{ji} = \sum_i x_{ij}.$$

3. Поток x_{ij} по каждой дуге не превосходит ее пропускной способности t_{ij} :

$$x_{ij} \leq t_{ij}.$$

4. В сети отсутствуют потери величины P потока: сумма потоков по всем дугам j , входящим в сток x_n , равна величине P

$$\sum_j x_{jn} = P.$$

Определение 4. Поток G в транспортной сети $\bar{G}$ называется полным, если любой ориентированный путь из источника x_0 в сток x_n содержит хотя бы одну насыщенную дугу x_{ij} .

Определение 5. Дуга x_{ij} называется насыщенной, если величина потока по дуге равна ее пропускной способности t_{ij} :

$$x_{ij} = t_{ij}.$$

Утверждение 1. О существовании максимального потока транспортной сети.

Поскольку потоки x_{ij} на всех дугах сети всегда ограничены пропускной способностью t_{ij} дуг, т.е. $x_{ij} \leq t_{ij}$, включая потоки на дугах x_{0j} , исходящих из источника x_0 и дугах x_{jn} , входящих в сток x_n , то поток $\sum_{0,j} x_{0j}$ сети также ограничен:

$$\sum_{0,j} x_{0j} \leq \sum_{0,j} t_{0j}.$$

Следовательно:

а) при условии непрерывности потока в узлах существует максимальный поток сети:

$$P_{\max} = \max \sum_{0,j} x_{0j}.$$

б) наличие полного потока является лишь необходимым условием существования максимального потока.

Для определения достаточного условия Форд и Фалкерсон ввели понятие разреза транспортной сети [1].

Определение 6. Разрезом $R_k(A_k, B_k)$ транспортной сети $\bar{G}$ называется совокупность дуг x_{ij} , соединяющих два подмножества A и B множества X вершин сети, начало i дуг x_{ij} принадлежит подмножеству $A \subset X$, конец j подмножеству $B \subset X$:

$$R_k(A_k, B_k) = \left\{ \begin{array}{l} x_{ij} : x_0, x_i \in A_k \subset X, i = \overline{1, n-1}; \\ x_j, x_n \in B_k \subset X, \\ j = \overline{1, n-1}, i \neq j, A_k \cup B_k = X, A_k \cap B_k = \emptyset \end{array} \right\},$$

$k = \overline{1, s}$, s — число разрезов.

Определение 7. Пропускной способностью $R_k(A_k, B_k)$ разреза называется сумма пропускных способностей всех дуг разреза:

$$R_k(A_k, B_k) = \sum_{i,j} t_{ij}(A_k, B_k), k = \overline{1, s}.$$

Замечание. Аналогичное понятие разреза и его пропускной способности рассматривается для максимального потока. Обозначения разреза $R_k(A_k, B_k)$ и его величины $R_k(A_k, B_k)$ идентичны.

Утверждение 2. Величина $P_{\max}$ максимального потока $G_{\max}$ транспортной сети $\bar{G}(X, D, T(D))$ из источника x_0 в сток x_n не больше пропускной способности $R_{\min}(A, B)$ минимального разреза:

$$P_{\max} \leq R_{\min}(A, B).$$

$$\text{Здесь } G_{\max} = \{x_{ij \text{ опт}} \leq t_{ij}, i, j = \overline{0, n}, i \neq j\},$$

$x_{ij \text{ опт}}$ — оптимальные для заданной сети $\bar{G}$ значения потоков на дорогах;

t_{ij} — пропускные способности дуг x_{ij} .

Предположим, что из сети будут исключены все дуги какого-либо разреза $R_k(A_k, B_k)$. Тогда в сети не останется ни одного ориентированного пути из источника x_0 в сток x_n .

Следовательно:

а) любой путь из источника x_0 в сток x_n содержит хотя бы одну дугу x_{ij} каждого разреза $R_k(A_k, B_k)$;

б) величина P какого-либо потока G транспортной сети не превышает пропускной способности $t_k(A_k, B_k)$ какого-либо разреза $R_k(A_k, B_k)$:

$$P \leq t_k(A_k, B_k). \quad (*)$$

Из утверждения 1 и (*) получаем:

$$P_{\max} = \max_G P \leq R_{\min}(A, B), \text{ ч.т.д.}$$

Что и требовалось доказать.

В теореме Форда—Фалкерсона доказывается более четкое утверждение [1]: для любой транспортной сети $\bar{G}$ величина максимального потока $P_{\max}$ из источника x_0 в сток x_n равна пропускной способности минимального разреза $R_{\min}(A, B)$, т.е.

$$P_{\max} = R_{\min}(A, B).$$

Основной результат анализа транспортной сети $\bar{G}$ на основании утверждений 1 и 2, теоремы Форда—Фалкерсона, а также алгоритма Форда—Фалкерсона построения максимального потока $G_{\max}$:

1) в транспортной сети $\bar{G}$, пропускные способности t_{ij} дуг которой равны соответствующим оптимальным потокам $t_{ij \text{ опт}}$ на дугах максимального потока $G_{\max}$, все разрезы равны.

2) равенство разрезов, построенной таким образом транспортной сети $\bar{G}$, указывает на ее оптимальный характер. В этом смысле следует отметить рассматриваемое свойство максимального потока $G_{\max}$ как конструктивное свойство: максимальный поток $G_{\max} = \{x_{ij \text{ опт}}, i, j = \overline{0, n}, i \neq j\}$ оптимизирует транспортную сеть $\bar{G}$.

3) критерий оптимальности транспортной сети:

- равенство разрезов;
- равенство пропускных способностей источника и стока;
- непрерывность пропускных способностей в промежуточных вершинах;
- насыщенность всех дуг максимального потока.

Алгебраический метод

Теорема Форда—Фалкерсона, утверждения 1 и 2, а также конструктивное свойство позволяют записать выражения алгебраического метода определения значений пропускных способностей t_{ij} дуг оптимальной транспортной сети:

$$\sum_{ij1} t_{ij1} = R_{\min}(A, B),$$

...

$$\sum_{ijk} t_{ijk} = R_{\min}(A, B), \quad (**)$$

...

$$\sum_{ijs} t_{ijs} = R_{\min}(A, B).$$

Здесь t_{ijk} — пропускная способность ij -й дуги k -го разреза $R_k(A_k, B_k)$,

$R_{\min}(A, B)$ — минимальный разрез сети.

В (**) величина каждого разреза $R_k(A_k, B_k)$, $k = \overline{1, s}$ приравнена минимальному разрезу $R_{\min}(A, B)$ заданной сети $\bar{G}$. Неизвестными являются величины t_{ij} пропускных способностей дуг сети максимального потока $\bar{G}_{\max}$.

Пример.

Дана транспортная сеть (рис. 1). Решить задачу оптимизации транспортной сети алгебраическим методом: найти пропускные способности t_{ij} дуг x_{ij} , обеспечивающие максимальную пропускную способность заданной транспортной сети при соблюдении условия непрерывности в вершинах.

Замечание: сеть неоптимальна — в вершинах нарушено условие непрерывности потока.

Решение

1. Проведем всевозможные разрезы $R_k(A_k, B_k)$, определим их величины и выберем минимальный:

$$R_1(1; 2, 3, 4, 5) = 17, R_2(1, 2; 3, 4, 5) = 22,$$

$$R_3(1, 3; 2, 4, 5) = 23, R_4(1, 4; 2, 3, 5) = 22,$$

$$R_5(1, 2, 3; 4, 5) = 21, R_6(1, 2, 4; 3, 5) = 27,$$

$$R_7(1, 3, 4; 2, 5) = 26, R_8(1, 2, 3, 4; 5) = 20,$$

$$R_{\min}(17, 22, 23, 22, 21, 27, 26, 20) = 17 = R_1.$$

Согласно теореме Форда—Фалкерсона максимальный поток в сети равен минимальному разрезу:

$$P_{\max} = 17.$$

2. На основании конструктивного свойства максимального потока $G_{\max}$ о равенстве всех разрезов минимальному составляем систему алгебраических уравнений оптимизации сети:

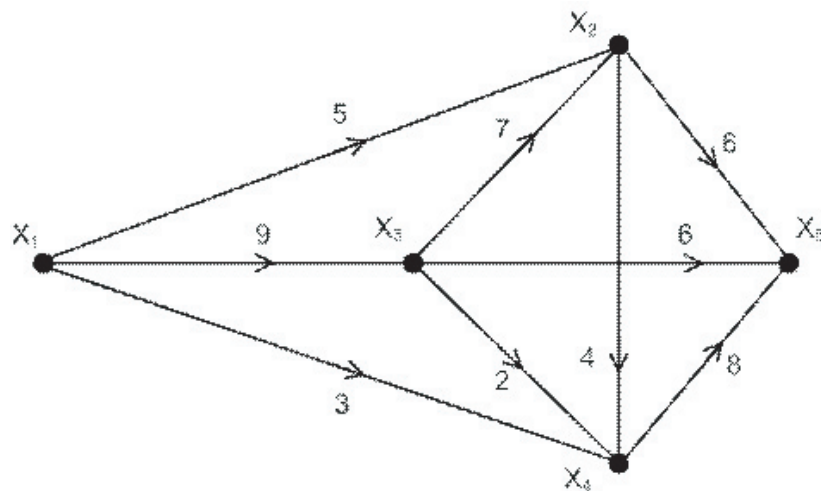
$$x_{12} + x_{13} + x_{14} = 17;$$

$$x_{25} + x_{24} + x_{13} + x_{14} = 17;$$

$$x_{12} + x_{32} + x_{35} + x_{34} + x_{14} = 17;$$

$$x_{12} + x_{13} + x_{45} = 17;$$

$$x_{25} + x_{24} + x_{35} + x_{34} + x_{14} = 17;$$

Рис. 1. Транспортная сеть $\bar{G}(X, D, T(D))$.

$$X = \{x_i, i = \overline{1, 5}\}, D = \{x_{ij}, i = \overline{1, 4}, j = \overline{2, 5}, i \neq j\}, \\ T(D) = \{5, 9, 3, 7, 2, 4, 6, 6, 8\}.$$

$$x_{25} + x_{24} + x_{13} + x_{45} = 17;$$

$$x_{12} + x_{32} + x_{35} + x_{45} = 17;$$

$$x_{25} + x_{35} + x_{45} = 17.$$

3. Используя начальное условие — значение пропускных способностей дуг минимального разреза $x_{12}=5$, $x_{13}=9$, $x_{14}=3$, решаем составленную систему, подбирая значения пропускных способностей остальных дуг:

$$x_{32}=0, x_{35}=9, x_{34}=0, x_{24}=0, x_{25}=5, x_{45}=3.$$

4. Получаем оптимальную транспортную сеть с максимальной пропускной способностью $P_{\max}=17$ для сообщения источника x_1 со стоком x_5 (рис. 2), в которой соблюдается:

- 1) равенство всех разрезов;
- 2) условие непрерывности в каждой промежуточной вершине;
- 3) равенство потока, исходящего из источника x_1 , потоку, входящему в сток x_5 ;
- 4) выполнение основной функции заданной неоптимальной транспортной сети о передаче определенного количества транспортируемых объектов от источника x_1 к стоку x_5 .

Выводы

1. В задаче о максимальном потоке определяются величины потоков x_{ij} на дугах заданной транспортной сети согласно теореме Форда — Фалкерсона.

В рассмотренной задаче определяются оптимальные величины пропускных способностей t_{ij} дуг сети по критерию оптимальности транспортной сети. На примере показана справедливость утверждения о существовании решения, получаемого алгебраическим методом.

2. Решение проблемы «пробок» в вершинах транспортной сети, связанное с необходимостью соблюдения условия непрерывности, в задаче о максимальном потоке допускает только понижение пропускной способности дуг.

В задаче оптимизации транспортной сети проблема «пробок» решается путем выбора оптимального уровня пропускных способностей, как путем их понижения, так и путем повышения.

Модель оптимизации пропускных способностей t_{ij}

Пусть транспортная сеть — ориентированный граф $\bar{G}(X, D, T(D))$ состоит из $n+1$ вершин, $X = \{x_i, i = \overline{0, n}\}$, x_i — источник, x_i — сток, d дуг,

$D = \{x_{ij}, \dots, x_{ijd}, i\text{-номер вершины, из которой исходит дуга, } j\text{-номер вершины, в которую входит дуга}\}$; d пропускных способностей, соответствующих каждой дуге, $T = \{t_{ij1}, \dots, t_{ijd}\}$.

Предположим, что задана стоимость единицы пропускной способности дуги (дороги) $C = \{c_{ij1}, \dots, c_{ijd}\}$, тогда общая стоимость пропускной способности всех дуг транспортной сети $\bar{G}$ равна

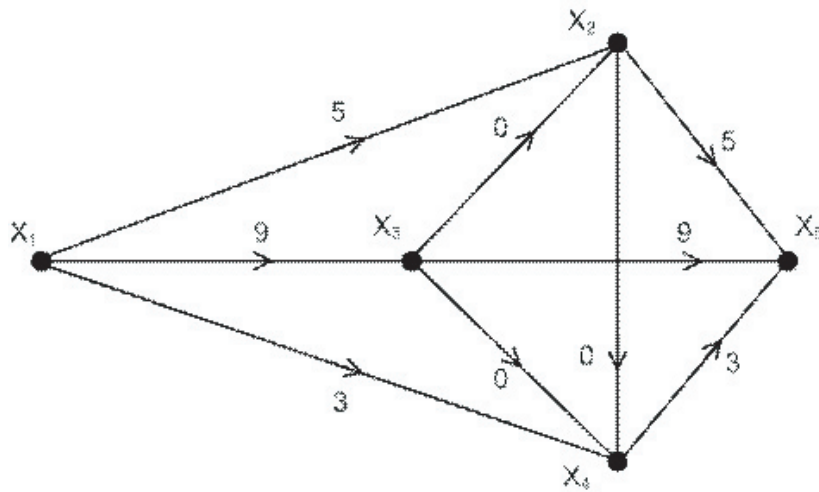


Рис. 2. Оптимальная транспортная сеть $\bar{G}_{opt}(X, D, T(D))$.
 $T(D) = \{5, 9, 3, 0, 0, 0, 5, 9, 3\}$

$$\sum_{k=1}^d c_k t_k = C_0, \quad (1)$$

где C_0 – фиксированная величина бюджетных средств, выделяемых на строительство, модернизацию и эксплуатацию транспортной сети $\bar{G}$ с целью получения необходимой величины ее пропускной способности.

Максимальный поток P_{max} транспортной сети согласно теореме Форда–Фалкерсона равен минимальному разрезу R_{min} и обладает свойством непрерывности в каждой вершине при равенстве величин всех разрезов минимальному. Данное равенство определяет систему (2) алгебраических уравнений, накладывающих ограничения на пропускные способности дуг транспортной сети.

Пусть разрезов будет $s: R_k, k = \overline{1, s}$, при этом в каждом разрезе число $\tau_k(R_k)$ элементов, выбираемых из множества T .

Запишем величину разреза R_k , равную сумме пропускных способностей дуг, попадающих в этот разрез. Дуги образуют выборку (подмножество) из множества T . В результате получаем s выборок из d элементов множества T :

$$\left. \begin{aligned} (2_1) \quad R_1 &= \sum_{\alpha=1}^{\tau_1} t_{\alpha}(R_1), \{t_{\alpha}(R_1), \alpha = \overline{1, \tau_1}\} \subset T, \\ (2_2) \quad R_2 &= \sum_{\alpha=1}^{\tau_2} t_{\alpha}(R_2), \{t_{\alpha}(R_2), \alpha = \overline{1, \tau_2}\} \subset T, \\ (2_s) \quad R_s &= \sum_{\alpha=1}^{\tau_s} t_{\alpha}(R_s), \{t_{\alpha}(R_s), \alpha = \overline{1, \tau_s}\} \subset T. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Здесь α – счетчик элементов подмножеств, выбираемых из множества T , соответствующих дугам разреза R_k .

Приравнявая величины разрезов $R_k, k = \overline{1, s}$ величине R_{min} минимального разреза, получим систему (3) ограничений, накладываемых на величины t_k в (1):

$$\left. \begin{aligned} (2_1^*) \quad R_{min} &= \sum_{\alpha=1}^{\tau_1} t_{\alpha}^*(R_1), \{t_{\alpha}^*(R_1), \alpha = \overline{1, \tau_1}\} \subset T, \\ (2_2^*) \quad R_{min} &= \sum_{\alpha=1}^{\tau_2} t_{\alpha}^*(R_2), \{t_{\alpha}^*(R_2), \alpha = \overline{1, \tau_2}\} \subset T, \\ (2_s^*) \quad R_{min} &= \sum_{\alpha=1}^{\tau_s} t_{\alpha}^*(R_s), \{t_{\alpha}^*(R_s), \alpha = \overline{1, \tau_s}\} \subset T. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Решением системы (3) являются оптимальные значения $t_{\alpha}^*(R_k)$ пропускных способностей t_{ij} .

Умножая $t_{\alpha}^*(R_k)$ в каждом из уравнений (3) на соответствующую стоимость единицы пропускной способности, получаем стоимости новых, равных по величине, разрезов в сети, финансируемой в размере C_0 :

$$\left. \begin{aligned} (2_1^{**}) \quad C_0(R_1) &= \sum_{\alpha=1}^{\tau_1} c_{\alpha}(R_1) t_{\alpha}^*(R_1), \\ (2_2^{**}) \quad C_0(R_2) &= \sum_{\alpha=1}^{\tau_2} c_{\alpha}(R_2) t_{\alpha}^*(R_2), \\ (2_s^{**}) \quad C_0(R_s) &= \sum_{\alpha=1}^{\tau_s} c_{\alpha}(R_s) t_{\alpha}^*(R_s). \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

В модели (1)–(4): (1) – целевая функция, (2)–(4) – системы ограничений, накладываемые на неизвестные значения пропускных способностей t_{ij} дуг, соответствующие критерию оптимальности транспортной

сети. Эти значения получим путем подбора согласно (1)–(4) и в соответствии с уровнем задаваемой величины финансирования C_0 .

Алгоритм повышения пропускной способности транспортной сети

Задача

Даны транспортная сеть $\bar{G}(X, D, T(D))$ и величина финансовых средств C_0 (1) на повышение пропускной способности $R_{\min}$. Требуется повысить пропускную способность и оптимизировать заданную сеть, обеспечивая условия непрерывности потоков

$$\sum_j x_{ji} = \sum_i x_{ij}, \quad i, j = \overline{1, n-1}.$$

в промежуточных узлах и равенство всех разрезов

$$R_1(A_1, B_1) = R_2(A_2, B_2) = \dots = R_s(A_s, B_s).$$

Алгоритм

1) проводим всевозможные разрезы и определяем их величины $R_k(A_k, B_k), k = \overline{1, s}$ (2);

2) выбираем минимальный разрез — пропускную способность сети $\min R_k(A_k, B_k) = R_{\min}$;

3) с помощью системы (3) или алгоритма Форда–Фалкерсона строим оптимальную сеть $\bar{G}_{\text{опт}}$, удовлет-

воряющую условиям непрерывности потоков в промежуточных узлах и равенства всех разрезов;

4) повышаем пропускную способность $R_{\min}$ транспортной сети $\bar{G}$, придавая новые значения пропускным способностям t_{0j} на дугах, исходящих из источника x_0 ;

5) в полученной транспортной сети определяем новый уровень величины минимального разреза $R_{\min}^*$ (по пп. 1, 2);

6) согласно (3) или алгоритму Форда–Фалкерсона оптимизируем транспортную сеть с новыми пропускными способностями;

7) сравнивая пропускные способности на дугах заданной и новой транспортной сети, определяем стоимость проводимых работ C^* на повышение пропускных способностей дуг заданной транспортной сети $\bar{G}$, что тождественно равно стоимости работ на повышение пропускной способности сети в целом на величину $R_{\min}^* - R_{\min}$;

8) повторяем процедуру пунктов 4–7, повышая пропускную способность $R_{\min}^*$ сети при одновременном увеличении стоимости проводимых работ C^* до уровня заданной величины финансируемых средств C_0 согласно критерию $\max(R_{\min}^* - R_{\min}) \rightarrow C_0 - C^* = 0$. 

Литература

1. Форд, Л. Р. Потоки в сетях / Л. Р. Форд, Д. Р. Фалкерсон ; пер. с англ. И. А. Вайнштейна. - Москва: Мир, 1966. - 276 с. - Текст : непосредственный.
2. Кристофидес, Никос. Теория графов : Алгоритмический подход / Никос Кристофидес ; перевод с англ. Э. В. Вершкова, И. В. Коновальцева ; под ред. Г.П. Гаврилова. - Москва : Мир, 1978. - 432 с. - Текст: непосредственный.
3. Костевич Л. С. Математическое программирование : Информационные технологии оптимальных решений : учебное пособие / Л. С. Костевич. - Минск : Новое знание, 2003. - 424 с. - Текст : непосредственный.

ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЭД ЭЛЕКТРОВОЗОВ СЕВЕРНОГО НАПРАВЛЕНИЯ ТАЙШЕТ – ТАКСИМО ВОСТОЧНОГО ПОЛИГОНА РЖД

Установлено, что пуск и работа электровоза Восточного полигона РЖД после длительного отстоя при низкой температуре зимой, с повышенными мощностью, током и температурой обмоток из-за перехода подшипников из режима качения в режим скольжения, с многократным увеличением мощности, потери трения в контактах ролики-кольца подшипников вызывают интенсивное старение изоляции. Предлагается подогрев ТЭД при отстое.

Ключевые слова: Восточный полигон РЖД, низкая температура зимой, длительный отстой электровоза, повышенная мощность ТЭД при пуске

EDN: RBSPWO



Д.И. Бодриков



Д.А. Акулов

Исследования, проведенные авторами ранее на железных дорогах Восточного полигона, показали, что продолжительность отстоя электровозов существенно влияет на безотказность тяговых электродвигателей (ТЭД) НБ-418К6 электровозов ВЛ80 (рис. 1) и НБ-514 электровозов ВЛ85 (рис. 2) и их изоляции.

Результаты анализа безотказности ТЭД электровозов ВЛ80, ВЛ85, 2,3,4ЭС5К Восточного полигона за три года эксплуатации (с 2015 по 2018) показали, что параметр потока отказов двигателей НБ-418К6 электровозов ВЛ80 имеет наименьшее значение, НБ-514 электровозов ВЛ85 наибольшее значение,

а параметр потока отказов ТЭД НБ-514Б, НБ-514Д и НБ-514Е электровозов 2, 3, 4 ЭС5К, проработавших после поступления с завода-изготовителя на Восточном полигоне в несколько раз меньшее время, чем продолжительно эксплуатируемые на Восточном полигоне электровозы ВЛ80, ВЛ85; лишь среднее значение от параметров потоков отказов ТЭД парков электровозов ВЛ80 и ВЛ85.

Анализ эксплуатации ТЭД электровозов 2, 3, 4 ЭС5К выявил существенное увеличение отказов изоляции и других узлов ТЭД в зимние периоды, которые длятся на северном направлении Восточного полигона около полугода. Установлено, что на направлении

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 26 научных работ.

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

Чубов Роман Сергеевич, аспирант кафедры «Тяговый подвижной состав» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: повышение надежности локомотивов. Автор 31 научной работы.

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

Смирнов Валентин Петрович, доктор технических наук, профессор кафедры «Тяговый подвижной состав» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: повышение безотказности локомотивов. Автор 165 научных работ. Имеет три патента на изобретения.

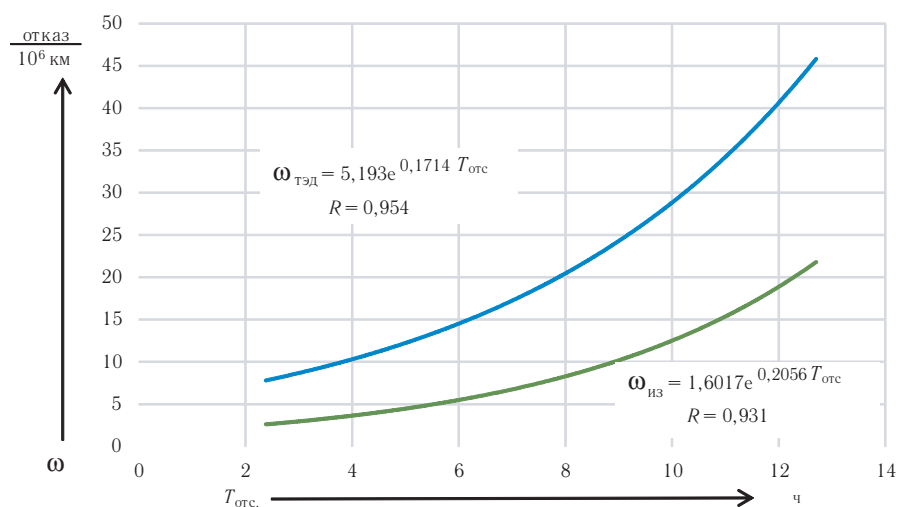


Рис. 1. Зависимость показателя безотказности ТЭД электровозов ВЛ80 от времени нахождения в отстое

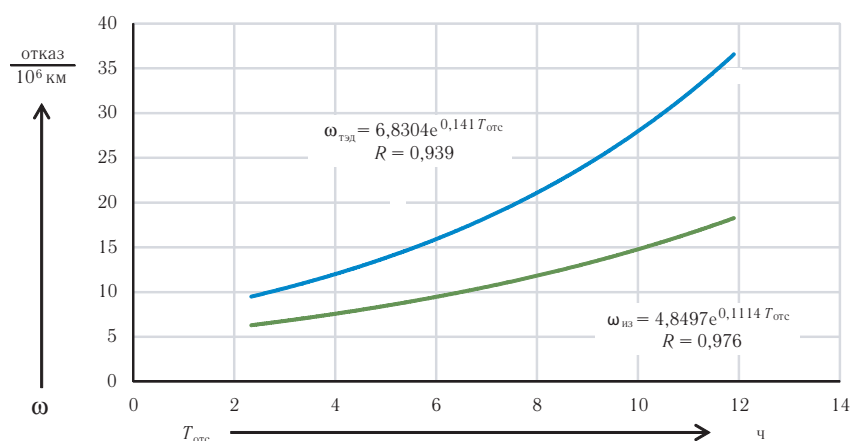


Рис. 2. Зависимость показателя безотказности ТЭД электровозов ВЛ85 от времени нахождения в отстое

Тайшет — Таксимо наблюдаются как «теплые» зимы, так и экстремально холодные, при продолжительном времени с температурой -50°C и ниже. Они периодически происходят с интервалом четыре — пять лет. Данные о температуре воздуха в одну из «теплых» зим приведены в таблице.

Выявлено, что наиболее интенсивное снижение безотказности в зимний период эксплуатации наблюдается у электровозов ЗЭС5К с роликовыми моторно-якорными и моторно-осевыми подшипниками. Установлено, что за время продолжительных отстоев зимой, при низкой температуре воздуха, из-за пониженной вязкости смазка в подшипниках твердеет, контакты ролики-кольца подшипников переходят в режим скольжения. Существенно повышается

коэффициент трения в подшипниках (с $0,001-0,002$ в режиме качения до $0,150-0,220$ [1] в режиме скольжения). Увеличивается мощность трения в контактах ролики-кольца подшипников (с 4 [2] до 400 кВт и более), что вызывает повышение тока, мощности и температуры ТЭД значительно больше допустимых значений при пуске и работе электровозов с тяжеловесными поездами. Это приводит к ускоренному старению изоляции тяговых двигателей. Для исключения интенсивного старения изоляции предлагается производить подогрев двигателей при продолжительных отстоях электровозов, эксплуатирующихся на северном направлении Восточного полигона зимой при низкой температуре воздуха от выпрямительных установок возбуждения (ВУВ).

Таблица

**Минимальная температура воздуха года северного направления Тайшет – Таксимо
Восточного полигона в градусах Цельсия**

Метеостанция	Месяц					
	Январь	Февраль	Март	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
Таксимо	–42	–43	–34	–31	–35	–48
Новый Уоян	–39	–41	–35	–23	–31	–43
Нижнеангарск	–29	–35	–26	–12	–25	–32
Лена	–34	–40	–24	–18	–36	–45
Вихоревка	–37	–34	–27	–25	–37	–38
Тайшет	–30	–28	–29	–17	–29	–37

Так же, как и для недопущения увлажнения изоляции ТЭД в летний период эксплуатации, подогрев зимой возможен при мощности теплового источника из расчета 1 кВт на 5 т массы двигателя [3]. Допустимый ток ВУВ электровазозов ВЛ85 без вентилиации составляет 390 А, сопротивление главных полюсов (ГП) двигателя НБ-514 при температуре 20°С $R_{гп}^{20^{\circ}\text{C}}=0,0069$ Ом.

Мощность подогрева двигателя:

$$P=I_{\text{вув}}^2 \cdot R_{гп}^{20^{\circ}\text{C}}=390^2 \cdot 0,0069=1049,5 \text{ Вт.}$$

При температуре окружающей среды $t=-50^{\circ}\text{C}$ сопротивление ГП ТЭД

$$R_{-50^{\circ}\text{C гп}}=R_{гп}^{20^{\circ}\text{C}}[1+\alpha(t-20^{\circ}\text{C})]=0,0069 \times$$

$$\times[(1+0,004(-50-20^{\circ}\text{C}))]=0,004968 \text{ Ом,}$$

где $\alpha=0,004$ – температурный коэффициент сопротивления меди обмотки.

В зимний период, в связи со снижением сопротивления ГП при уменьшении температуры воздуха, для обеспечения подогрева ТЭД нужно увеличить ток ВУВ.

Установлено, что подогрев ТЭД электровазоза ВЛ85 без включения вентилиации тиристорных блоков ВУВ обеспечивается до температуры наружного воздуха -25°C . При снижении температуры ниже -25°C необходимо включить вентилиацию охлаждения тиристорных блоков ВУВ и повысить ток в ГП ТЭД.

Как отмечено выше, для двигателя массой 5 т требуется мощность подогрева $P=1$ кВт. Для ТЭД НБ-514Е электровазозов ЗЭС5К массой 4,3 т (ролики моторно-якорных и моторно-осевых подшипников) мощность подогрева составляет $P=0,86$ кВт.

Отсюда величина тока ВУВ при температуре воздуха $t=-50^{\circ}\text{C}$ и мощности подогрева $P=0,86$ кВт равна:

$$I_{\text{вув}}^2=P/R_{-50^{\circ}\text{C гп}}=0,86/0,004968=173107.$$

Тогда $I_{\text{вув}}=416$ А.

Этот ток и больший, при температуре воздуха -55°C , может обеспечить ВУВ электровазоза ЗЭС5К, в котором использованы тиристоры Т153-630-20, рассчитанные на работу без вентилиации со средним прямым током 630 А при температуре окружающей среды от -60 до 125°C . 

Литература

1. Крагельский, И. В. Основы расчетов на трение и износ / И. В. Крагельский, М. Н. Добычин, В. С. Комбалов. - Москва : Машиностроение, 1977. - 526 с. - Текст : непосредственный.
2. Проектирование тяговых электрических машин : учебное пособие для вузов железнодорожного транспорта / д-р техн. наук, проф. М. Д. Находкин, канд. техн. наук Г. В. Василенко, В. И. Бочаров, М. А. Козорезов ; под ред. проф. М. Д. Находкина. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : Транспорт, 1976. - 624 с. - Текст : непосредственный.
3. Серебряков, А. С. Электротехническое материаловедение. Электроизоляционные материалы : учебное пособие для вузов железнодорожного транспорта / А. С. Серебряков. - Москва : Маршрут, 2005. - 278 с. - Высшее профессиональное образование. - ISBN 5-89035-210-5. - Текст : непосредственный.

УНИВЕРСАЛИЗАЦИЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА НА ПРИМЕРЕ ПЕРЕВОЗКИ КОНТЕЙНЕРОВ В ПОЛУВАГОНАХ



Д.Г. Евсеев



Р.С. Селезнев

В статье рассматриваются альтернативные способы перевозки контейнеров, в результате чего можно минимизировать порожний пробег и нивелировать дефицит фитинговых платформ, что даст наибольший экономический эффект для всех участников грузоперевозочного процесса.

Ключевые слова: универсальный подвижной состав, специализированный подвижной состав, полувагон, фитинговая платформа

EDN: ZVYHUY

Традиционно в России наибольшую долю среди всего железнодорожного парка занимают полувагоны, т.е. универсальный подвижной состав. Одна из главных причин популярности универсального парка — это минимальный порожний пробег и возможность перевозки грузов широкой номенклатуры. Тем не менее, не всегда предоставляется возможным использование только универсальных вагонов, ведь в них нельзя перевозить специализированные грузы, например трубы большого диаметра, жидкости, а также грузы, сохранность которых зависит от погодных условий и т.д. В данном случае необходимо использовать специализированные вагоны, имеющие специальную конструкцию, которая предназначена для перевозки одной или нескольких групп товаров, близких по своим свойствам и имеющих особые требования к условиям перевозки.

Почему же тогда специализированные вагоны пользуются меньшим спросом по сравнению с универсальными? Ответ прост — у них выше стоимость порожних пробегов и груженных рейсов.

Получается, чтобы иметь наибольшую выгоду для всех участников процесса грузоперевозок, необходимо сочетать преимущества двух типов в одном вагоне, т.е. универсализировать подвижной состав.

Цель данной статьи заключается в исследовании путей универсализации подвижного состава на примере перевозок контейнеров.

Поставлены следующие задачи:

- анализ текущей ситуации в контейнерных перевозках;
- каким образом можно минимизировать порожний пробег и увеличить доходность операторов подвижного состава;

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.

Селезнев Роман Сергеевич, аспирант кафедры «Технология транспортного машиностроения и ремонта подвижного состава» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: универсальные и специализированные вагоны, эффективность их использования при перевозке различных грузов.

- разработать местные технические условия для размещения и крепления контейнеров в полувагонах;

- обосновать, за счет чего выгодно использовать универсальный подвижной состав вместо специализированного.

Данная тема будет актуальна в текущей экономической и геополитической ситуации, когда грузоотправителям и операторам приходится менять логистику грузоперевозок и подстраиваться под неустойчивый спрос.

Текущая ситуация такова, что промышленное производство в России в 2022 году снизилось на 0,6% по отношению к 2021 году. В то же время добыча полезных ископаемых возросла на 0,8%, а производство в обрабатывающих отраслях упало на 1,3%. Общая погрузка грузов по железной дороге в 2022 году равна 1234,3 млн тонн, что на 3,8% (на 48,5 млн. тонн) ниже показателя 2021 года. В большей степени снизилась погрузка экспортных грузов — на 12,4% (на 60,8 млн тонн). При этом, в значительной степени выросла погрузка импортных товаров — на 18,3% (на 2,8 млн тонн) (рис. 1).

Как в 2021 году, так и в 2022 году в структуре общей погрузки грузов преобладающими номенклатурами являются каменный уголь, нефть и нефтепродукты (рис. 2).

Обратимся к статистике перевозки контейнеров по железной дороге. В 2022 году было перевезено 6,5 млн TEU (условное обозначение 20-футового контейнера) груженых и порожних контейнеров, это на 0,3% больше, чем в 2021 году. Всего за 2022 год было перевезено в контейнерах 66,9 млн тонн гру-

зов, что на 3,4% выше по отношению в предыдущему году (рис. 3).

Из-за того, что экспорт снизился, а объем импортных товаров вырос произошла ситуация, когда морские порты на Дальнем Востоке перегружены, вследствие чего ресурсов для транспортировки грузов недостаточно.

Следовательно, фитинговых платформ, которые служат для транспортировки контейнеров, недостаточно для удовлетворения спроса на перевозку контейнеров с импортным грузом. С другой стороны, экспорт угля через Дальневосточную железную дорогу приводит к порожнему пробегу полувагонов [7]. Решением данной проблемы может стать перевозка контейнеров в полувагонах. Почему же полувагоны — хорошая альтернатива?

Фитинговые платформы, отправляясь в сторону Дальнего Востока и обратно, не всегда сбалансированы, так как часть из них возвращается в порожнем состоянии, тем самым забивая припортовые станции [8]. В то же время, операторы полувагонов заинтересованы в попутной загрузке контейнерами с Дальнего Востока, чтобы передислоцировать полувагоны в места погрузки угля на Западно-Сибирскую железную дорогу. В таком случае будет более эффективно использовать полувагоны.

Однако, полувагоны в классическом варианте применяются для транспортировки угля, лесоматериала, металлов и других подходящих для перевозки грузов. Соответственно, для контейнеров необходимы специальные технические условия, чтобы транспортировка стала возможна и при этом не была слишком дорогой для грузовладельца.

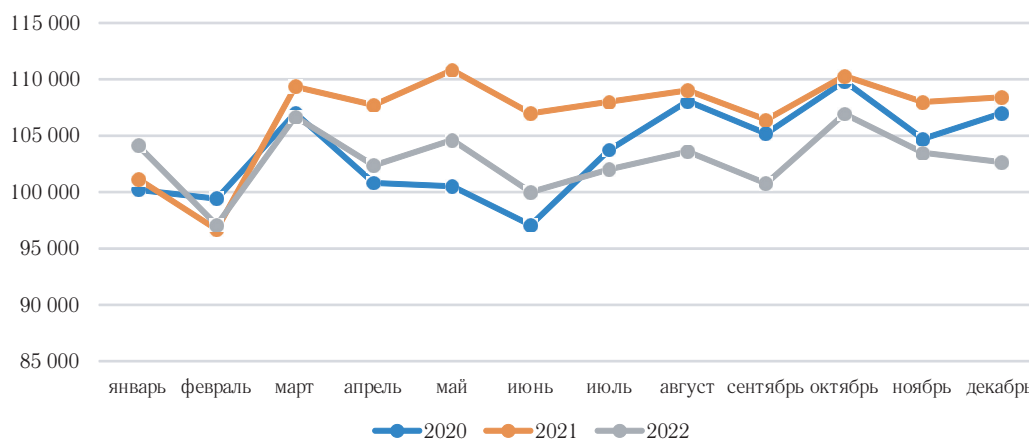


Рис. 1. Общая погрузка грузов железнодорожным транспортом по месяцам, тыс. тонн

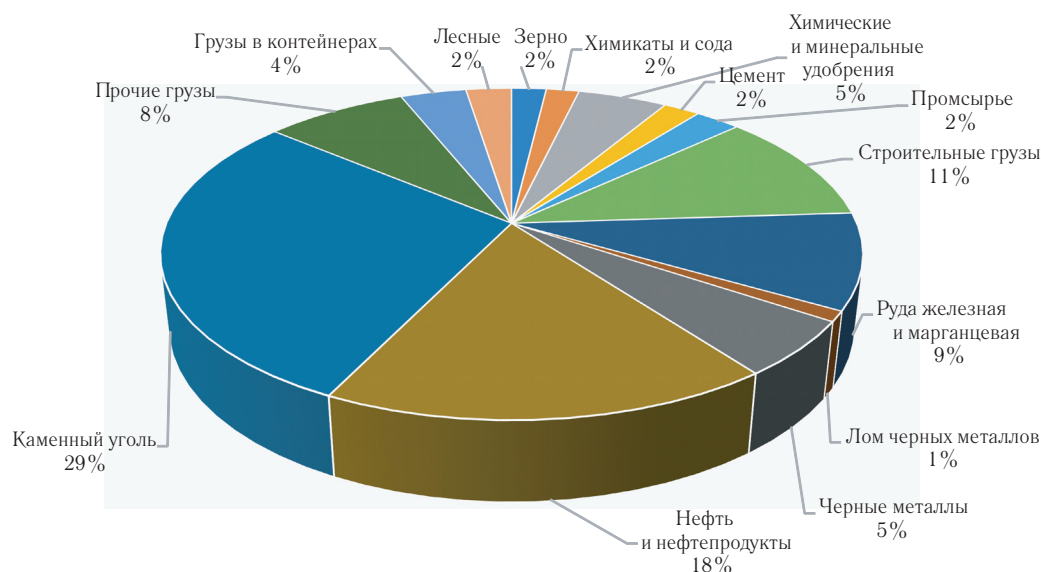


Рис. 2. Структура погрузки грузов железнодорожным транспортом в 2022 году, %

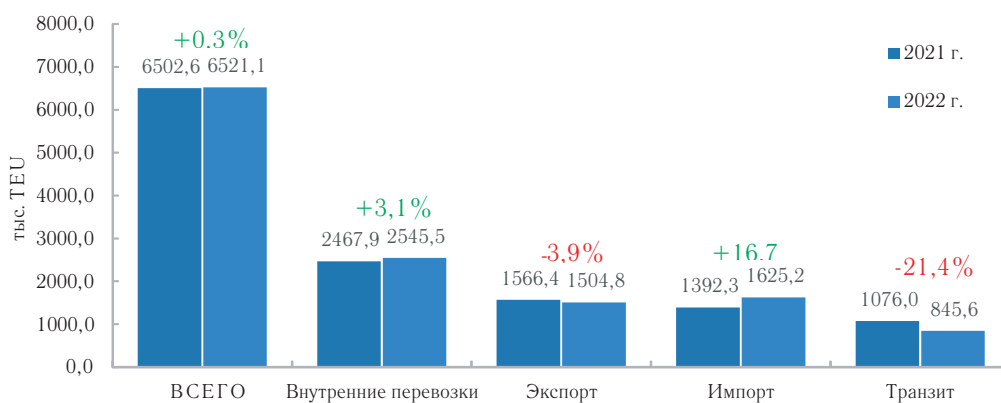


Рис. 3. Перевозка грузовых и порожних контейнеров железнодорожным транспортом в 2022 году и в 2021 году, тыс. TEU

С помощью новейших технологий удалось упростить технические условия и теперь погрузка поезда из 57 вагонов занимает в среднем 2,5 дня вместо 10 [6], соответственно клиент меньше платит за ожидание отправки груза. Фитинговые платформы, которые грузятся до 1,5 суток, по-прежнему выигрывают в скорости, но ведь они специализируются на перевозке контейнеров.

Также теперь, с учетом новых технических условий, полувагон полностью раскрепляется деревянными брусками или рамками. Исключены листы фанеры, подушки и работа дополнительного персонала [6]. В связи с этим уменьшились расходы на оборудование вагона средствами крепления, в

то же время грузы доезжают целыми и невредимыми.

Рассмотрим на конкретном примере местные технические условия (далее-МТУ) размещения и крепления универсальных контейнеров типоразмеров 1СС, 1С, 1СХ массой брутто до 30,48 тонн в универсальных четырехосных полувагонах.

Общая масса брутто контейнеров с учетом массы средств крепления не должна превышать грузоподъемности вагона. Для погрузки используются универсальные полувагоны с внутренней длиной кузова 12324–13050 мм, в том числе со скошенной частью торцевой стены, внутренней шириной кузова 2878–3015 мм грузоподъемностью до 77 тонн.

Основные габаритные размеры универсальных контейнеров 1СС, 1С, 1СХ, предъявляемых к перевозке, приведены в табл. 1.

Для крепления контейнеров в полувагонах используют:

- подкладки из листовой резины толщиной не менее 10 мм. Размеры подкладок — не менее 200×300 мм.;

- упорные и распорные бруски из пиломатериалов хвойных пород II—III сорта по ГОСТ 8486—86.

Подбор контейнеров, размещаемых в полувагоне, производят в зависимости от их массы брутто.

Два контейнера массой брутто не более 30,48 тонн размещают на шесть пар подкладок из резины толщиной не менее 10 мм (размерами не менее 200×300 мм), которые укладывают на шкворневые, промежуточные и средние балки полувагона в местах опирания контейнера. Вплотную к торцевым стенам (торцевым порожкам) полувагона устанавливают упорные бруски сечением не менее 60×150 мм, длиной, равной ширине кузова полувагона. Контейнеры размещают

вплотную к упорным брускам симметрично продольной и поперечной плоскостям симметрии вагона в соответствии со схемой, приведенной на рис. 4.

От смещений в продольном направлении враспор между контейнерами устанавливают распорную раму, состоящую из двух упорных и четырех распорных брусков сечением не менее 100×150 мм. Длина упорных брусков должна быть равной ширине кузова полувагона, длина распорных брусков выбирается по месту в зависимости от величины заполняемого зазора. Упорные и распорные бруски соединяют между собой строительными скобами диаметром не менее 8 мм по одной в каждое соединение.

От смещений в поперечном направлении с каждой стороны враспор между контейнерами и боковыми стенами между нижними увязочными устройствами (косынками) полувагона устанавливают упорные бруски (наборы из двух брусков) длиной 1500—1700 мм, сечением не менее 100×150 мм. Бруски в наборе скрепляют между собой в двух местах строительными скобами диаметром не менее 8 мм. Допускается зазор

Таблица 1

Габаритные размеры универсальных контейнеров 1СС, 1С, 1СХ

Типоразмер	Номинальные внешние габаритные размеры, мм		
	Длина	Ширина	Высота
1СС	6058	2438	2591
1С			2438
1СХ			< 2438

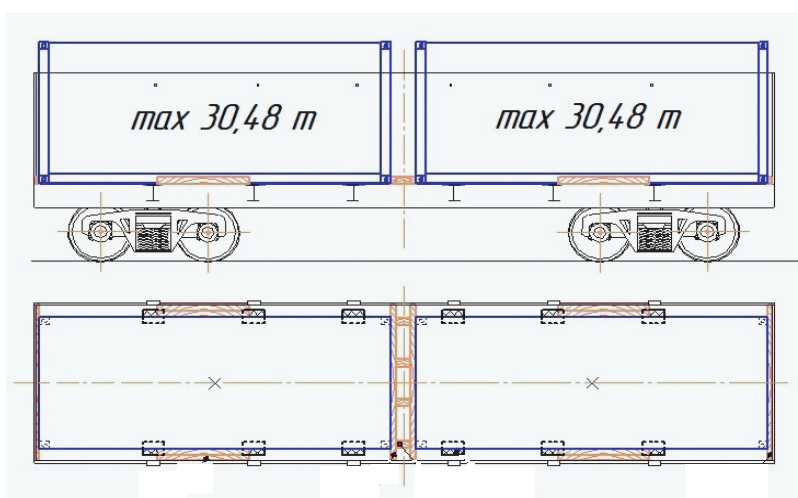


Рис. 4. Схема погрузки контейнеров в полувагоне

между контейнером и упорным брусом (набором из двух брусков) не более 30 мм с каждой боковой стороны. При размещении в полувагоне двух порожних контейнеров допускается порожние контейнеры размещать без подкладок и упорных брусков от поперечного смещения.

Грузоотправитель несет ответственность за подготовку груза и полувагона к перевозке, за соответствие используемых реквизитов крепления, за правильность размещения и надежное закрепление.

Также поддержанию перевозок контейнеров в полувагонах способствует РЖД, которое продлило скидку 20,7% на 2023 год на тариф для перевозки контейнеров в полувагонах с Дальнего Востока [5]. Можно сделать вывод, что государство стимулирует всех участников грузоперевозок к разработке инновационных решений, так как перевозка контейнеров в полувагонах еще нуждается в развитии. Сейчас идет тенденция по замене металлических элементов крепления на более дешевые синтетические [4]. Они не уступают по характеристикам креплениям из металла, в том числе по прочности. Также совершенствуется схема крепления и демонтажа крепежей, она становится более «гибкой» и быстрой.

При перевозке контейнеров в полувагонах будет выгодно использовать вдвоенные операции. На Дальний Восток отправляются вагоны с продукцией клиентов, которые выгружаются на станциях погрузки контейнеров, после этого порожние вагоны направляются внутри станции под погрузку контейнеров. Вследствие чего клиенту не нужно долго ждать полувагоны: они поступают на припортовые станции и подаются под погрузку контейнеров по графику.

Предоставляя полувагоны под погрузку контейнеров на Дальневосточной железной дороге с отгрузкой на Западно-Сибирскую железную дорогу оператор подвижного состава получает суточную доходность практически в два раза выше (на 95%) по сравнению, если после выгрузки на Дальневосточной железной дороге уезжать в порожнем состоянии на Западно-Сибирскую железную дорогу. Учитывая быструю доставку в контейнерном поезде, суточный оборот вагонов в данных двух вариантах является одинаковым.

Конечно, такой тип подвижного состава не вытеснит полностью фитинговые платформы, однако сможет поддерживать сезонные всплески спроса на перевозку грузов. Компании, владеющие данным сервисом, будут иметь преимущества, так как это поможет сэкономить время и деньги — основные ресурсы в настоящее время.

Выводы

С помощью перевозок контейнеров в полувагонах:

1. Разгружаются порты, обеспечивая партнеров вагонами.
2. Исключаются порожние пробеги вагонов.
3. Снижается нагрузка на сеть железных дорог.
4. Увеличивается доходность операторов подвижного состава.
5. Осуществляется поиск инновационных технологических решений.
6. Создается дополнительная конкуренция для операторов фитинговых платформ, что положительно влияет на экономическую составляющую транспортной отрасли в целом.



Литература

1. Российская Федерация. Законы. Устав железнодорожного транспорта Российской Федерации. Федеральный закон от 10.01.2003 № 18-ФЗ: принят Государственной Думой 24 декабря 2002 года; одобрен Советом Федерации 27 декабря 2002 года. - Текст : непосредственный.
2. Приложение 3 к Соглашению о международном железнодорожном грузовом сообщении (СМГС) «Технические условия размещения и крепления грузов» : утверждено МПС РФ 27.05.2003 № ЦМ-943 (с изменениями от 23.10.2017). - Текст : непосредственный.
3. ГОСТ Р 53350-2009 (ИСО 668: 1995). Контейнеры грузовые серии 1. Классификация, размеры и масса = Series 1 freight containers. Classification, dimensions and ratings : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27 мая 2009 г. № 181-ст : введен впервые: дата введения 2010-01-01/ подготовлен Закрытым акционерным обществом «Промтрансстрой» (ЗАО «Промтрансстрой») на основе перевода на русский язык англоязычной версии стандарта, указанного в пункте 4. - Москва : Стандартинформ, 2009. - Текст : непосредственный.

4. Третьяков, Г. М Перспективные направления развития средств крепления грузов в вагонах и контейнерах / Г. М. Третьяков, В. В. Денисов.- Текст : непосредственный // Вестник транспорта Поволжья . - 2009 . - №4 (20) . - С. 19 - 22;
5. РЖД продлили скидку на перевозку контейнеров в полувагонах из ДФО на 2023 год . РЖД-Партнер : электронный журнал . - URL : <https://www.rzd-partner.ru/zhd-transport/news/rzhd-prodlili-skidku-na-perevozku-konteynerov-v-poluvagonakh-iz-dfo-na-2023-g/?ysclid=li071v1ajp927234842> (дата обращения : 03.02.2023) . - Текст : электронный.
6. Первая грузовая компания» запустила перевозки контейнеров с Дальнего Востока в полувагонах : TRANS.RU : международная логистическая платформа. - URL : <https://trans.ru/news/pervaya-gruzovaya-kompaniya-zapustila-perevozki-konteynerov-s-dalnego-vostoka-v-poluvagonah?ysclid=li07bnczem18369487>(дата обращения : 03.02.2023) . - Текст : электронный.
7. В России признали перегрузку портов на Дальнем Востоке : Lenta.ru : российское новостное интернет-издание . - URL: <https://lenta.ru/news/2022/11/17/peregruzka/?ysclid=li07jeloh2918399694> (дата обращения 03.02.2023). - Текст : электронный.
8. Контейнеры в полувагонах: за и против : РЖД – Партнер : электронный журнал . - URL: <https://www.rzd-partner.ru/zhd-transport/comments/konteynery-v-poluvagonakh-za-i-protiv/?ysclid=li07qx96cv759096022> (дата обращения 03.02.2023) . - Текст : электронный.
9. Федеральная служба государственной статистики: [сайт]. - Обновляется в течение суток . - URL : <https://rosstat.gov.ru> (дата обращения 03.02.2023) . - Текст : электронный.

ТЕХНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРИЕМА ПОЕЗДОВ НА ЭЛЕКТРИФИЦИРОВАННОЙ ТЯГЕ НА ПОГРУЗОЧНО-ВЫГРУЗОЧНЫЙ ПУТЬ ПРИ ЧАСТИЧНОМ ОТКАЗЕ ОТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОНТАКТНОЙ СЕТИ В ПРЕДЕЛАХ ГРУЗОВОГО ФРОНТА



С.П. Вакуленко



А.М. Насыбуллин

Статья является продолжением цикла публикаций по теме «Холодный экспресс» и описывает проблему обеспечения выполнения грузовых операций с поездами постоянного формирования, ведомыми электровозами. С учетом существующего опыта, предлагается технология, при которой прибытие на погрузочно-выгрузочный путь осуществляется накатом (в режиме выбега) с опущенными токоприемниками.

Ключевые слова: грузовой поезд постоянного формирования, прием грузового поезда, совмещение процессов, прием накатом

EDN: SZTAGV

Стратегия Холдинга ОАО «РЖД» нацелена на развитие контейнерных перевозок и подразумевает увеличение скорости, своевременности доставки груза, а также сокращение времени обработки контейнеров на терминалах и развитие контейнерных сервисов.

Для совершенствования технологии контейнерных перевозок и ее стратегии в целом, специалистами разрабатываются различные решения, позволяющие укрепить позиции железнодорожного транспорта в части контейнеризации перевозок грузов. Учеными АО «ВНИИЖТ», РУТ (МИИТ) и специалистами Центра фирменного транспортного обслуживания ОАО «РЖД» разработана и утверждена инновационная для железных дорог колеи 1520 технология «Холодный экспресс» [1;2].

Принципиальным ее отличием, в сравнении с уже существующими технологиями, должна стать работа с клиентской базой, предусматривающая оформление перевозки грузовладельцем в автоматизированном режиме без личного участия представителей перевозчика или с минимальным их участием.

Другим отличием новой технологии от существующих является возможность назначения попутных остановок грузовым поездам постоянного формирования для выполнения грузовых операций на специально оборудованных промежуточных пунктах маршрутов следования. Назначение остановок грузовым поездам позволит расширить географический рынок обслуживания одного маршрута поезда, по аналогии с вводом промежуточных остановок пассажирским поездам на попутных станциях. При этом выполнение

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.

Насыбуллин Айрат Марсович, старший преподаватель кафедры «Управление транспортным бизнесом и интеллектуальные системы» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: ускоренные грузовые перевозки, поезда постоянного формирования, городской транспорт, железнодорожные станции и транспортные узлы, грузовые, пригородные и пригородно-городские перевозки, графики движения поездов. Автор 35 научных работ.

Айсина Лилия Ринатовна, старший преподаватель кафедры «Управление транспортным бизнесом и интеллектуальные системы» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: организация пассажирских и грузовых перевозок железнодорожным транспортом, взаимодействие различных видов транспорта, вилочное движение, моделирование технологических процессов работы железнодорожной станции. Автор 40 научных работ.

грузовых операций подразумевается производить без отцепки — прицепки вагонов и локомотива от состава грузового поезда.

Кроме того, ведутся разработки в части адаптации этой технологии для более широкой номенклатуры грузов, перевозимых в интермодальной таре, а также пересмотр классической системы организации грузовых перевозок путем выделения отдельной технологической линии — переход от сортировки вагонов к сортировке контейнеров, подразумевающей перегрузку контейнеров из вагона в вагон по прямому варианту без расформирования поездов [3].

Технология приема грузового поезда к грузовому фронту под магистральным локомотивом позволит исключить часть операций по его обработке из технологического графика. Однако применяемые погрузочно-выгрузочные машины «вертикального типа» (козловые и порталные краны, ричстакеры, боковые перегружатели) имеют существенный недостаток — почти полностью отсутствует возможность их использования при наличии контактной сети. Эта особенность отрицательно сказывается на потенциале развития упомянутой выше технологии в увязке с использованием электрической тяги и вызывает необходимость обязательного использования локомотивов на автономной тяге.

Необходимо отметить, что учеными АО «ВНИИЖТ», на основании анализа использования зарубежного опыта [4;5], ведется разработка устройства отвода контактной сети и технологии ее реализации. Однако устройство существенно ограничивает возможность выполнения грузовых операций механизмами «вертикального» типа — козловыми кранами. Кроме того, анализ выполненных исследований установил, что на линиях ОАО «РЖД» не проработана и детально не изучена возможность осуществления грузовых операций при условии прибытия на грузовой фронт станции грузового поезда, ведомого электровозом. Поэтому важной особенностью является создание условий, гарантирующих безопасные грузовые операции с обеспечением приема и отправления грузовых поездов без отцепки локомотива от поезда.

С целью принятия компромиссного решения, с учетом высоких требований обеспечения безопасности, рассматривается технико-технологическое решение, при котором предлагается отказаться от контактной сети в пределах грузового фронта (рис. 1).

При этом на участке пути, для потребления электроэнергии локомотивом, должен выделяться специализированный участок контактной сети, не препятствующий грузовым операциям (рис. 2).

Прибытие грузового поезда на погрузочно-выгрузочный путь (проследование участка пути без контактной сети) возможно благодаря его прибытию с проследованием по участку, свободному от контактной сети, накатом (в режиме холостого хода — выбега), с опущенными токоприемниками.

Важно отметить, что для железных дорог колес 1520 мм, движение локомотива с составом грузового или пассажирского поезда в режиме выбега с опущенными токоприемниками не является принципиально новой технологией. Например, при неисправности контактной сети, производстве плановых ремонтных, строительных работ, а также при проследовании негабаритных мест (например, низкий путепровод), когда невозможно проследовать участок без исключения повреждения токоприемника, применяется технология проследования (без остановки) с опущенными токоприемниками в порядке, предусмотренном владельцем инфраструктуры (владельцем железнодорожного пути необщего пользования) [6]. Однако, проследование участка, свободного от контактной сети, с опущенными токоприемниками, при условии прицельного торможения, ранее специалистами не рассматривалось.

При этом сложность приема заключается в выдерживании минимально допустимой скорости, значение которой должно удовлетворять инфраструктурным ограничениям (стрелочные переводы, состояние верхнего строения пути и т.д.), порядку подъезда к запрещающему показанию светофора, а также исключать преждевременную остановку на участке пути без контактной сети.

С учетом вышеизложенного, предлагается следующая последовательность принципиальных операций при осуществлении приема грузовых поездов на погрузочно-выгрузочный путь накатом (рис. 3):

1. Прием грузового поезда с перегона на погрузочно-выгрузочный путь осуществляется поездным порядком. Подготовка к опусканию токоприемников (сброс позиций контроллера / выход из режима тяги) осуществляется после проследования знака «Подготовиться к опусканию токоприемников».

2. Выход из режима тяги позволяет отключить питание локомотива от контактной сети (выключение быстродействующего или главного выключателя), а также опустить токоприемники, к моменту проследования к знаку «Конец контактной подвески».

Скорость в момент опускания токоприемников должна быть не менее значения, обеспечивающего безопасную и точную остановку грузового состава в пределах грузового фронта, которое должно быть регламентировано местными условиями: продольный план и поперечный профиль пути, масса состава и прочих условий.

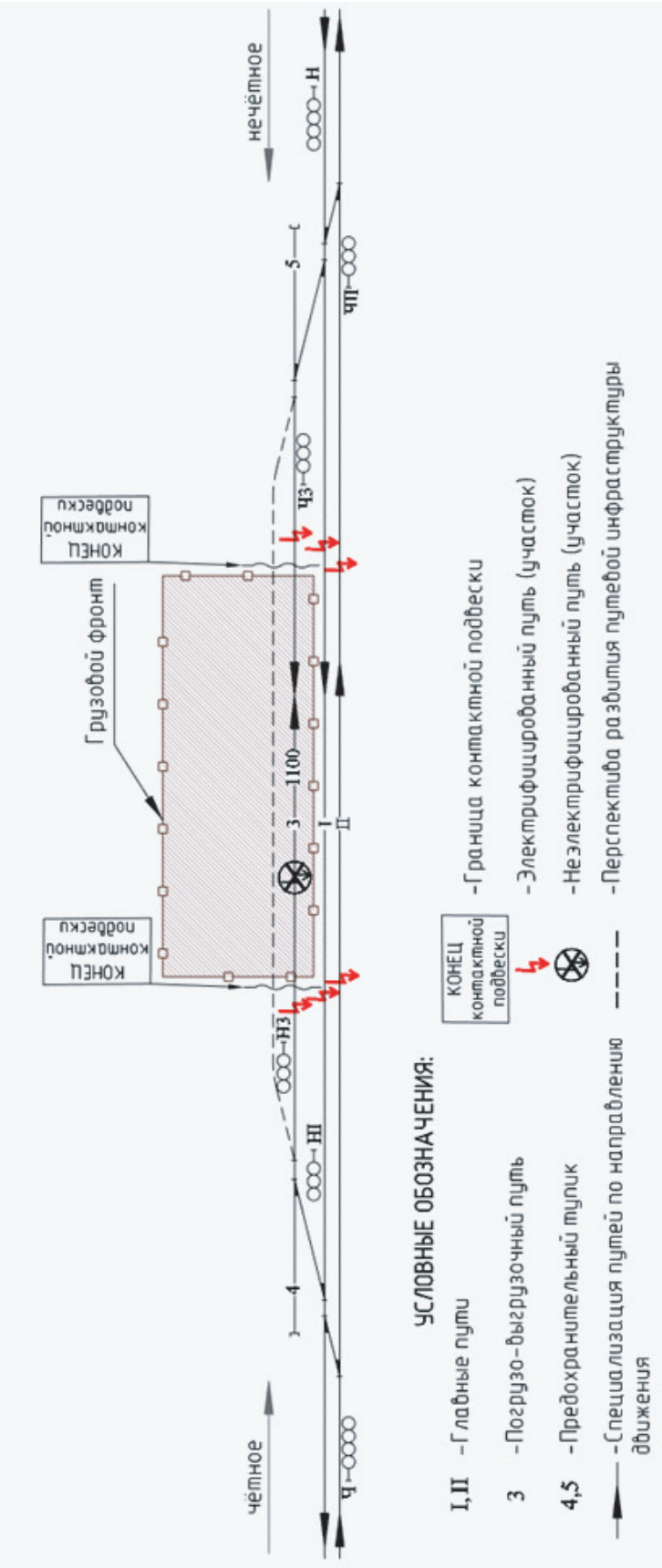


Рис. 1. Концептуальная схема путевого развития станции при частичном отказе от контактной подвески в пределах грузового фронта

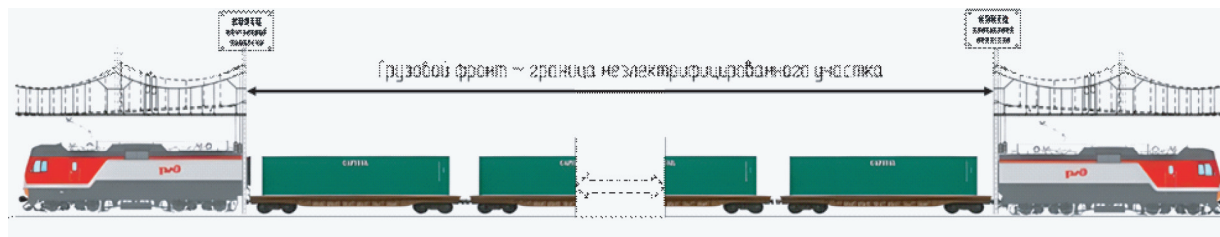


Рис. 2. Принципиальная схема размещения грузового поезда на грузовом фронте при частичном отказе от контактной сети

3. Остановка грузового состава в пределах полезной длины фронта и размещение локомотива на участке контактной сети (знак «остановка локомотива»), а также получение соответствующего разрешения, позволяет перейти к выполнению технических и коммерческих операций (если они не были произведены с помощью цифровых комплексов станции) и приступить к выполнению грузовых операций.

4. По завершению грузовых операций производятся технические и коммерческие операции по отправлению, сокращенное опробование автотормозов и после ожидания нитки графика — отправление грузового поезда.

5. Отправление грузового поезда с погрузочно-выгрузочного пути на перегон осуществляется электровозом, так как полз токоприемника находился на соответствующем участке контактной сети.

Решение о целесообразности и возможности приема грузовых поездов накатом при частичном отказе от использования контактной сети должно быть принято на основании соответствующих расчетов. Для этого, в рамках исследования, произведено моделирование движения грузовых поездов, позволяющее определить возможность реализации технологии и минимально допустимую скорость, исключающую преждевременную остановку (на участке пути без контактной сети), тем самым исключая возможное перекрытие горловины станции.

Моделирование движения грузовых поездов (рис. 4, 5) производилось с помощью итерационного графического интегрирования уравнения движения поезда при благоприятных и неблагоприятных условиях продольного профиля, массы состава, а также различных показателях выходного (маршрутного) светофора со следующими исходными данными:

- для учета элементов продольного профиля был принят «фиктивный» уклон (приведенный), который отражает значения действительного и эквивалентного

уклона (значения приведенного уклона приняты от 0 до 5‰, с шагом не более 1‰);

- значения величины массы грузового поезда принято в размере 925 и 5844 т, что эквивалентно порожнему и груженому составу (71 усл. вагон), при условии использования 80- и 40-футовых фитинговых вагонов-платформ;

- для скорости подъезда к выходному (маршрутному) светофору учитывались следующие требования: зеленый сигнал — движение с установленной скоростью; красный сигнал — за 400 м до сигнала — не более 20 км/ч; за 150 м до сигнала — не более 5 км/ч [7];

- скорость движения в начале пути приема не должна превышать 40 км/ч (ограничение проследования стрелочного перевода на боковой путь с маркой крестовины 1/9 и 1/11) [8];

- двойное торможение (торможение-отпуск-торможение) не может быть применено с целью недопущения истощения тормозной магистрали сжатого воздуха при опущенных токоприемниках;

- расстояние следования в режиме холостого хода (L_{xx}) (см. рис. 3):

$$L_{xx} = l_{бв(гв)} + l_{тп} + l_{гф} + l_{лок} = 1115 \text{ м},$$

где $l_{бв(гв)}$ — расстояние, пройденное при отключении быстродействующего (главного) выключателя локомотива, м (нормативное время отключения БВ 0,003 сек ≈ 1 сек), $l_{бв(гв)} = 10$ м;

$l_{тп}$ — расстояние, пройденное при опускании токоприемников, м (нормативное время отключения токоприемников с наивысшей рабочей высоты = 6 сек.), $l_{тп} = 70$ м;

$l_{гф}$ — длина грузового фронта, м (участок пути без контактной сети), $l_{гф} = 1000$ м при длине состава 71 усл. ваг;

$l_{лок}$ — длина участка пути, выделенного для стоянки локомотива, м, $l_{лок} = 35$ м (средняя длина двухсекционного электровоза);

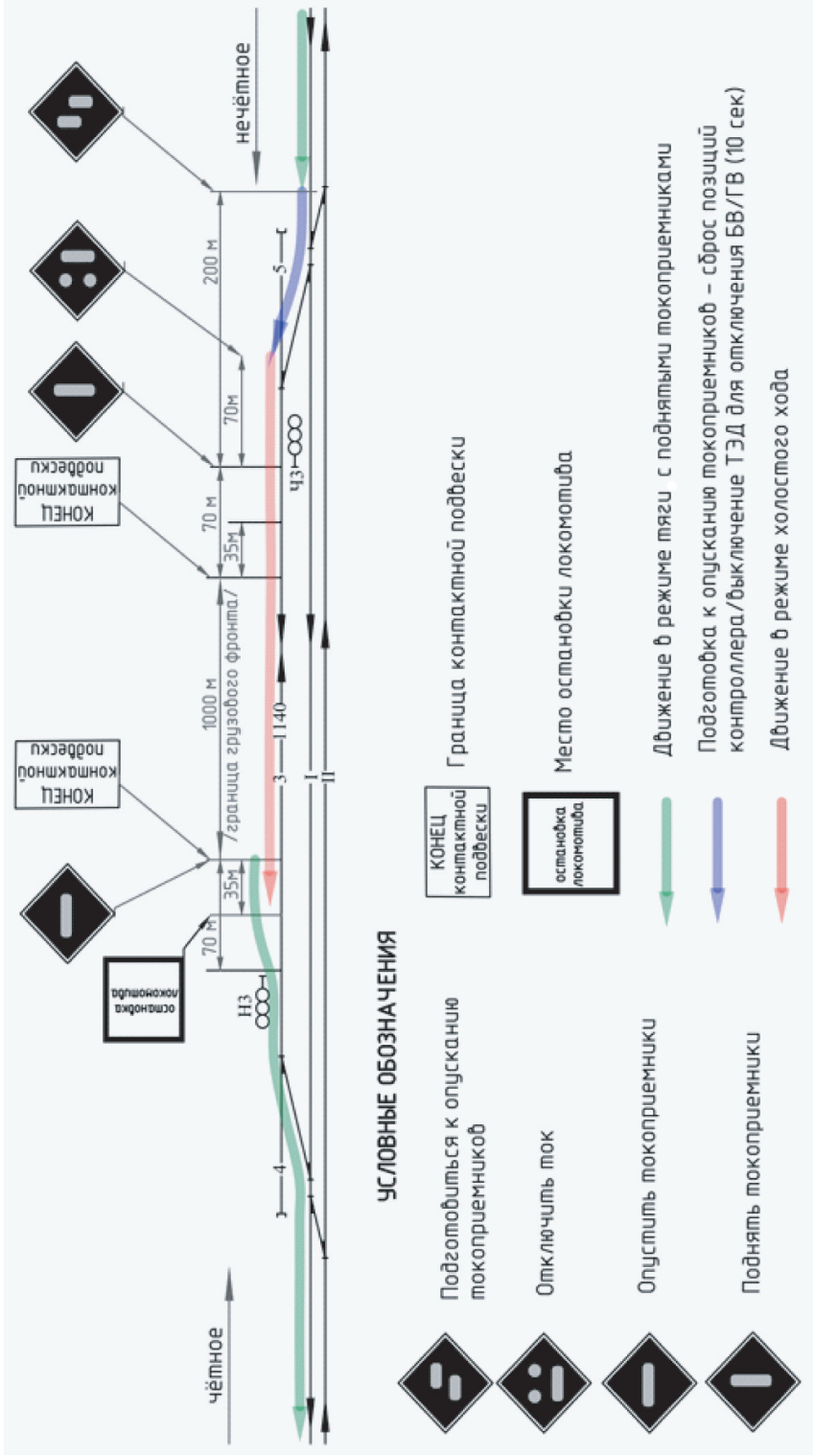


Рис. 3. Последовательность приема грузового поезда накатом на грузовой фронт с участком пути, свободным от контактной сети (путевые знаки для четных грузовых поездов размещаются аналогично знакам для грузовых поездов нечетного направления)



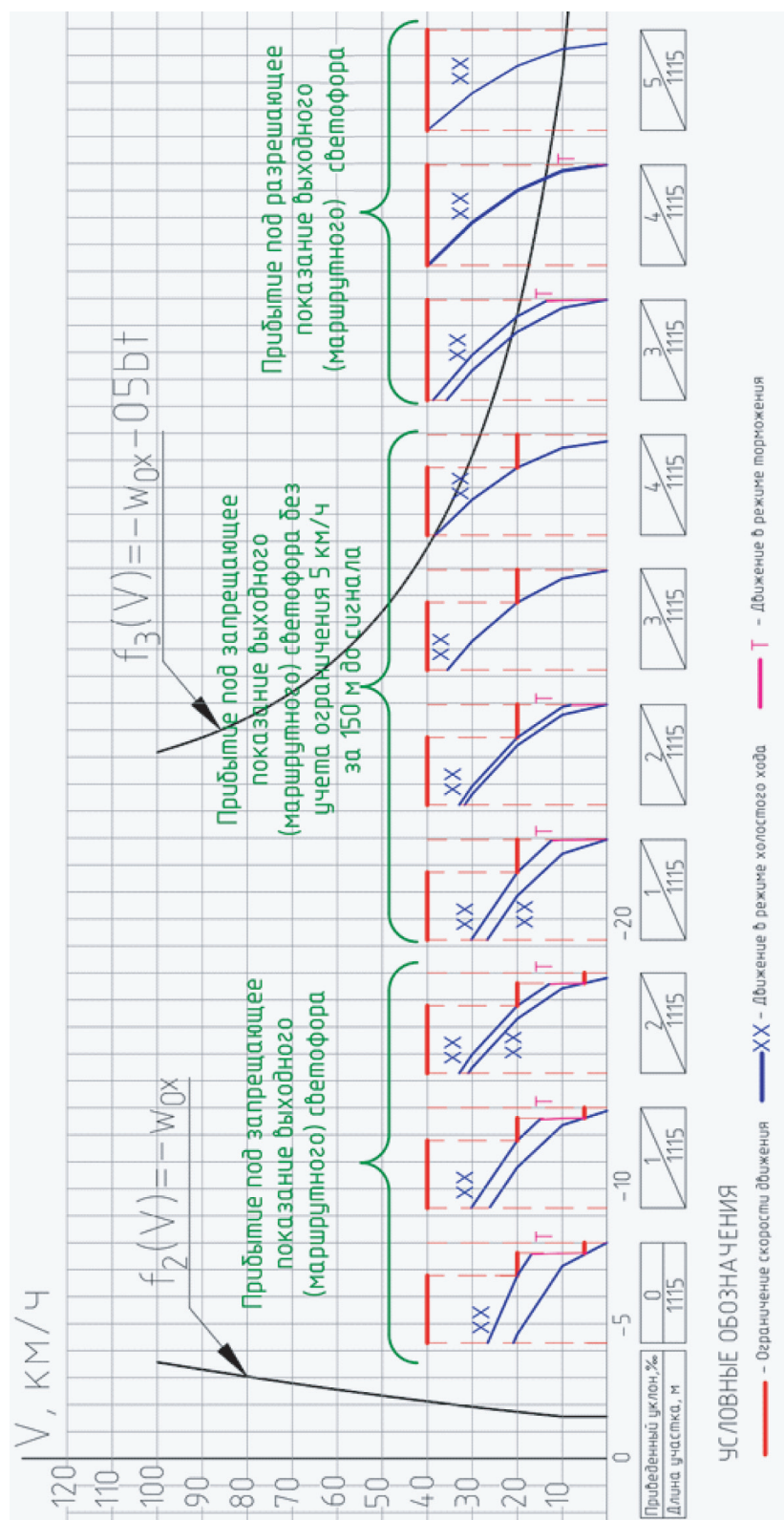


Рис. 5. Графическое интегрирование уравнения движения поезда (масса состава 925 т)

Результаты проведенного моделирования движения показали (рис. 4,5):

1. При приеме грузового поезда под запрещающее показание выходного (маршрутного светофора) возникает необходимость повторного торможения из-за ограничения скорости 5 км/ч за 150 м до сигнала. Данное ограничение приводит к невозможности приема грузового поезда (как груженого, так и порожнего) накатом на погрузочно-выгрузочный путь с приведенным уклоном 0‰.

Для исключения повторного торможения необходимо весь участок, свободный от контактной сети, проследовать в режиме холостого хода (выбега), с полным исключением торможения до места (знака) остановки локомотива.

В случае применения служебного торможения полностью исключается возможность удачного докатывания до участка пути, оборудованного контактной сетью.

2. При приеме грузового поезда под запрещающее показание выходного (маршрутного) светофора порядком, исключающим ограничение скорости 5 км/ч за 150 м до сигнала, критическим условием его приема (повышает вероятность преждевременной остановки состава поезда) является приведенный уклон более 3‰ с минимально допустимой скоростью прибытия 35 км/ч.

3. При приеме поезда под разрешающее показание выходного (маршрутного светофора), критическим условием его приема (повышает вероятность преждевременной остановки состава поезда) является приведенный уклон более 4‰, а минимально допустимая скорость принимает значение 39 км/ч.

Таким образом, максимально допустимым приведенным уклоном участка пути, свободного от контактной сети, является приведенный уклон 4‰, но для обеспечения резерва и исключения внешних факторов приведенный уклон должен быть не более 3‰.

На рис. 6 представлены сводные значения минимально допустимой скорости движения грузового поезда в момент опускания токоприемников для обеспечения прибытия накатом при различных значениях приведенного уклона и массы состава грузового поезда.

На основании проведенного моделирования можно сформировать технико-технологические требования для обеспечения приема грузового поезда накатом на погрузочно-выгрузочный путь при частичном отказе от контактной сети:

1. Для лучшей кинетической энергии грузового поезда при приеме в режиме холостого хода (выбега) станционную площадку предпочтительнее размещать в углублении профиля (в яме).

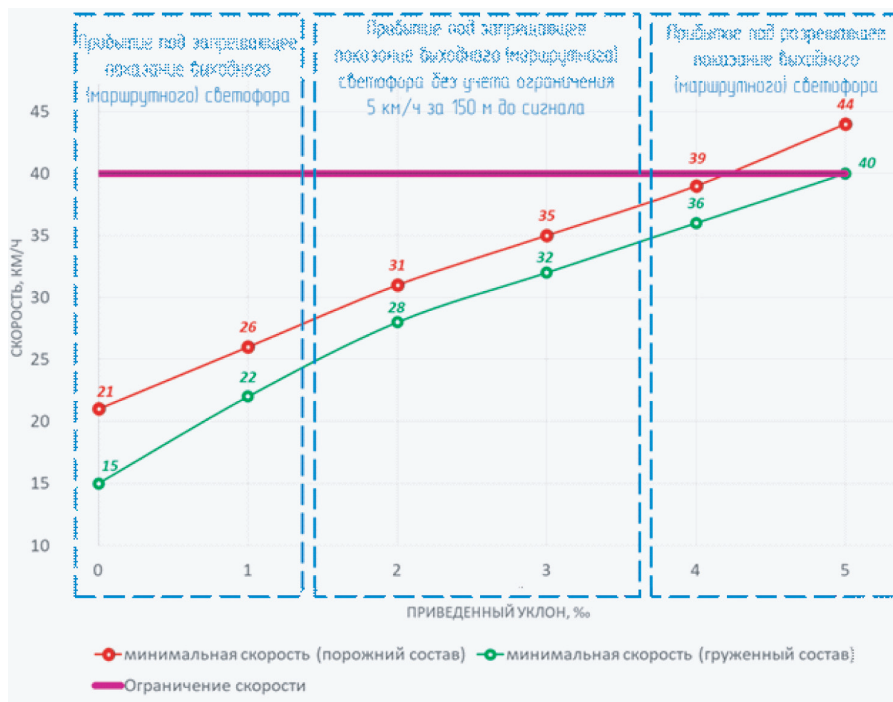


Рис. 6. Минимальная скорость движения грузового поезда в момент опускания токоприемников для обеспечения его приема накатом при различных значениях приведенного уклона и массы состава поезда

2. Для исключения повторного торможения, связанного с порядком приема поезда к выходному (маршрутному) светофору с запрещающим показанием (за 400 м до сигнала скорость 20 км/ч, за 150 м — 5 км/ч), возможны следующие решения:

- полезная длина погрузочно-выгрузочного пути должна быть увеличена на 300 м от стандартной длины пути, принятой на рассматриваемом участке;
- прибытие поезда должно обеспечиваться под зеленый сигнал светофора, при котором маршрут прибытия готовится «на проход» с передачей указания о необходимости остановки у путевого знака «остановка локомотива» (необходимо проведение «разделки маршрута» для возможности приготовления маршрута с выходом на неиспользованный маршрут);
- пересмотр порядка прибытия поезда к светофору с запрещающим показанием, при котором исключается требование снижения скорости до 5 км/ч за 150 м до сигнала.

3. Для возможности размещения локомотива под контактной подвеской, полезная длина погрузочно-выгрузочного пути (в четном и нечетном направлении) должна быть увеличена пропорционально длине участка пути, необходимой для размещения путевых знаков, а также учитывающей возможную неточность остановки состава в пределах грузового фронта (при длине состава 71 усл. вагон полезная длина пути должна составлять не менее 1140 м.);

4. Для исключения восприятия путевых знаков поездами других категорий, знаки должны быть интерактивного действия, с возможностью дистанционного включения (отключения) при приготовлении соответствующего маршрута приема / отправления;

5. В целях корректной работы тормозов состава поезда и локомотива могут быть использованы системы, обеспечивающие максимально допустимую скорость при условии автоматического прицельного торможения без участия действий машиниста локомотива;

6. Использование данной технологии может быть предусмотрено при получении согласования от перевозчика и соответствующего обучения локомотивных бригад особенностям управления тормозами.

Вывод

Для обеспечения условий совмещения процессов погрузки-выгрузки и питания от контактной сети электровоза, гарантирующих возможность осуществления приема и отправления с погрузочно-выгрузочного пути, наиболее предпочтительным вариантом оснащения станции, является вариант, при котором участок, свободный от контактной сети в зоне проведения грузовых операций, проследует с опущенными токоприемниками под действием кинетической энергии поезда (накатом). 

Литература

1. Скачков, А. А. Перевозка скоропортящихся грузов по технологии «холодный экспресс» / А. А. Скачков, М. И. Мехедов, В. В. Петров. - Текст : непосредственный // Железнодорожный транспорт. - 2018. - № 9. - С. 51- 54.
2. Типовая технология перевозки грузов поездами «Холодный экспресс»: утверждена распоряжением ОАО «РЖД» от 5 марта 2020 г. № 493/р. Екатеринбург: УралЮрИздат, 2020. - 24 с. - Текст : непосредственный.
3. Новые подходы к организации переработки контейнеропотоков / С. П. Вакуленко, А. М. Насыбуллин, Л. Р. Айсина [и др.]. - Текст : непосредственный // Железнодорожный транспорт. - 2022. - № 11. - С. 4-11. - EDN: WNCKBN.
4. Патент № 205470. Российская Федерация, МПК В60М 1/20 (2006.01). Устройство отвода контактной сети: № 2020139553: заявлено 02.12.2020 : опубликовано 15.07.2021 / Виноградов С. А., Мехедов М. И., Крылов А. А., Куликов А. В., Царьков А. А. : Акционерное общество «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» . - Текст : непосредственный.
5. Патент № 2759355. Российская Федерация, МПК В60М 1/20 (2006.01). Способ отвода контактной сети и устройство для его реализации: № 2020139554 : заявлено 02.12.2020 : опубликовано 12.11.2021 / Виноградов С. А., Мехедов М. И., Крылов А. А., Куликов А. В., Царьков А. А. : Акционерное общество «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» . - Текст : непосредственный.
6. Инструкция о порядке использования токоприемников электроподвижного состава при различных условиях эксплуатации ; Инструкция о порядке действий локомотивных бригад и работников дистанций электроснабжения при повреждении токоприемников, контактной сети и комиссионном их рассмотрении

/ М-во путей сообщения Рос. Федерации. — Москва : Трансинфо , 2004. - 31 с. - ISBN 5-93647-014-8 . - EDN: QNRSJL . - Текст : непосредственный.

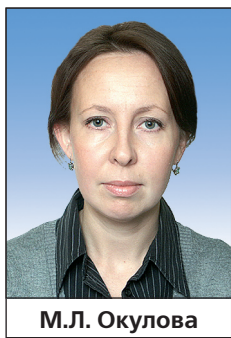
7. Памятка локомотивной бригаде по предупреждению проездов светофоров с запрещающим показанием : утверждена Распоряжением ОАО «РЖД» от 05.07.2018 № 1433/р в редакции Распоряжения ОАО «РЖД» от 23.04.2019 № 767р. - Текст : непосредственный.

8. Нормы допускаемых скоростей движения подвижного состава по железнодорожным путям колеи 1520 (1524) мм федерального железнодорожного транспорта : утверждены Распоряжением ОАО «РЖД» от 08.11.2016 г. №2240р. - Текст : непосредственный.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА НА ПОДПРОЦЕССЫ ПЕРЕВОЗОЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ



Е.С. Власова



М.Л. Окулова

Проанализированы подпроцессы перевозочной деятельности на железнодорожном транспорте за 2021 г. Выявлены повышенные зоны риска подпроцессов. Выполнен анализ и установлена зависимость количества транспортных происшествий от профессии и стажа работников, определены причины транспортных нарушений.

Ключевые слова: перевозочная деятельность, подпроцесс, транспортное нарушение, стаж, причина, культура безопасности

EDN: FDOQXM

Железнодорожный транспорт представляет собой систему взаимодействующих между собой элементов — технических средств и профессиональных кадров, от надежной и слаженной работы которых в первую очередь зависят безаварийность и безопасность движения, а также выполнение графика движения поездов [1].

Статистика показывает, что люди погибают или становятся инвалидами от воздействия различных неблагоприятных факторов природного, техногенного, антропогенного, биологического, экологического и социального характера [2].

Постоянно возрастающий уровень технической оснащенности перевозочного процесса, его интенсификация создают объективные условия для увели-

чения риска возникновения нештатных и аварийных ситуаций [3].

Проблема повышения уровня безопасности на железнодорожных путях станции является актуальной, поэтому авторами рассмотрена взаимосвязь элементов перевозочной деятельности в структурных предприятиях Центральной дирекции управления движением — филиала ОАО «РЖД» — и человеческого фактора.

Так как перевозочный процесс — это совокупность взаимосвязанных технологических операций, выполняемых с грузами и вагонами при подготовке, осуществлении и завершении перевозки, то перевозочный процесс можно условно сгруппировать на подпроцессы:

- прием поездов;
- расформирование составов поездов;

Власова Елена Сергеевна, старший преподаватель кафедры «Управление транспортными процессами» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: техносферная безопасность, управление грузовыми перевозками, безопасность движения, совершенствование технологии перевозочного процесса, математическое моделирование транспортных процессов. Автор 26 научных работ.

Окулова Мария Леонидовна, старший преподаватель кафедры «Управление транспортными процессами» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: логистические технологии, управление мультимодальными грузовыми перевозками, цифровизация высшего образования. Автор 18 научных работ.

Завьялова Юлия Владимировна, старший преподаватель кафедры «Управление транспортными процессами» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: обеспечение надежности и безопасности железнодорожного транспорта, организация работы вокзала, эксплуатация железных дорог. Автор 29 научных работ.

Песков Михаил Владимирович, старший преподаватель кафедры «Управление транспортными процессами» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: управление грузовыми перевозками, совершенствование технологии перевозочного процесса. Автор пяти научных работ.

- маневровая работа на путях необщего пользования;
- организация закрепления подвижного состава;
- формирование поездов;
- отправление поездов;
- диспетчеризация.

Для того, чтобы понять, какие меры необходимо предпринять, какие рекомендации разработать и как понизить влияние человеческого фактора на перевозочный процесс, выполнен анализ подпроцессов перевозочной деятельности на станции за 2021 г. Сгруппированные подпроцессы перевозочной деятельности представлены на рис.1. В зону повышенного риска, как видно из рис. 1, вошли подпроцессы: расформирование, формирование поездов и маневровая работа на путях необщего пользования (см. рис. 1).

Определено, что за 2021 г. наибольший процент нарушений был допущен при реализации подпроцесса «расформирование составов поездов» — 47% от общего количества.

В 2021 г. из 70 случаев нарушений безопасности движения 34 события (или 49%) было допущено при роспуске вагонов на сортировочных горках железнодорожных станций («горочные» события), учитывая что сортировочные горки оборудованы автоматизированными системами управления (КСАУ СП и ГАЦ).

Исследуя подпроцесс «Расформирование составов поездов», авторы пришли к выводу, что наибольшее количество событий допущено из-за нарушения технологии работы сортировочной горки. Кроме этого, огромную роль сыграло и нерасчетливое торможение отцепов.

В ходе исследования подпроцесса «Формирование поездов», выявлены следующие причины, по которым допускалось наибольшее количество инцидентов:

- дача команды на движение при неготовом или не полностью приготовленном маршруте;
- отсутствие проверки препятствий перед началом движения подвижного состава;
- отсутствие проверки свободности стрелки от подвижного состава.

В процессе анализа было установлено, что при производстве маневровой работы на путях необщего пользования допускались нарушения следующего характера:

- перевод стрелки под подвижным составом;
- дача команды на движение по неготовому маршруту;
- отсутствие контроля над маршрутом следования.

Анализируя случаи нарушения безопасности движения «горочных» событий, отмечен их значительный рост — на 19 событий больше чем в 2019 году и на 20 событий больше чем в 2020 году (рис. 2).

Авторами установлено, что такие факторы как неудовлетворительное содержание объектов инфраструктуры и отказ в работе технических средств в 14 случаях стали сопутствующими причинами возникновения нарушений безопасности движения и привели к созданию нестандартной ситуации для сотрудников горочных комплексов.

Интересно отметить, что по вине дежурных по сортировочной горке допущено 25 инцидентов (36% от общего количества) — это наибольшее количество инцидентов, составителей поездов — 18 инцидентов



Рис. 1. Динамика нарушений в подпроцессах перевозочной деятельности за 2021 год

(26% от общего количества) и дежурным по станции — 10 инцидентов (14% от общего количества) соответственно (табл. 1).

Если анализировать по стажу работы в должности, то наибольшее количество транспортных событий допущено по вине работников, имеющих стаж работы от 1 до 3 лет (30% от общего количества событий) и от 5 до 10 лет (21% от общего количества), как это видно из табл. 2.

При этом 50% всех транспортных происшествий за период с 2018 по 2021 гг. приходятся на работников со стажем работы до 3 лет (рис. 3).

Учет влияния человеческого фактора в производственной деятельности — одна из важнейших задач обеспечения безопасности движения и гарантированного выполнения технологии перевозочного процесса [4].

На основе вышеизложенного можно сделать вывод, что причиной всех допущенных транспортных происшествий является «человеческий фактор», заключающийся в невыполнении требований инструкции по работе сортировочной горки и нарушении требований основного документа, регламентирующего деятельность железнодорожного транспорта — Инструкции по движению поездов и маневровой работе на железнодорожном транспорте РФ (далее — ИДП), что подчеркивает низкий уровень культуры безопасности (рис. 4).

Очевидно, что работник даже высокой квалификации и добросовестности, имеющий достаточный опыт работы, может ошибиться, поэтому необходимо следить за выполнением систем защиты человека от ошибок и разрабатывать мероприятия по минимизации влияния человеческого фактора на подпроцессы перевозочной деятельности.

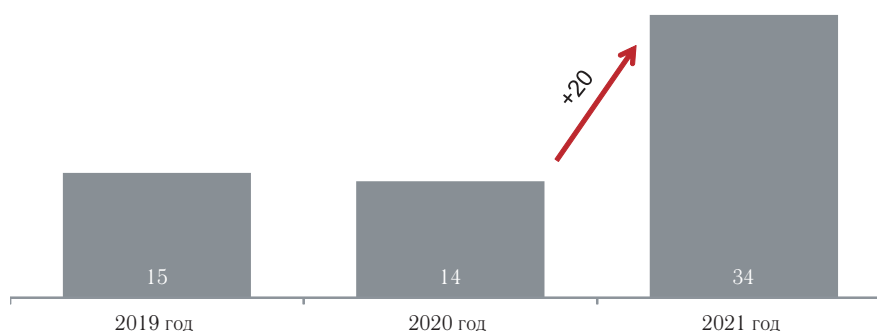


Рис. 2. Динамика возникновения событий, допущенных при роспуске вагонов на сортировочных горках

Таблица 1

Распределение транспортных событий по профессиям

70 инцидентов	76%	36%	25 событий	Дежурный по сортировочной горке
		26%	18 событий	Составитель поездов
		14%	10 событий	Дежурный по станции
	7%		5 событий	Оператор сортировочной горки
	6%		4 события	Сигналист
	4%		3 события	Регулировщик скорости движения вагонов
	3%		2 события	Дежурный стрелочного поста
	1%		1 событие	Диспетчер поездной
	1%		1 событие	Диспетчер станционный, маневровый
	1%		1 событие	Оператор поста централизации

Таблица 2

Анализ зависимости случаев происшествий и событий от стажа работников
по итогам работы за 2021 г. в сравнении с 2018–2021 гг.

Должности	До 1 года				От 1 до 3 лет				От 3 до 5 лет				От 5 до 10 лет				От 10 до 15 лет				Более 15 лет				Общее количество нарушений			
	2018	2019	2020	2021	2018	2019	2020	2021	2018	2019	2020	2021	2018	2019	2020	2021	2018	2019	2020	2021	2018	2019	2020	2021	2018	2019	2020	2021
ДСП	1	4	5	3	4	4	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	8	14	16	10
Составитель поездов	4	9	1	3	3	7	6	4	3	3	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	20	26	18	18
ДСПГ	5	1	2	3	2	2	2	9	4	2	2	4	2	7	3	2	4	2	2	2	1	1	1	1	13	7	7	25
ОСГ						3	1	2					2	2			2	2		1				1	3	3	3	5
РСДВ		1	2		4			2		2		1	1	1	1	1					1				5	4	3	3
Сигналист	2			1	1	1		2		1			1				1								0	4	0	4
ДСПП					1								1												2	0	0	0
Дежурный стрелочного поста	1			1		1		1	1																2	1	0	2
ДС, Зам ДС	1				4	1							1							1					5	3	0	0
ДНЦ						1	1						1												0	1	1	1
ОПЦ		1		1	1				1			1		1											3	3	1	1
ДСЦ					1						1										1				1	1	1	1
ВСЕГО	12	18	11	12	20	20	12	21	10	9	6	9	13	7	14	15	5	8	3	5	2	5	4	8	62	67	50	70
% от общего по году	19%	27%	22%	17%	32%	30%	24%	30%	16%	13%	12%	13%	21%	10%	28%	21%	8%	12%	6%	7%	3%	7%	8%	11%	100%			

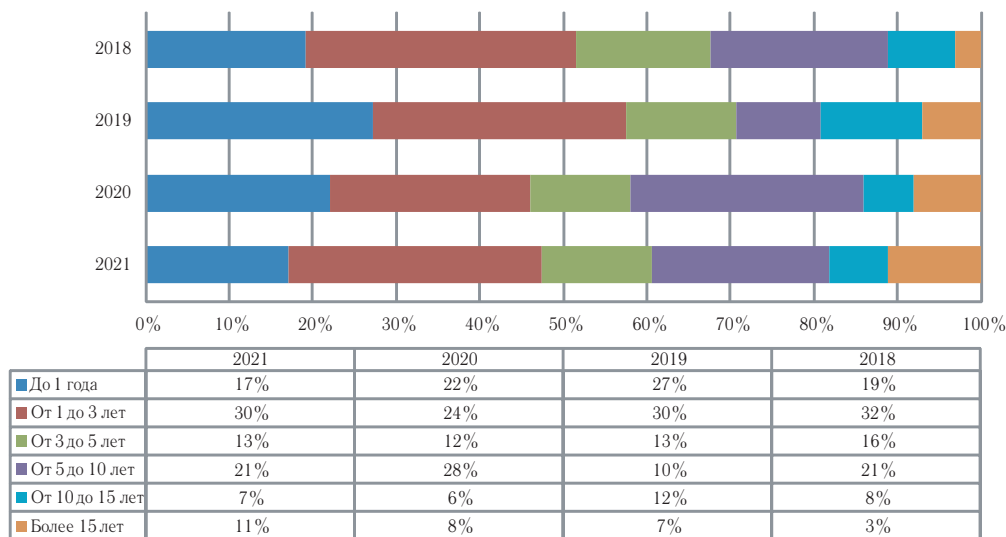


Рис. 3. Зависимость транспортных происшествий и событий от стажа работников за период с 2018 по 2021 гг.

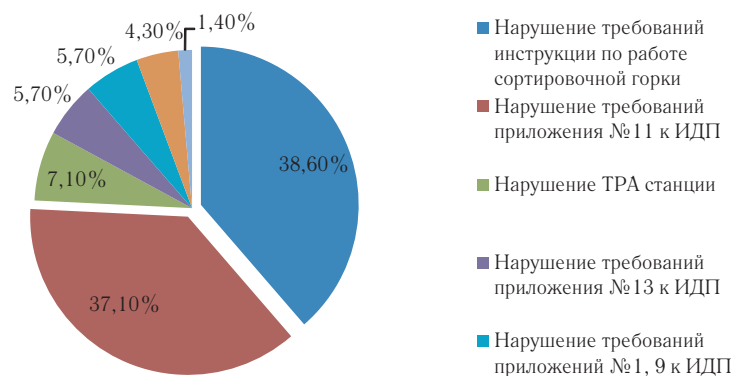


Рис. 4. Нормативные документы, при несоблюдении требований которых были допущены нарушения безопасности движения поездов в 2021 г.

Литература

1. Завьялов, А. М. Анализ видов, причин и последствий технологических нарушений в работе железнодорожных станций / А. М. Завьялов, И. Н. Синякина, Ю. В. Завьялова. - Текст : непосредственный // Наука и техника транспорта. - 2017. - № 3 - С. 102-105.
2. Анализ случаев транспортных нарушений, влияющих на техносферную безопасность на железнодорожном транспорте / В. А. Аксенов, Г. М. Биленко, А. М. Завьялов, Е. С. Власова. - Текст : непосредственный // Наука и техника транспорта. - 2022. - № 4. - С. 81-86.
3. Бархатов В. С. Влияние человеческого фактора на безопасность эксплуатации подвижного состава / В. С. Бархатов, Е. А. Сорокина. - Текст : электронный // Актуальные проблемы техносферной безопасности (г. Москва, 30-31 марта 2021 г.): сборник трудов III национальной научно-практической конференции РОАТ; М-во транспорта Рос. Федерации, Рос. ун-т транспорта (МИИТ), Рос. открытая акад. транспорта. - Москва : РУТ (МИИТ) : РОАТ, 2021. - 1 CD-ROM. - С. 314-317.
4. Морозов, В. Н. Безопасность перевозок — на уровень современных требований / В. Н. Морозов. - Текст : непосредственный // Железнодорожный транспорт. - 2011. - № 11. - С. 4-8.

БЕЗОПАСНАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВАГОНОВ С ЭЛЕМЕНТАМИ ИЗ АНИЗОТРОПНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В статье приводится обоснование повышения провозной способности железнодорожного транспорта, путем внедрения вагонов с элементами из композитных материалов. Определены технико-экономические показатели такого вагона. Рассмотрен вопрос обеспечения безопасности эксплуатации легковесных вагонов. Проведен численный эксперимент по оценке опасности выжимания легковесных вагонов при торможении.

Ключевые слова: повышение провозной способности, автоматические тормоза, динамика вагона, безопасность движения

EDN: SZSRKR



О.Ю. Емельянов



О.Ю. Кривич

Одним из важнейших направлений развития железнодорожного транспорта является увеличение его провозной способности. Эта задача закреплена в принятой Правительством Российской Федерации транспортной стратегии на период до 2030 года. Для решения данной задачи существует несколько подходов, которые можно разделить на количественные и качественные. К первым относятся такие методы, как увеличение длин грузовых поездов и повышение осевых нагрузок, последний рационально применять лишь для таких вагонов, которые предназначены для перевозки груза с высоким значением удельного веса. Ограничением при загрузке таких вагонов является максимальная осевая нагрузка, а не полезный перевозочный объем вагона. Но такие подходы несут в себе серьезные негативные последствия, связанные

с экономическими издержками на изменение железнодорожной инфраструктуры, а именно: увеличение длин приемо-отправочных путей, усиление верхнего строения пути, изменение норм времени технического осмотра полученных длинносоставных поездов.

К качественному же подходу увеличения провозной способности железнодорожного транспорта относится изменение соотношения тары вагона к его грузоподъемности. Такой способ позволяет оставить без изменения суммарный вес брутто и, следовательно, воздействие на ходовые части и верхнее строение пути, но при этом повысить значение грузоподъемности вагона и, соответственно, параметров провозной способности железнодорожного транспорта [2].

Для изменения коэффициента тары вагонов самым очевидным решением является использование в

Емельянов Олег Юрьевич, аспирант кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: прочность подвижного состава, легковесные материалы, анизотропные материалы. Автор 10 научных работ.

Кривич Ольга Юрьевна, кандидат технических наук, доцент, начальник учебного отдела Учебно-методического многофункционального центра Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: повышение эффективности технологической подготовки вагоноремонтного производства, оценка потребительских свойств продукции железнодорожного транспорта. Автор 64 научных работ.

Сергеев Иван Константинович, ассистент кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: динамика и прочность подвижного состава, математическое и компьютерное моделирование. Автор 35 научных работ.

конструкции подвижного состава других материалов. Традиционно железнодорожная отрасль сфокусирована на стали. Тем не менее абсолютно обоснованной тенденцией является замена некоторых конструктивных элементов подвижного состава из стали легковесными материалами с целью увеличения полезной грузовой нагрузки нетто и уменьшения потребления энергоресурсов при порожнем ходе. Аэронавигационная отрасль лидирует в сфере замены материалов на легковесные. Когда в восьмидесятых годах Airbus разработал A320, на алюминиевые сплавы приходилось около 65% веса конструкции, тогда как современный лайнер модели A350 состоит только на 20% из алюминиевых сплавов. Доля композитов, напротив, увеличилась с 13 до 53%.

Для определения степени значительности замены материалов некоторых элементов конструкции вагона на легковесные был произведен расчет, в котором вагоном-прототипом являлся вагон-цистерна модели 15-157 для перевозки серной кислоты. Данный тип груза занимает значительную часть в общем объеме перевозок железнодорожным транспортом и поэтому увеличение эффективности его транспортировки является актуальной задачей. Котел вагона-прототипа изготовлен из стали 09Г2С, которая имеет плотность 7800 кг/м³. При изготовлении котла из композитных материалов, плотность которых составляет 1600–1800 кг/м³, произойдет снижение массы котла пропорционально значениям плотности, так как толщина стенок котла из композитного материала останется неизменной ввиду схожести механических характеристик материалов. Линейные размеры по длине вагона оставим без изменения ввиду того, что расстояние между соседними сливо-наливными устройствами стандартных эстакад составляет 12 м. Для обеспечения параллельности процесса загрузки-разгрузки цистерн в составе необходимо соблюдение их стандартизированных размеров. При сравнении получившихся технико-экономических параметров различных вариантов была выбрана оптимальная конструкция. Критерием выбора являлась наибольшая грузоподъемность с условием непревышения осевых нагрузок. Выбранный вариант конструкции проверим на соответствие «Нормам для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных)».

Таким образом, расчет сводился к поиску такого диаметра котла, при котором достигается оптимальное сочетание массы груза с массой котла. Ограничением при выполнении данного расчета выступал вес вагона брутто, который не должен превысить 100 т из соображений непревышения допустимых осевых нагрузок тележек модели 18-194-1. При увеличении диа-

метра котла неизбежно изменяет свое значение величина его веса, которую необходимо учитывать. В ходе анализа конструкции котла с применением системы автоматизированного проектирования определены параметры массы котла в соответствии со значением его внутреннего диаметра.

По данным значениям выявлена зависимость, которая является функциональной, так как коэффициент корреляции равен единице. Зависимость между массой котла m_k , т, и его внутренним диаметром D_b , м, представлена формулой (1) (толщина стенок котла принята равной 10 мм, в соответствии с [3]):

$$m_k = 0,6 \cdot D_b - 0,15. \quad (1)$$

Полный объем котла V_k , м³, определен по следующей зависимости:

$$V_k = \frac{\pi D_b^2}{2} \left(L_{\text{кот}} - \frac{h_d}{3} \right), \quad (2)$$

где $L_{\text{кот}}$ — половина длины котла, м;

h_d — высота эллиптического днища по ГОСТ 6533-78, 0,55 м.

Полезный объем котла найдем как произведение полного объема и коэффициента заполнения котла грузом.

Вес брутто вагона $P_{\text{бр}}$, т, равен:

$$P_{\text{бр}} = m_{\text{пост}} + m_k + m_{\text{гр}}, \quad (3)$$

где $m_{\text{пост}}$ — масса платформы (вагона без котла), опор, сливо-наливного оборудования и торцевых щитов, значение составляет 17,5 т;

m_k — масса котла;

$m_{\text{гр}}$ — масса груза.

Масса груза определена как произведение полезного объема котла и плотности перевозимого груза, а именно серной кислоты.

Таким образом, зная плотность груза, максимально допустимое значение веса брутто, зависимости массы и объема котла от его размеров, несложно определить оптимальное значение внутреннего диаметра котла с учетом максимизации параметра возможной к перевозке массы груза.

Заменив каждое слагаемое в формуле (3) его зависимостью от внутреннего диаметра котла, получаем уравнение с одним неизвестным — внутренним диаметром котла D_b , м:

$$P_{\text{бр}} = m_{\text{пост}} + (0,5D_b - 0,04) + \left(\frac{\pi D_b^2}{2} \left(\frac{2L_{\text{кот}}}{2} - \frac{h_d}{3} \right) \rho_{\text{с.к.}} k_{\text{заполн}} \right), \quad (4)$$

где $2L_{\text{кот}}$ — длина котла;

$\rho_{\text{с.к.}}$ — плотность серной кислоты, 1,8356 кг/м³;

$k_{\text{заполн}}$ — коэффициент заполнения котла грузом, 0,98.

Решив данное уравнение, получаем, что корнями уравнения являются значения $-2,418$ и $2,376$.

Искомое значение внутреннего диаметра котла не может быть отрицательным числом и, следовательно, составляет $2,376$ м.

Вес котла в соответствии с зависимостью (1) таким образом составляет $1,276$ т.

Одним из главнейших технико-экономических параметров является погонная нагрузка нетто $q_{\text{нн}}$ [5]. Именно она определяет эффективность вагона и напрямую влияет на провозную способность железных дорог. К относительным технико-экономическим параметрам вагона относится технический коэффициент тары $\bar{K}_t$. В результате произведенных вычислений, полученные значения важнейших технико-экономических параметров были сведены в табл. 1 для наглядного их сравнения.

Таким образом видно, что величины ключевых показателей вагона с использованием в своей конструкции легковесных композитных материалов значительно изменены в экономически выгодную сторону, что доказывает необходимость внедрения подобной конструкции в эксплуатацию. Особенно важно увеличение грузоподъемности и объема перевозимого груза на $17,7$ и $16,3\%$ соответственно. При этом погонная нагрузка нетто возросла на $17,7\%$, что в $2,6$ раз больше увеличения погонной нагрузки брутто, которая оказывает непосредственное воздействие на верхнее строение пути. При этом ограничение по нагрузке на ось не нарушено.

Сложнейшей задачей при использовании такого подхода к изменению конструкции вагона историче-

ски являлась технология стыка таких разнородных материалов как сталь и композит. И, если в отрасли судостроения и применялись схемы комбинирования таких материалов, то для отрасли железнодорожного транспорта они являлись неприемлемыми ввиду воздействия на такие соединениякратно больших нагрузок. Но в настоящее время комбинирование стали и композита в единой конструкции становится возможным благодаря появлению новых видов пластификаторов для смол и армированных волокном полимеров (FRP). Такой материал позволяет осуществить плавный переход прочностных характеристик от стали к композиту и таким образом исключить зону резкого изменения характеристик, которая и является центром концентрации напряжений.

Наряду с необходимостью внедрения вагонов с элементами конструкции из легковесных материалов, наблюдается увеличение мультимодальных перевозок, в полном цикле которых используется несколько видов транспорта доставки. Фаворитом в этом направлении — контейнерные перевозки, которые являются возможными по причине существования на железнодорожном транспорте такого вида подвижного состава как длиннобазные контейнерные платформы [4]. Это логистически рациональная доставка грузов. Смена транспорта доставки занимает минимальное время и производится на конечных точках маршрута в специально оборудованных местах. Нет необходимости иметь различные типы погрузо-разгрузочной техники, технологий и увеличенные приемо-отправочные пути на всей сети железных дорог.

Таким образом, учитывая эти активно развивающиеся направления, несложно заметить, что сниженные значения массы тары при неизменной полной нагрузке

Таблица 1

Сравнение технико-экономических характеристик вагона

с использованием легковесных материалов в своей конструкции и вагона-прототипа

Показатель	Величина показателя вагона-прототипа	Величина показателя легковесного вагона	Изменение величины, %
Тара вагона, т	24,5	18,776	−23,4
Грузоподъемность, т	69,0	81,223	+17,7
Объем котла полный, м ³	38,84	45,152	+16,3
Объем котла полезный, м ³	38,06	44,249	
Осевая нагрузка, тс/ось	23,5	25	+6,4
Технический коэффициент тары	0,355	0,231	−34,9
Погонная нагрузка нетто, тс/м	5,740	6,757	+17,7
Погонная нагрузка брутто, тс/м	7,779	8,319	+6,9

на ось груженого вагона приводит к увеличению разницы между порожним и груженым состоянием вагона, а увеличение длин поездов без модернизации тормозной системы приводит к увеличению продольных сил по длине состава, ведь параметры тормозных систем не подвергаются изменениям в рассмотренных ситуациях. При неблагоприятном стечении обстоятельств (легковесный вагон зажат гружеными), эти факторы могут явиться причиной критической обезгрузки ходовых частей вагона и его последующего выжимания из рельсовой колеи. Это особенно ярко проявляется во время режима торможения.

Для обеспечения плавного и одновременного срабатывания тормозов следует увеличить значение скорости тормозной волны по составу. Концепция установки двух воздухораспределителей на один вагон или установка дополнительных систем разрядки магистрали решает выявленную проблему [6]. Основываясь на экспериментальных данных, такие решения позволяют увеличить скорость распространения тормозной волны на 20–25 %.

Предварительную оценку положительного эффекта от применения подобных решений на продольную динамику состава можно осуществить, прибегнув к методам компьютерного моделирования. Для этого была сформирована математическая модель, позволяющая вычислять значения продольных и вертикальных усилий на автосцепках состава. На ее основе в дальнейшем была создана компьютерная модель, позволяющая эффективно и быстро проводить численные эксперименты. Интерфейс программы представлен на рис. 1.

Известно, что значения рамных сил, коэффициентов динамики и прочих динамических показателей напрямую зависят от уровней продольных и вертикальных сил в автосцепных устройствах вагонов поезда [1]. Было произведено компьютерное моделирование. Состав разделен на три сцеха, центральный сцеп вагонов представлен единичным легковесным вагоном. Исходные данные для эксперимента представлены в табл. 2.

Программа сохраняет максимальные реакции, достигнутые в процессе моделирования, что позволяет в удобной форме агрегировать данные. В результате выполнения серии опытов были получены результаты, представленные на рис. 2, 3.

Можно заметить, что с ростом скорости распространения тормозной волны максимумы обеих составляющих межвагонной реакции значительно падают. Наилучшие результаты соответствуют значению скорости распространения тормозной волны 350 м/с. Это значение соответствует случаю установки на вагон различных устройств-ускорителей торможения, к примеру, блока хвостового вагона. Обобщая, стоит отметить, что проведенные опыты подтверждают актуальность совершенствования тормозных систем легковесных вагонов с целью улучшения их динамических качеств.

Таким образом, развитие технологий позволяет производить изменения в конструкции подвижного состава, заменяя материалы тяжелой промышленности на более технологичные и легкие. Целесообразность производства и использования таких конструкций показана расчетным методом и обоснована значительным



Рис. 1. Интерфейс созданной компьютерной программы для моделирования динамики состава

изменением технико-экономических показателей в положительную сторону. Появляющиеся при этом негативные факторы, такие как возможная обезгрузка ходовых частей в порожнем состоянии легковесного вагона или увеличение длин составов из-за контейнерных платформ, не являются критическими, а также пред-

ложены варианты для исключения влияния этих факторов на безопасность эксплуатации как технического плана, так и путем предварительного моделирования для определения или возможности эксплуатации либо выявления требуемых характеристик разрабатываемых тормозных систем.



Таблица 2

Параметры состава для режима торможения

№ сцепа	1	2	3
Тип вагона	Длиннобазная платформа	Легковесный вагон	Длиннобазная платформа
Загрузка, т	62	0	62
Тара, т	24,0	18,8	24,0
Масса тележки, т	9,6	9,6	9,6
Момент инерции, т·м ²	1000	750	1000
Высота центра тяжести, м	1,5	1,767	1,5
База, м	19,7	7,8	19,7
Консоль, м	3,01	3,01	3,01
Поглощающий аппарат	Р-5П	Р-5П	Р-5П
Число вагонов в группе	19	1	19
Начальная скорость, км/ч	50		
Режим движения	Торможение на уклоне		
Масса состава, т	3905		
Уклон профиля i , ‰	Варьируется в экспериментах в диапазоне от 2 до 10		
Скорость распространения тормозной волны, м/с	Варьируется в экспериментах в диапазоне от 200 до 350		

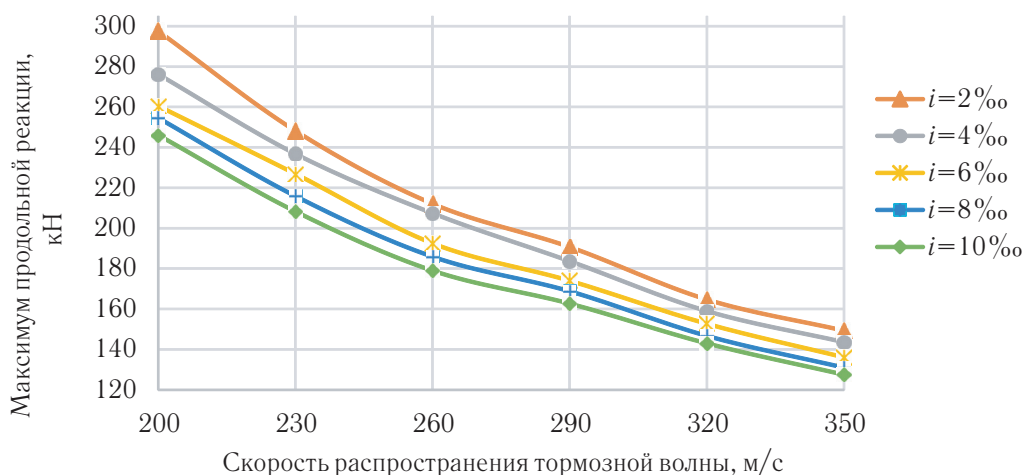


Рис. 2. Зависимость максимумов продольной составляющей межвагонной реакции в составе от значений скорости распространения тормозной волны

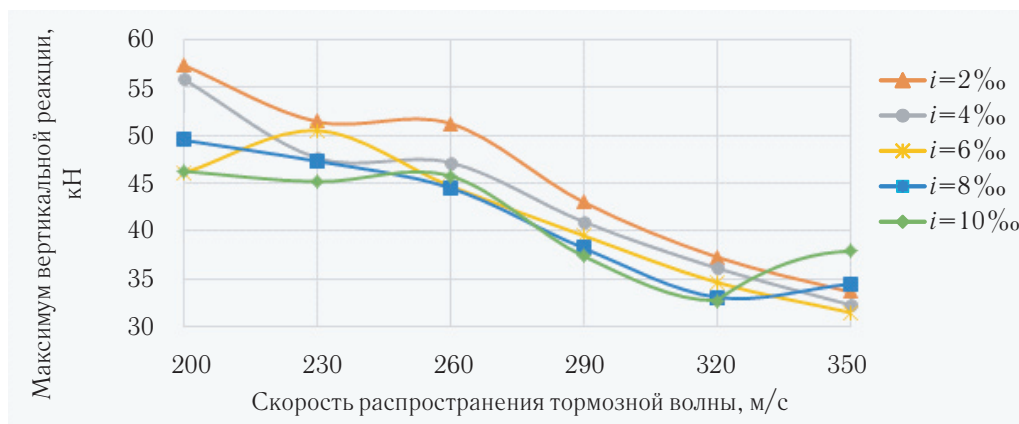


Рис. 3. Зависимость максимумов вертикальной составляющей межвагонной реакции в составе от значений скорости распространения тормозной волны

Литература

1. ГОСТ 33788-2016. Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и динамические качества = Freight and passenger railcars. Methods of testing structural strength and dynamic performance : Российской Федерации: издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 19 июля 2016 г. № 856-ст : дата введения 2017-05-01 . - Москва : Стандартинформ, 2016. - 40 с. - Текст : непосредственный.
2. Емельянов, О. Ю. Развитие транспортной системы и экономики путём качественного преобразования конструкции подвижного состава / О. Ю. Емельянов, А. И. Быков. - Текст : непосредственный // Актуальные аспекты и приоритетные направления развития транспортной отрасли : материалы молодежного научного форума студентов и аспирантов транспортных вузов с международным участием, Санкт-Петербург, 14-15 ноября 2019 года. - Москва: Издательство «Перо», 2019. - С. 284 - 287.
3. Емельянов, О. Ю. Эксплуатация вагонов со сниженной массой тары в длинносоставных тяжеловесных поездах / О. Ю. Емельянов, О. Ю. Кривич, И. К. Сергеев. - Текст : непосредственный // Транспорт: наука, техника, управление. - 2022. - № 10. - С. 28-33.
4. Кривич, О. Ю. Исследование ходовых качеств вновь создаваемых вагонов со сниженным значением массы тары путем компьютерного моделирования динамики состава / О. Ю. Кривич, И. К. Сергеев, О. Ю. Емельянов. - Текст : непосредственный // Наука и техника транспорта. - 2022. - № 2. - С. 8-11.
5. Нормы для расчёта и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). - Москва : ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996. - 317с. - Текст : непосредственный.
6. Кулага, А. А. Совершенствование тормозных пневматических систем длиннобазных вагонов / А. А. Кулага, Ю. А. Кулага. — Текст : непосредственный // Инновационные технологии в науке, транспорте и образовании : Сборник статей международной научно-методической интернет-конференции, Москва, 19-20 июня 2018 года ; под общей редакцией О. И. Садыковой, Е. И. Саниной, К. А. Сергеева, З. Л. Шулимановой. - Москва: Российский университет транспорта (МИИТ), 2018. - С. 322-327.

АЛГОРИТМИЗАЦИЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ НА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГАХ

Для прогнозирования состояния искусственных сооружений на железнодорожном транспорте, в котором они окажутся через N лет, необходимо реализовать рассматриваемый в работе алгоритм. В статье показано, как выполняется расчет вероятностной модели при переходе сооружения из одного технического состояния в другое. Произведен расчет для металлического моста.

Ключевые слова: железные дороги, искусственные сооружения, прогнозирование, алгоритм, вероятностная модель, балльная оценка

EDN: MCQFFG



А.Н. Яшнов



М.Г. Рюмин

Безопасности на железных дорогах уделялось и уделяется пристальное и глубокое внимание. Особое место занимает безопасность движения поездов, в том числе на искусственных сооружениях. Для определения остаточного ресурса и обоснования рекомендаций по срокам и видам проведения ремонтных работ или реконструкции разработаны нормативные документы комплексной оценки состояния искусственных сооружений на железных дорогах. Так, еще в 1991 году, было утверждено «Положение по оценке технического состояния и содержания искусственных сооружений на дорогах Союза ССР». В дальнейшем, в соответствии с действующими инструкциями и техническими условиями, с учетом достигнутого уровня разработки и внедрения Автоматизированной информационно-аналитической системы содержания и состояния искусственных сооружений (АСУ ИССО), Департаментом пути и сооружений ОАО «РЖД» была принята «Инструкция по оценке состояния и содержания искусственных сооружений железных дорог РФ,

2006 г.». А в 2019 году, в целях повышения качества работ по оценке технического состояния и содержания искусственных сооружений железных дорог, ОАО «РЖД» утверждена «Инструкция по оценке состояния и содержания искусственных сооружений ОАО «РЖД» [1].

Общее для данных документов состоит в том, что оценка состояния и содержания (ИССО) производится по балльной системе. Каждый выявленный дефект снижает балльную оценку по безопасности, долговечности, грузоподъемности в соответствии с установленной системой градации дефектов. Для оценки ремонтпригодности суммируют баллы влияния дефектов на ремонтпригодность.

В соответствии с Инструкцией [1] состояние ИССО может быть «отличным», «хорошим», «удовлетворительным» и «неудовлетворительным», а также «предотказным» и «неработоспособным». В этом нормативном документе кроме относительных показателей — баллов, установлен такой абсолютный показатель,

Яшнов Андрей Николаевич, кандидат технических наук, доцент, заведующей кафедрой «Мосты» Сибирского государственного университета путей сообщения» (СГУПС), почетный железнодорожник Минтранса РФ. Область научных интересов: диагностика и мониторинг технического состояния искусственных сооружений на железных и автомобильных дорогах. Автор более 100 научных работ, в том числе одной монографии и двух учебников. Имеет восемь патентов на изобретения.

Рюмин Максим Геннадьевич, старший преподаватель кафедры «Автомобильные дороги, аэродромы, основания и фундаменты» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: методы оценки и прогнозирования технического состояния объектов. Автор более 50 научных работ.

как вероятность безотказной работы, зависящий от балла по безопасной эксплуатации или грузоподъемности. Может быть построена вероятностная модель изменения технического состояния искусственного сооружения.

Зная вероятности перехода объектов в состояние, связанное с ущербом (например, предотказное и неработоспособное), можно расставить приоритеты выполнения работ (улучшения состояния) таким образом, чтобы минимизировать риск возникновения ущерба, снизить стоимость владения объектом [1].

При построении вероятностной модели могут возникнуть определенные сложности вычислительного толка. Для облегчения выполнения данного расчета, остановимся на нем более подробно.

В Инструкции ОАО «РЖД» [1] по оценке состояния и содержания ИССО, приведен перечень состояний объектов, в которых они могут находиться в тот или иной момент времени. Состояние на момент осмотра (обследования) определяется на основе оценки (балла), а также по результатам расчетов грузоподъемности и определения условий пропуска. Если расчеты по какой-то причине выполнить невозможно, то грузоподъемность оценивается приближенно, по так называемому «критерию грузоподъемности» [2–4].

В Приложении 1 [1] приведен Классификатор неисправностей, с помощью которого можно определить техническое состояние объекта. В каком состоянии он находится — зависит от оценки безотказности, вычисляемой по формуле 1 данного Приложения:

$$K_{\text{баз}}^{\text{сост}} = K_{\text{баз}}^{\text{сост}} - (\eta_I \alpha_I + \eta_{II} \alpha_{II} + \eta_{III} \alpha_{III} + \eta_{IV} \alpha_{IV}),$$

где $K_{\text{баз}}^{\text{сост}}$ — базовая оценка по безопасности, значение которой принимают в зависимости от максимальной категории неисправности по безопасности, обнаруженной на сооружении:

- для неисправностей I категории $K_{\text{баз}}^{\text{сост}} = 4,99$;
- для неисправностей II категории $K_{\text{баз}}^{\text{сост}} = 3,99$;
- для неисправностей III категории $K_{\text{баз}}^{\text{сост}} = 2,99$;
- для неисправностей IV категории $K_{\text{баз}}^{\text{сост}} = 1,99$.

Данные о состоянии искусственного сооружения и его элементов на момент осмотра и параметры показателей надежности определяются по табл.1, Приложения 2 [1].

Полученная регрессионная зависимость 4-й степени (рис. 1 [1]) позволяет от относительной оценки в баллах K перейти к вероятности безотказной работы P .

То есть, используя эти данные, мы можем оценить вероятность только одного перехода — из текущего состояния в состояние отказа. Например, если состояние объекта оценено как «хорошее», то это значит, что вероятность его перехода в неработоспособное состояние до следующего обследования оценивается в диапазоне от 0,0005 до 0,0003.

Если рассматривать Приложение 4 [1] и приведенную там вероятностную модель изменения технического состояния, то для ее использования нужно большое количество данных наблюдений (осмотров) — структурированной информации о возникновении и устранении неисправностей. В случаях, когда статистика не накоплена, предусмотрено использование априорных вероятностей, которые приведены в табл. 2. Приложения 4 [1].

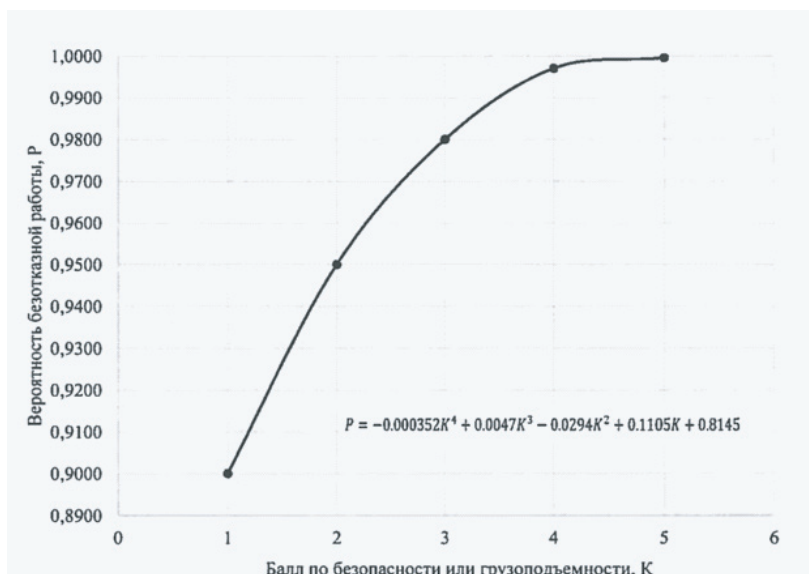


Рис. 1. Вероятность безотказной работы в зависимости от балла по безопасной эксплуатации или грузоподъемности

Для прогнозирования переходов объекта между состояниями используется марковский процесс с дискретным по времени шагом. Для рассматриваемого расчета, шаг этого процесса — полгода между осмотрами. В табл. 1 приведены вероятности таких переходов (и вероятности неизменности состояния). Например, в первой ячейке первой строки приведена вероятность перехода из состояния S_0 в состояние S_0 , т.е. вероятность того, что объект будет в отличном состоянии через полгода, если его текущее состояние — S_0 (отличное). Во второй ячейке этой же строки — вероятность того, что через полгода состояние из отличного станет хорошим. Следует отметить, что все значения вероятностей для переходов из худших состояний в лучшие, например, из S_1 в S_0 (первая ячейка второй строки) в табл. 2 равны 0. Это значит, что модель не учитывает выполнение работ по устранению неисправностей. То есть, когда с ее помощью выполняется прогноз изменения состояния объекта, рассматривается сценарий, когда сооружение эксплуатируется без ремонта.

Таким образом, для прогнозирования состояния объекта, в котором он окажется через N лет, нужно реализовать следующий алгоритм (рис. 2).

1. Определить, в каком состоянии он находится на текущий момент времени (балльная оценка). Представить результат в виде вектора $\bar{S}_0 = [0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]$ из шести элементов, где все нули и только в позиции с номером, соответствующим индексу состояния на момент оценки, стоит единица. В приведенном примере единица стоит на второй позиции, т.е. зафиксировано начальное состояние S_1 .

2. Умножить матрицу вероятностей переходов на этот вектор. Получится вектор вероятности состояний объекта через полгода — к следующему осмотру. То есть, по элементам этого вектора можно увидеть вероятность, что объект будет через полгода находиться в состояниях S_0 , S_1 и т.д.

3. Чтобы получить прогноз еще на полгода вперед, берем этот вектор, т.е. результат предыдущего шага, и умножаем матрицу вероятностей перехода на него. И так, повторяя умножение вектора с предыдущего шага, получаем вектор вероятностей состояний на интересующий момент времени.

В результате применения алгоритма формирования прогноза получаем электронную таблицу (рис. 3).

Ячейки в таблице (рис. 3) запрограммированы следующим образом:

Таблица 1

Экспертные оценки вероятностей изменения состояния объекта

Состояния	S_0	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5
S_0	0,915335	0,081920	0,002560	0,000160	0,000020	0,000005
S_1	0	0,986275	0,012800	0,000800	0,000100	0,000025
S_2	0	0	0,998150	0,001600	0,000200	0,000050
S_3	0	0	0	0,999250	0,000600	0,000150
S_4	0	0	0	0	0,999250	0,000750
S_5	0	0	0	0	0	1

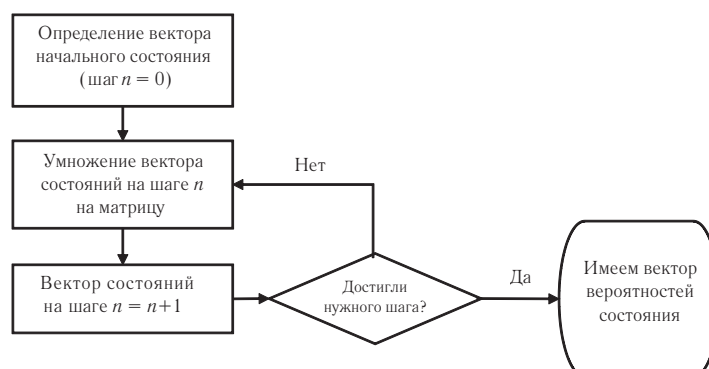


Рис. 2. Алгоритм формирования прогноза

$$B8: = \$B\$2*I2 + \$C\$2*I3 + \$D\$2*I4 + I5* \$E\$2 + - I6* \$F\$2 + I7* \$G\$2;$$

$$C8: = \$B\$2*J2 + \$C\$2*J3 + \$D\$2*J4 + J5* \$E\$2 - + J6* \$F\$2 + J7* \$G\$2.$$

Подобным способом программируются все ячейки, до ячейки G22.

Таким образом, по представленной таблице (см. рис.3), подставляя данные осмотров, можно рассчитать вероятности перехода ИССО из одного технического состояния в другое.

В качестве примера приведем расчет металлического моста.

Общие данные:

1. Мост двухпутный однопролетный. Год постройки — 1862.

2. Расчетная схема — 1×33,6м.

3. Полная длина — 41,2 м.

4. Пролетные строения металлические балочные с ездой поверху под нагрузку Н8, изготовлены и установлены в 1952 году.

5. Опоры массивные обсыпного типа, с откосными крыльями.

6. Мостовое полотно на плитах безбалластного мостового полотна, путевые рельсы Р65.

7. Охранные приспособления — контруголки.

8. Высота насыпи — 9,3 м.

Наихудшими элементами по безопасной работе являются УС № 0 и опорные части на УС № 0; УС № 1 и опорные части на УС № 1. Расчет вероятностной модели изменения технического состояния приведен на рис. 3.

Экспертную оценку вероятности изменения состояния объекта целесообразно рассчитывать каждые полгода для каждого элемента сооружения, так как в течение этого периода на сооружении ведутся планово-предупредительные работы и работы текущего содержания [5–7].

Хотелось бы отметить, что на практике, в условиях отсутствия большого количества данных наблюдений, нет возможности напрямую оценивать изменение технического состояния ИССО. В таком случае, оценка времени перехода из одного технического состояния в другое, может быть получена с применением методов нечеткой логики, базирующихся на понятии нечеткого множества [8;9].

Дальнейшее развитие автоматизации процесса оценки технического состояния искусственного сооружения и прогнозирование его изменения возможно на базе электронного каталога неисправностей. 

Литература

1. Инструкция по оценке состояния и содержания искусственных сооружений ОАО «РЖД». Утверждена Распоряжением ОАО «РЖД» от 01.10.2019 № 2162/р в редакции Распоряжения ОАО «РЖД» от 17.03.2020 № 575/р. - Текст : непосредственный.
2. СП 20.13330.2016. Свод правил .Нагрузки и воздействия = Loads and actions : актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85* : утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 03.12.2016 №891/пр. : введен 04.06.2017.-Москва,2017. - Текст : непосредственный.
3. СП 79.13330.2012 . Свод правил . Мосты и трубы. Правила обследований и испытаний = Bridges and culverts. Rules of examination and test : актуализированная редакция СНиП 3.06.07-86 : утвержден приказом Министерства регионального развития Российской Федерации от 30.06.2012. № 273 : введен 01.01.2013.-Москва,2013. —Текст : непосредственный.
4. Инструкция по текущему содержанию железнодорожного пути : утверждена распоряжением ОАО «РЖД» от 14 ноября 2016 г. № 2288р. - Текст : непосредственный.
5. Васильев , А.И. Практика мониторинга НДС больших и внеклассных мостов и высотных сооружений / А.И. Васильев, М.Д. Хазанов. - Текст : непосредственный // Мир дорог. - 2021. - № 140. - С. 82-83.
6. Яшнов, А. Н. Развитие мониторинга технического состояния мостов / А. Н. Яшнов, П. Г. Кузьменков, Е. О. Иванов . - Текст : непосредственный // Путь и путевое хозяйство. - 2021. - №7. - С.14-18.
7. Яшнов, А. Н. Сквозная система мониторинга технического состояния мостов / А. Н. Яшнов . - Текст : непосредственный // Новые технологии в мостостроении 2022 : материалы научно-практической конференции ; под редакцией В. Н. Смирнова, С. В. Чижова, Д. А. Шестовицкого. - Санкт-Петербург, 2022. - С. 114-119.
8. Ryumin, M. Forecast for Terms of Culvert Inspection and Repair / M. Ryumin, E. Badina // Procedia Engineering . - V.189. - 2017. - pp. 598-604. - DOI: 10.1016/j.proeng.2017.05.095.
9. Nesterov, I. Application of Soft Computing in the Engineering Structures Technical Condition Forecast / I. Nesterov, M. Ryumin, E. Badina // Lecture Notes in Civil Engineering. - V. 150 LNCE. - 2021 . - pp. 402-410. -DOI: 10.1007/978-3-030-72404-7_39/

Таблица 2

Состояние металлического моста по результатам обследования

Приведенная оценка технического состояния моста по результатам обследования			
Элемент, количество и категории его неисправностей	Расчет	Оценка	Состояние
УС №0 и ОЧ на УС №0: II – 4, III – 2, III ⁺ – 3	$K^{\text{сост}}=2,00$ $K^{\text{сод}}=2,09$	Неудовлетворительная Неудовлетворительная	Неудовлетворительное
УС №1 и ОЧ на УС №1: II – 4, III – 2, III ⁺ – 2	$K^{\text{сост}} = 2,00$ $K^{\text{сод}} = 2,09$	Неудовлетворительная Неудовлетворительная	Неудовлетворительное
ПС №1 и МП на ПС №1 по III пути: I – 1, I* – 1, II – 5, II ⁺ – 2	$K^{\text{сост}} = 3,00$ $K^{\text{сод}} = 3,34$	Удовлетворительная Удовлетворительная	Удовлетворительное
ПС №1 и МП на ПС №1 по IV пути: I – 1, I* – 1, II – 5, II* – 1, II ⁺ – 2	$K^{\text{сост}} = 3,00$ $K^{\text{сод}} = 3,34$	Удовлетворительная Удовлетворительная	Удовлетворительное
Прочее: I – 2, I* – 1, II – 1, II ⁺ – 1, III* – 1	$K^{\text{сост}} = 2,54$ $K^{\text{сод}} = 3,89$	Неудовлетворительная Удовлетворительная	Неудовлетворительное
Итого по сооружению:	$K^{\text{сост}} = 2,00$ $K^{\text{сод}} = 2,09$	Неудовлетворительная Неудовлетворительная	Неудовлетворительное
Оценка сооружения по безопасной эксплуатации			
Элемент, количество и категории его неисправностей	Расчет	Оценка	Состояние
УС №0 и ОЧ на УС №0: I – 3, II – 2, III – 1	2,00	Неудовлетворительная	Неудовлетворительное
УС №1 и ОЧ на УС №1: II – 4, III – 4	2,00	Неудовлетворительная	Неудовлетворительное
ПС №1 и МП на ПС №1 по III пути: I – 3, II – 2	3,69	Удовлетворительная	Удовлетворительное
ПС №1 и МП на ПС №1 по IV пути: I – 3, II – 2	3,69	Удовлетворительная	Удовлетворительное
Прочее: I – 1, II – 3, III – 5	2,54	Неудовлетворительная	Неудовлетворительное
Итого по сооружению:	2,00	Неудовлетворительная	Неудовлетворительное

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1		S0	S1	S2	S3	S4	S5								
2	S0	0	0	1	0	0	0		0,915335	0,08192	0,00256	0,00016	0,00002	0,000005	
3	S1								0	0,986275	0,0128	0,0008	0,0001	0,000025	
4	S2								0	0	0,99815	0,0016	0,0002	0,00005	
5	S3								0	0	0	0,99925	0,006	0,00015	
6	S4								0	0	0	0	0,99925	0,00075	
7	S5								0	0	0	0	0	1	
8	через 0,5	0	0	0,99815	0,0016	0,0002	0,00005		0,915335	0,08192	0,00256	0,00016	0,00002	0,000005	
9									0	0,986275	0,0128	0,0008	0,0001	0,000025	
10									0	0	0,99815	0,0016	0,0002	0,00005	
11									0	0	0	0,99925	0,006	0,00015	
12									0	0	0	0	0,99925	0,00075	
13									0	0	0	0	0	1	
14															
15	через год	0	0	0,996303	0,003196	0,000409	0,0001		0,915335	0,08192	0,00256	0,00016	0,00002	0,000005	
16									0	0,986275	0,0128	0,0008	0,0001	0,000025	
17									0	0	0,99815	0,0016	0,0002	0,00005	
18									0	0	0	0,99925	0,006	0,00015	
19									0	0	0	0	0,99925	0,00075	
20									0	0	0	0	0	1	
21															

Рис. 3. Таблица вектора вероятности состояний

СИСТЕМА ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ СУДОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ БЕЗЭКИПАЖНОГО СУДНА



А.А. Таран



Е.Н. Таран

Проанализированы направления и способы мониторинга технических систем безэкипажных судов, прогнозирования поведения этих систем. Разработана система мониторинга судового оборудования безэкипажного судна и прогнозирования его состояния на основе рекуррентной нейронной сети Элмана.

Ключевые слова: безэкипажное судно, мониторинг систем, судовое оборудование, прогнозирование состояния оборудования

EDN: VPUUQF

На сегодняшний день в области современной морской техники наиболее полно освещены вопросы навигации и связи (например, E-navigation). Но, кроме решения задач навигации и связи, необходимо решать задачи мониторинга состояния систем безэкипажных судов (БЭС) и прогнозирования работы этих систем. Разработка системы мониторинга состояния систем БЭС, а также прогнозирование работы систем БЭС, является актуальной задачей.

В целях снижения числа ненормальных режимов работы и аварийных ситуаций на судах, необходимо оснащение судна системами мониторинга состояния основных и вспомогательных механизмов. Один из

основных недостатков существующих систем мониторинга — невозможность определить начальную стадию нарушения работы системы. Основная функция большинства существующих систем заключается в снятии параметров с датчиков и отображении результатов оператору и судовладельцу. О прогнозировании работы систем БЭС речи не идет.

Поставленную задачу можно решить путем использования нейросетевых технологий, которые позволят не только снимать показания датчиков и сравнивать их с эталонными значениями, но и анализировать полученные параметры работы системы в комплексе, прогнозируя возможность наступления сбоев в работе как отдельных элементов, так и системы в целом.

Таран Андрей Александрович, кандидат технических наук, доцент, педагог дополнительного образования Севастопольской станции юных техников (ГБОУ ДО «СЮТ»). Область научных интересов: солнечная энергетика, качество и надежность электроснабжения. Автор 29 научных работ. Имеет два патента на изобретения.

Таран Елена Николаевна, кандидат технических наук, методист Севастопольской станции юных техников (ГБОУ ДО «СЮТ»). Область научных интересов: изучение электромагнитных сигналов в высокочастотном и оптическом диапазонах длин волн, качество и надежность электроснабжения. Автор 28 научных работ. Имеет один патент на изобретение.

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.

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

Использование обученной нейронной сети позволит предлагать возможные варианты решения проблемы оператору, прогнозировать работу систем в ходе действий оператора или принимать решения самостоятельно в стандартизированных ситуациях.

Учитывая количество работающих систем в БЭС, было принято решение на каждую систему использовать свою нейронную сеть, каждая из которых будет взаимодействовать с общей нейронной сетью. Состав систем БЭС, в зависимости от назначения судна, может быть различным. Были выделены основные системы БЭС, без которых его существование затруднительно или невозможно. К ним относятся следующие системы: главный двигатель, система генерации, электрическая сеть, навигация, аварийная сеть, управление курсом.

На рис. 1 представлена структурная схема системы дистанционного мониторинга состояния судового оборудования БЭС.

На рис. 2 показана функциональная схема системы дистанционного мониторинга состояния судового оборудования БЭС.

Предлагаемая система мониторинга представляет собой совокупность «локальных» нейронных сетей (ЛН), управляемых «глобальной» нейронной сетью (ГН) БЭС. То есть каждая ЛН отвечает за свою опре-

деленную систему (данные, уходящее управление, прогнозирование). Наиболее подходящей структурой для решения данной задачи является рекуррентная нейронная сеть Элмана.

В зависимости от специфики работы судна могут добавляться дополнительные ЛН. ГН участвует в связи с оператором БЭС, координирует совместную работу всех ЛН, превращая БЭС в единый «организм». При этом оператор передаются не только данные о состоянии систем БЭС, диагностические карты и т.п., но и рекомендации оператору, например, для устранения какой-либо нештатной ситуации, прогнозируется состояние систем при действиях и бездействии оператора, а также выдаются уведомления о самостоятельно принятых решениях в стандартизированных ситуациях. При этом оператор может отменить или одобрить любое решение, принятое нейросетью.

Чтобы минимизировать риск переобучения данной системы (как ГН, так и ЛН) необходимо использовать смешанное обучение нейросетей.

Также достоинством данной системы является ее модульность. Отключение локальных систем от нейросетей не влечет за собой никаких отрицательных последствий, так как ЛН будет передавать сигнал на ГН с нулевыми весами по датчикам и сигнал отсут-

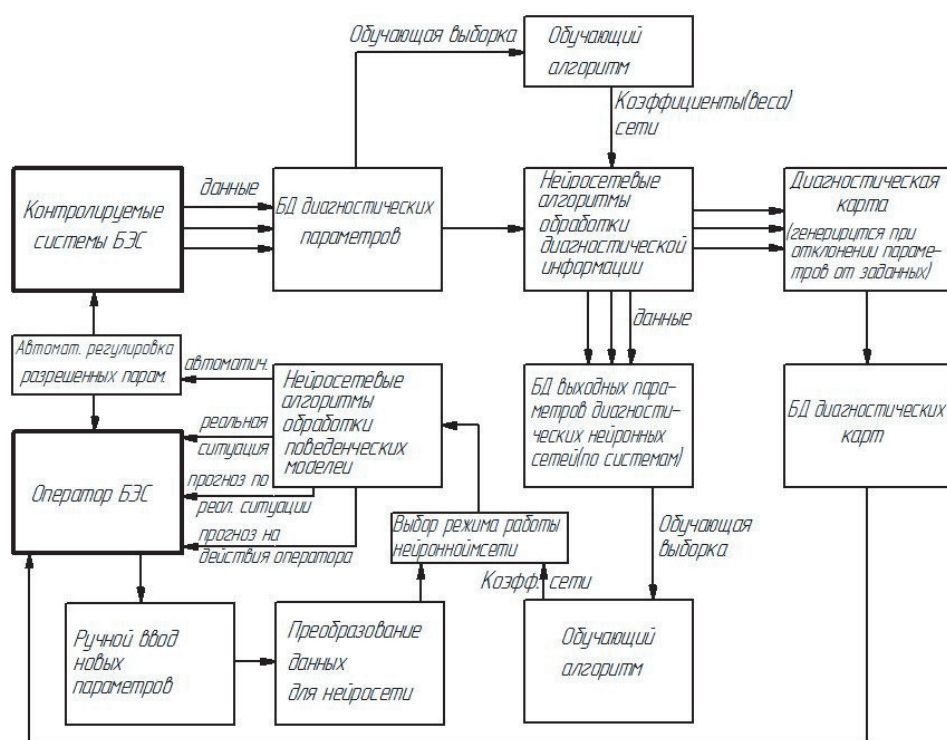


Рис. 1. Структурная схема системы дистанционного мониторинга и прогнозирования работы БЭС

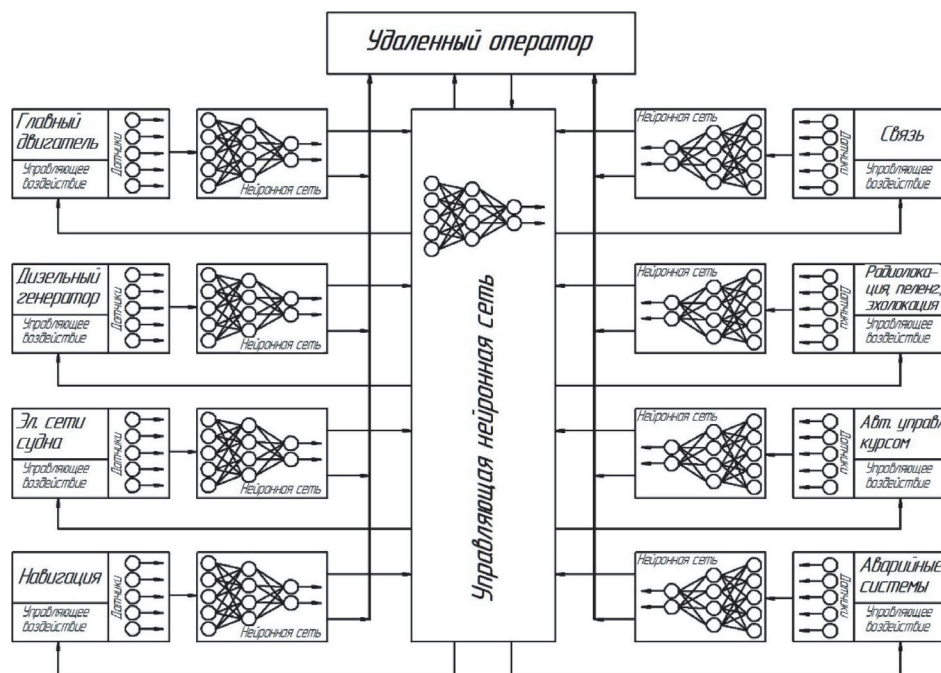


Рис. 2. Функциональная схема системы дистанционного мониторинга и прогнозирования работы БЭС

ствия датчиков с ненулевым весом. Также модульность предполагает добавление новых контролируемых систем, при этом появляется необходимость первичного обучения ЛН и ГН.

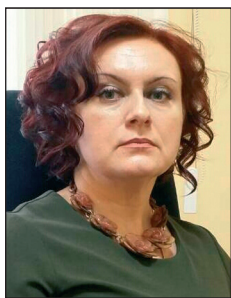
Таким образом, система мониторинга состояния систем БЭС, а также прогнозирование работы систем БЭС позволит не только улучшить коммуникацию с БЭС, но и спрогнозировать дальнейшую работу данных систем, предложить варианты решения нештатных ситуаций, предотвратить многие аварийные ситуации. 

Литература

1. Краснов, С. С. Применение нейронных сетей для задач управления / С. С. Краснов. - Текст : непосредственный // Татищевские чтения: актуальные проблемы науки и практики : материалы XII Международной научно-практической конференции: в 4 томах. - Тольятти : Волжский университет им. В.Н. Татищева. - 2015. - Т.1. - С. 25-27.
2. Соловьева, Е. Б. Классы рекуррентных нейронных сетей для моделирования нелинейных динамических систем / Е. Б. Соловьева. - Текст : непосредственный // Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям. - Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина). - 2017. - Т. 1, № 2. - С. 159-162.
3. Коваленко, И. Ю. Определение технического состояния СДВС с помощью искусственных нейронных сетей / И. Ю. Коваленко, А. И. Епихин. - Текст : непосредственный // Вестник государственного морского университета имени адмирала Ф. Ф. Ушакова. - 2022. - № 1(38). - С. 14–16.
4. Гусейнов, Ф. Ф. Применение нейронных сетей для прогнозирования производительности морских дизельных двигателей / Ф. Ф. Гусейнов, К. П. Голоскоков. - Текст : непосредственный // Сборник научных статей национальной научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова». - 2018. - Т.1. - С. 141-145.

5. Валов, Д. С. Системы управления судовыми энергетическими установками автономных судов / Д. С. Валов, С. А. Валгин .- Текст : непосредственный // Актуальные исследования. -2023. - № 5(135). - С. 19-28.
6. Фадеев, М. И. Управление автономными судами / М. И. Фадеев, Е. С. Рябов, А. И. Епихин . - Текст : непосредственный // Вестник Государственного морского университета имени адмирала Ф.Ф. Ушакова . 2022. - № 1(38). - С. 17-20.
7. Ардельянов, Н. П. Основные проекты развития технологий безэкипажного судовождения / Н. П. Ардельянов . - Текст : непосредственный // Вестник Государственного морского университета имени адмирала Ф. Ф. Ушакова. - 2022. - №1 (38). - С. 5-9.
8. Лукашкин Г. Е. Построение системы автономного адаптивного управления судном на основе нечеткой логики / Г. Е. Лукашкин . - Текст : непосредственный // Транспортное дело России. 2019. №5. С.177-180.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНОГО ТРАВМАТИЗМА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ



Ю.В. Дементьева



С.Д. Татаринцев

В статье изложены порядок и результаты корреляционного исследования причин несчастных случаев, произошедших на предприятиях ОАО «РЖД» в результате дорожно-транспортных происшествий. Подтверждена гипотеза влияния нарушений правил дорожного движения на статистические показатели производственного дорожно-транспортного травматизма. Значимость полученных корреляционных связей отмечена как весьма высокая.

Ключевые слова: дорожно-транспортное происшествие, производственный дорожно-транспортный травматизм

EDN: UGPTLL

Основным направлением политики государства и политики ОАО «РЖД» в области охраны труда является обеспечение приоритета сохранения жизни и здоровья работников в процессе производственной деятельности [7;8].

Предприятия инфраструктуры железнодорожного транспорта, в условиях специфичности и характерных особенностей своего целевого функционирования, являются зоной повышенной опасности, поэтому профессиональная деятельность железнодорожников связана с риском травмирования.

Наряду с реализацией в структурных подразделениях ОАО «РЖД» мероприятий по повышению без-

опасности труда работников, несчастные случаи на производстве имеют место быть, что обуславливает актуальность и значимость изучения существующей проблемы.

Статистический анализ производственного травматизма ОАО «РЖД» за период с 2007 по 2022 гг. показал, что на предприятиях железнодорожного транспорта произошло 5152 несчастных случая [1].

Для обеспечения бесперебойности технологических процессов предприятий железных дорог необходимо использование автомобильного транспорта, который имеет весьма посредственное отношение к основным видам деятельности ОАО «РЖД», однако его эксплу-

Дементьева Юлия Васильевна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Безопасность жизнедеятельности и экология» Самарского государственного университета путей сообщения (СамГУПС). Область научных интересов: охрана труда на железнодорожном транспорте. Автор 52 научных работ, в том числе одной монографии и двух учебных пособий. Имеет один патент на изобретение.

Татаринцев Святослав Дмитриевич, аспирант кафедры «Безопасность жизнедеятельности и экология» Самарского государственного университета путей сообщения (СамГУПС). Область научных интересов: охрана труда на железнодорожном транспорте. Автор четырех научных работ.

атация обусловлена высоким риском дорожно-транспортных происшествий и травмирования работников [2;3].

Производственный дорожно-транспортный травматизм на предприятиях железных дорог не является отраслевым, однако значительную долю в общей совокупности несчастных случаев в ОАО «РЖД» занимают дорожно-транспортные происшествия, в результате которых пострадали 622 работника (рис. 1) [1–4].

Исходя из анализа статистических данных производственного дорожно-транспортного травматизма в ОАО «РЖД» за период с 2007 по 2022 гг. следует, что 572 несчастных случая произошли по причине нарушений правил дорожного движения, что составляет 92% от общего количества дорожно-транспортных происшествий [1;6].

В целях разработки целенаправленных профилактических мероприятий, способствующих повышению безопасности труда железнодорожников и снижению рисков их травмирования при эксплуатации авто-транспортных средств, необходимо провести корреляционное исследование причин несчастных случаев, возникших в результате дорожно-транспортных происшествий.

Для научного подтверждения или опровержения гипотезы зависимости дорожно-транспортных проис-

шествий от нарушений правил дорожного движения следует определить наличие или отсутствие соответствующей корреляционной взаимосвязи на основе статистического анализа производственного травматизма в ОАО «РЖД» за исследуемый период.

Несчастные случаи, происшедшие за исследуемый период в результате нарушений правил дорожного движения, рассмотрим в дискретной шкале измерений как количественный факторный признак, потенциально влияющий на статистические показатели производственного дорожно-транспортного травматизма.

Коэффициент корреляции r_{xy} , определяющий взаимосвязь между парой переменных: x — входная переменная и независимая случайная величина «количество дорожно-транспортных происшествий, возникших при i -х нарушениях правил дорожного движения»; y — выходная переменная и зависимая случайная величина «количество несчастных случаев, возникших при i -ых дорожно-транспортных происшествиях», рассчитаем по формуле [5;9;10]:

$$r_{xy} = \frac{\sum (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum (y_i - \bar{y})^2}}, \quad (1)$$

где x_i — значения, принимаемые переменной x ;
 y_i — значения, принимаемые переменной y .

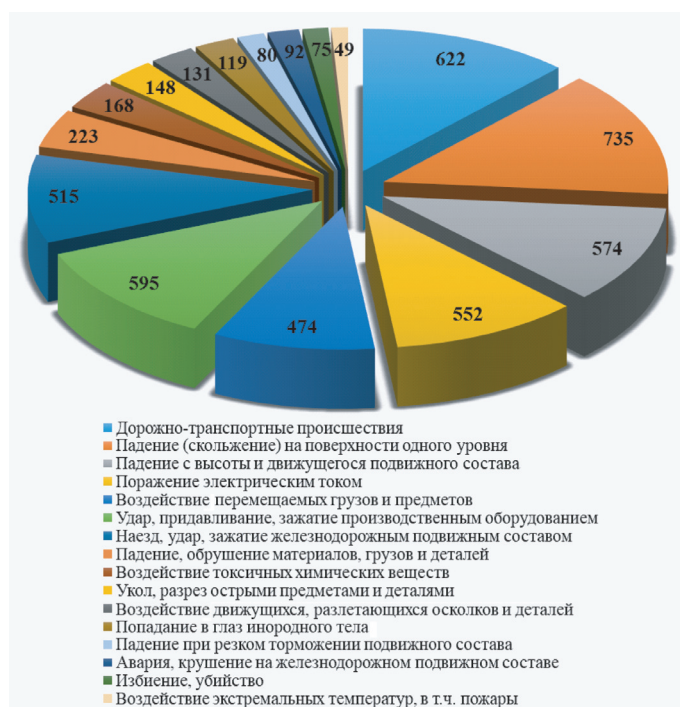


Рис. 1. Распределение несчастных случаев на производстве в ОАО «РЖД» по видам происшествий

Полученные расчетные данные сведем в таблицу.

Из полученных расчетов следует, что значение $r_{xy}=0,993$. Это значительно превышает стандартное пороговое значение $r_{xy} \geq 0,6$ [5;9;10]:

Значимость r_{xy} определим посредством его корректировки по модулю, используя формулу:

$$|\bar{r}| = \sqrt{1 - (1 - r^2) \frac{n-1}{n-2}}, \quad (2)$$

где $|\bar{r}|$ – скорректированное значение r_{xy} ;

r – расчетное значение r_{xy} , вычисленное по формуле (1);

n – количество лет исследуемого периода [6].

Применив расчетные данные, получим:

$$|\bar{r}| = \sqrt{1 - (1 - 0,993^2) \frac{16-1}{16-2}} = 1,028.$$

Среднюю ошибку m_r полученного r_{xy} вычислим по формуле:

$$m_r = \sqrt{\frac{1 - r^2}{n-2}}, \quad (3)$$

$$m_r = \sqrt{\frac{1 - 0,993^2}{16-2}} = 0,032.$$

Определим статистическое значение t_{ct} , используя его в качестве оценочного критерия значимости r_{xy} , по формуле:

$$t_{ct} = \frac{|\bar{r}|}{m_r}, \quad (4)$$

$$t_{ct} = \frac{1,027}{0,032} = 32,011.$$

Итоги проведенного корреляционного исследования сравним с квантилем t -распределения Стьюдента для доверительной вероятности $1 - \alpha = 0,99$ в зависимости от числа степеней свободы $\nu = n - 2$, $\alpha = 0,01$ [5;9;10].

Получаем $32,011 > 2,977$, т.е. $t_{ct} > t_{\alpha=0,01}$, что с вероятностью 0,99% свидетельствует об установленной взаимосвязи между анализируемыми переменными x и y .

Отметим, что по шкале Чеддока [5;9;10] расчетное значение $|\bar{r}|$ свидетельствует не только о наличии искомой взаимосвязи, но и подтверждает весьма высокую зависимость статистических показателей дорожно-транспортного травматизма от влияния

Таблица

Расчетные данные для вычисления коэффициента корреляции

Год	x	y	$x_i - \bar{x}$	$y_i - \bar{y}$	$(x_i - \bar{x})^2$	$(y_i - \bar{y})^2$	$(x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})$
2007	60	63	24,250	24,125	588,062	582,016	585,031
2008	50	52	14,250	13,125	203,062	172,265	187,031
2009	42	52	6,250	13,125	39,062	172,265	82,0312
2010	64	67	28,250	28,125	798,062	791,015	794,531
2011	37	41	1,250	2,125	1,562	4,515	2,656
2012	54	59	18,250	20,125	333,062	405,015	367,281
2013	35	37	-0,750	-1,875	0,562	3,515	1,406
2014	40	44	4,250	5,125	18,062	26,265	21,781
2015	31	33	-4,750	-5,875	22,562	34,515	27,906
2016	38	40	2,250	1,125	5,062	1,265	2,531
2017	20	23	-15,750	-15,875	248,062	252,015	250,031
2018	31	34	-4,7500	-4,875	22,562	23,765	23,156
2019	22	23	-13,750	-15,875	189,062	252,015	218,281
2020	18	20	-17,750	-18,875	315,062	356,265	335,031
2021	19	21	-16,750	-17,875	280,562	319,515	299,406
2022	11	13	-24,750	-25,875	612,562	669,515	640,406

Примечание. $\bar{x}$ – средняя по $x=35,752$, $\bar{y}$ – средняя по $y=38,875$.

нарушений правил дорожного движения, а также показывает довольно устойчивую тенденцию их корреляции на протяжении всего анализируемого периода.

Результаты исследования показали, что наибольшую и значительную долю травмирования работников в дорожно-транспортных происшествиях в ОАО «РЖД» за период с 2017 по 2022 г. занимают несчастные случаи, причиной которых явилось нарушение требований правил дорожного движения.

Таким образом, проведенное корреляционное исследование определяет необходимость и значимость дальнейшего изучения наиболее часто повторяющихся нарушений правил дорожного движения, повлекших за собой дорожно-транспортные происшествия в ОАО «РЖД» и позволяет разработать целенаправленные превентивные мероприятия, способствующие повышению безопасности труда и снижению рисков травмирования железнодорожников при эксплуатации автотранспортных средств.



Литература

1. Анализ состояния условий и охраны труда в ОАО «РЖД» за период с 2007 по 2022 годы / Департамент экологии, охраны труда и промышленной безопасности ОАО «РЖД». - Москва: ОАО «РЖД», 2022. - 99 с. - Текст : непосредственный.
2. Дементьева, Ю. В. Анализ дорожно-транспортного травматизма на предприятиях железных дорог / Ю. В. Дементьева, С. Д. Татаринцев . - Текст : электронный : сборник материалов II Международной школы - конференции « Техносферная безопасность городских агломераций» (г. Москва, Российская Федерация, 15-16 декабря 2021 г.). - Москва: РУТ (МИИТ): РОАТ, 2022. - 1 CD-ROM. - С . 152-154.
3. Дементьева, Ю. В. Стохастический факторный анализ производственного травматизма на предприятиях железнодорожного транспорта / Ю. В. Дементьева, С. Д. Татаринцев . - Текст : электронный // Безопасность техногенных и природных систем . - 2022.- № 4 .- С.6-11. - URL : <https://www.bps-journal.ru/jour/article/view/188/341> (дата обращения : 22.05.2023).
4. Дементьева, Ю. В. Оценка актуального состояния производственного травматизма на предприятиях железных дорог / Ю. В. Дементьева, С. Д. Татаринцев . - Текст : непосредственный // сборник материалов XIII Международной научно-практической конференции «Наука и образование транспорту» - Самара: СамГУПС, 2022. - С. 121-122.
5. Дементьева, Ю. В. Корреляционный анализ влияния количественных факторных признаков на статистические показатели производственного травматизма / Ю. В. Дементьева . - Текст : непосредственный // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. -2016. - № 3 (31). - С. 139-147.
6. Сборник классификаторов задачи «Учет и анализ производственного травматизма в структурных подразделениях ОАО «РЖД» - Москва : ОАО «РЖД» , 2008. -97с. - Текст : непосредственный.
7. СТО РЖД 15.001-2020 . Система управления охраной труда в ОАО «РЖД». Общие положения / ОАО «РЖД». - Москва : ОАО «РЖД» , 2020. - 46 с. — Текст : непосредственный.
8. Российская Федерация. Законы. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. от 19.12.2022, с изм. от 11.04.2023) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.03.2023) : принят Государственной Думой 21 декабря 2001 года ; одобрен Советом Федерации 26 декабря 2001 года. — Текст: электронный // Консультант Плюс : [сайт] . - URL : https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34683/?ysclid=1-hypsovavz263262152 (дата обращения : 22.05.2022).
9. Удинцова, Н. М. Эконометрика : учебное пособие : в 2-х частях / Н. М. Удинцова, Н. А. Коптева . - Волгоград: Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ. Часть 1: Парная регрессия и корреляция в эконометрических исследованиях, 2015. - 61 с. - Текст : непосредственный.
10. Чернов, Е. Д. Математико-статистические методы исследования причин производственного травматизма: методические указания для студентов всех специальностей / Е. Д. Чернов. - Новосибирск: НИИЖТ, 1979. - 38 с. - Текст : непосредственный.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА ИНЖЕНЕРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ (СМИК) В ЦЕЛЯХ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ



Н.П. Гелюх



В.А. Аксенов

В статье излагается авторский взгляд на необходимость совершенствования инструментов контроля состояния строительных сооружений, которые подвергаются динамическим воздействиям и рассмотрение систем мониторинга напряженного-деформированного состояния конструкций в режиме реального времени с целью прогнозирования и предупреждения техногенных аварий и катастроф.

Ключевые слова: безопасность зданий и сооружений транспортной инфраструктуры, охрана труда, анализ рисков

EDN: SRQTKK

Актуальность задачи мониторинга состояния несущих конструкций строительных объектов повышенного уровня ответственности (технически сложные, особо опасные или уникальные объекты), в том числе и объектов транспортной инфраструктуры не вызывает сомнений, в связи с большим количеством катастроф, произошедших за последнее время из-за недостаточного контроля состояния конструкций. Цель мониторинга — снижение рисков подобных катастроф и постоянное наблюдение за состоянием важных узлов и элементов строительных конструкций в реальном времени (мониторинг напряжений и перемещений в ключевых точках).

В качестве примеров подобных крупных аварий в Российской Федерации, произошедших за последние годы можно указать:

- обрушение двух пролетов казармы учебного центра ВДВ в г. Омске 12 июля 2015 года;

- обрушение перекрытий здания при выполнении строительно-монтажных работ на Старококонюшенном переулке в г. Москва в 2008 г.

Интенсификация строительства крупных транспортных объектов в России, в том числе и в рамках развития транспортной и железнодорожной инфраструктуры в Москве и строительства уникальных объектов определяют необходимость создания нового подхода к контролю за техническим состоянием и обеспечению конструктивной безопасности сооружений. Одним из таких новых подходов является внедрение автоматизированных систем прогноза технического состояния конструкций.

Целями внедрения системы контроля и прогноза состояния строительных конструкций являются:

- обеспечение безопасности персонала и жителей объекта, снижение риска материальных и моральных потерь при возникновении внеплановых или аварий-

Гелюх Николай Павлович, аспирант кафедры «Транспортное строительство» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: техносферная безопасность транспортных систем, транспортное строительство.

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.

Пашков Алексей Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Транспортное строительство» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: транспортное строительство, механика деформируемого твердого тела. Автор более 40 научных работ.

ных ситуаций, связанных с нарушением нормативной эксплуатации несущих конструкций сооружений объекта;

- снижение риска потери строительными конструкциями несущей способности, путем своевременного обнаружения на ранней стадии критического изменения их состояния, которое может привести к переходу здания в ограниченно работоспособное, аварийное состояние, к разрушению здания, к человеческим жертвам, а также к значительному материальному ущербу и негативным последствиям для окружающей среды;

- тестовое внедрение систем мониторинга в масштабное серийное строительство;

- продление сроков эксплуатации;

- определение сроков обслуживания и ремонта;

- снижение затрат на ремонт и обслуживание.

Необходимость научно-технического обеспечения процесса проектирования подсистемы мониторинга инженерных (несущих) конструкций ключевых объектов транспортной инфраструктуры обусловлена не только уникальностью архитектурно-планировочных решений и географических условий у подобных объектов (мост через Керченский пролив, Русский мост во Владивостоке, установка аттракционов на общественных зданиях), но и необходимостью развития областей СММК, связанных с транспортным строительством. В свою очередь, данная уникальность объекта определяет специфику выбора и размещения аппаратно-программных средств измерений, показателей и критериев оценки состояния конструкций, необходимых для проектных, монтажных, пуско-наладочных, приемо-сдаточных работ по созданию подсистемы СММК.

Основная часть

Технология принятия проектных решений на данном этапе проектирования предусматривает разработку предварительных решений и рекомендаций на основе представленных архитектурно-конструктивных материалов по объекту, опыта создания подсистем мониторинга несущих конструкций на аналогичных по назначению объектах, общим существующим методическим документам и материалам по созданию подсистем СММК. Выбор окончательного варианта проектного решения (состав и размещение измерительно-регистрационной аппаратуры) должен осуществляться на стадии РД (рабочая документация) на основе окончательно разработанных конструктивных решений сооружений объекта и полученных на их основе результатов компьютерного моделирования поведения сооружений объекта под действием плановых эксплуатационных нагрузок с учетом возможности возникновения внеплановых ситуаций.

Основная цель создания систем контроля технического состояния элементов сооружений — постоянный контроль за техническим состоянием объекта, с целью безаварийной эксплуатации, а также для своевременного устранения опасных факторов.

В процессе внедрения подобных систем решаются следующие задачи:

1. Построение модели угроз исходя из географического положения объекта (климатические и геологические условия) и из его конструктивных и архитектурных особенностей.

2. Определение списка ключевых элементов и параметров, подлежащих контролю.

3. Построение модели прогнозирования и оценки текущего состояния элементов строительных конструкций.

Внедрение СММК происходит при проектировании сооружений. Модель угроз включает следующие виды нагрузок:

- постоянные;
- длительные;
- кратковременные;
- особые [1].

К постоянным нагрузкам следует относить:

- вес частей сооружения, в том числе вес несущих и ограждающих конструкций;
- вес и давление грунтов, горное давление;
- гидростатическое давление.

К длительным нагрузкам:

- вес стационарного оборудования;
- нагрузки на перекрытие от складываемых материалов и стеллажного оборудования;
- вес временных перегородок, подливок и подбетонок под оборудование.

К кратковременным нагрузкам:

- нагрузки от людей;
- нагрузки от подвижного подъемного-транспортного оборудования [1];
- нагрузки от транспортных средств;
- климатические нагрузки (снеговые, ветровые, температурные, гололедные и др.).

К особым нагрузкам:

- сейсмические и взрывные воздействия;
- нагрузки, обусловленные пожаром;
- нагрузки от столкновений транспортных средств с частями сооружения;
- нагрузки, обусловленные деформациями основания, сопровождающимися коренным изменением структуры грунта.

Модель угроз позволяет определять ключевые контролируемые параметры, обрабатывать их и оценивать техническое состояние сооружения.

Постоянный контроль элементов конструкций позволяет не только отслеживать изменение параметров в реальном времени, но и своевременно обновлять базу данных для формирования прогноза технического состояния конструкций в будущем.

Для строительного объекта необходимо обеспечить определение следующих интегральных характеристик несущих конструкций:

- отклонения от вертикали, наклоны железобетонных и металлических колонн;
- наклоны лифтовых и лестничных шахт;
- собственные частоты колебаний и ускорения железобетонных колонн и плит;
- температурно-влажностный режим в области фундаментов;
- поровое давление в грунтах под фундаментом.

Для определения интегральных характеристик основных несущих конструкций сооружения необходимо обеспечить контроль следующих основных параметров строительных конструкций:

- влажности;
- температуры;
- угловых отклонений элементов конструкций;
- частоты и периода колебаний элементов конструкций;
- ускорений.

Систему контроля параметров можно представить в виде схемы (рисунок). В ее состав входят:

- первичные преобразователи;
- комплекс регистрации и хранения данных;
- программное обеспечение для анализа и обработки данных (спецпроцессор) [8].

Регистрация значений, определяющих напряженно-деформированное состояние элементов конструкций, а именно — деформаций, частот, ускорений, скоростей, температур и других производится посредством первичных преобразователей [8].

Система сбора и регистрации данных позволяет получать сигналы от первичных преобразователей, их кодирование в цифровой вид через аналого-цифровой преобразователь (АЦП) и хранение. Программное обеспечение состоит из:

1. Информационной модели здания (ВМ-модели).
2. Программного комплекса для сбора и хранения данных.
3. Программного комплекса для обработки и анализа данных.
4. Программного комплекса для визуализации и оповещения.

Программное обеспечение системы мониторинга предназначено для:

- сбора данных с датчиков и проведения непрерывного мониторинга;

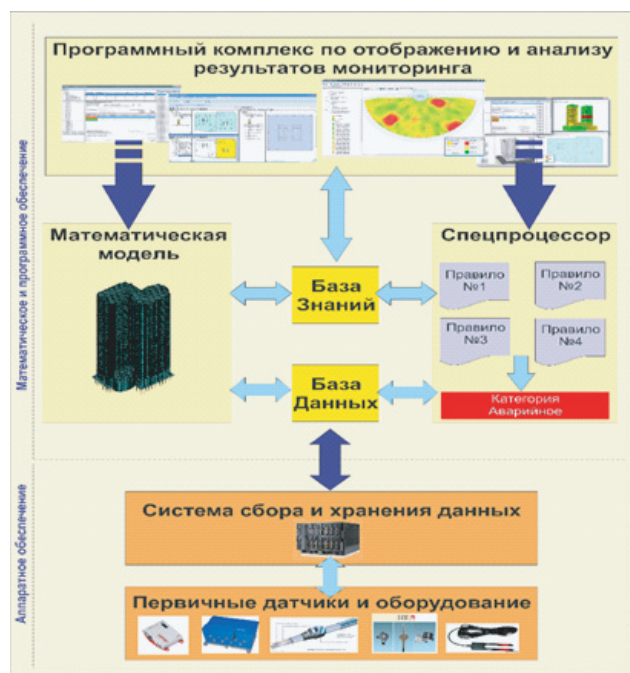


Рисунок. Принципиальная схема устройства СММК

- обработки данных по заданным критериям и анализа большого объема данных о состоянии несущих конструкций здания, фундамента и окружающей среды;
- прогнозирования технического состояния;
- наглядного отображения результатов мониторинга, в том числе на BIM-модели;
- уведомления об аварийном состоянии конструкций для оперативного принятия необходимых мер и решений.

Заключение

Таким образом, в данной статье было проведено обоснование теоретической базы устройства системы мониторинга для строительных сооружений, которое в дальнейшем может быть использовано для практического применения в целях создания реально функционирующей станции мониторинга уникальных объектов транспортной инфраструктуры. Внедрение такого рода систем в серийное строительство позволит в реальном времени контролировать изменение состояния строительных конструкций объекта, а значит — вовремя устранять недостатки и проводить плановые ремонты.

Накопленные со временем данные по измеряемым величинам и их изменениям с течением времени могут быть использованы в научной деятельности, связанной с изучением специфики тех или иных строительных материалов, а в случае, если такие системы будут использоваться повсеместно — собранная информация может сделать неоценимый вклад в развитие таких дисциплин как механика грунтов и оснований, сопротивление материалов, которые предлагают математические и физические модели для описания различных сред и материалов. 

Литература

1. СП 20.13330.2016. Свод правил. Нагрузки и воздействия = Loads and actions : актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85* : утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 03.12.2016 №891/пр. : введен 04.06.2017. - Москва : Минстрой России, 2017. - Текст : непосредственный.
2. СП 13-102-2003. Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений : принят и рекомендован к применению в качестве нормативного документа в Системе нормативных документов в строительстве постановлением Госстроя России от 21 августа 2003 г. № 153. - Москва, 2003. - Текст : непосредственный.
3. ГОСТ Р 53778-2010. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния = Buildings and constructions. Rules of inspection and monitoring of the technical condition : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 25 марта 2010 г. № 37-ст : введен впервые : дата введения 2011-01-01. - Москва : Стандартинформ, 2010. - 90 с. - Текст : непосредственный.
4. Сухин, В. В. Мониторинг строительного объекта - это необходимость и требование времени / В. В. Сухин, Р. Ламперти. - Текст : непосредственный // Уникальные и специальные технологии в строительстве UST-Build 2005 (12-13 апреля 2005 г.) : сборник материалов международной конференции-выставки // Уникальные и специальные технологии в строительстве». Сборник материалов. - Москва : «Дом на Брестской». - 2005. - С. 72 - 73.
5. Дорофеев, В. М. Автоматизированная станция мониторинга технического состояния несущих конструкций высотных зданий. / В. М. Дорофеев, В. Г. Катренко, Н. В. Назьмов. - Текст : непосредственный // Уникальные и специальные технологии в строительстве UST-Build 2005 (12-13 апреля 2005 г.) : сборник материалов международной конференции-выставки // Уникальные и специальные технологии в строительстве». Сборник материалов. - Москва : «Дом на Брестской». - 2005. - С. 66 - 67.
6. ГОСТ Р 22.1.12-2005. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Структурированная система мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений. Общие требования = safety in emergencies. Structured system for monitoring and control of building / construction engineering equipment. General requirements : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в

действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 28 марта 2005 г. № 65-ст. - Москва : ИПК «Издательство стандартов», 2005. - 26 с. - Текст : непосредственный.

7. Патент 2141635. Российская Федерация, МПК G01M7/00 (2006.01) . Способ динамических испытаний зданий и сооружений и устройство для его осуществления : № 99105726/28: заявлено 30.03.1999: опубликовано 20.11.1999 / Есенина Н. А., Ларионов В. И., Нигметов Г. М., Ситников И. В., Сотин В. Н., Суцев С. П., Шахрамьян М. А ; Товарищество с ограниченной ответственностью «Центр исследований экстремальных ситуаций» . - 2 с. - Текст : непосредственный.

8. Шахрамьян , М. А. Системы мониторинга и прогноза технического состояния зданий и сооружений. Теория и практика / М. А. Шахрамьян . - Текст : непосредственный // Русский инженер. - 2011. - № 1(28). - С. 54 - 64.