

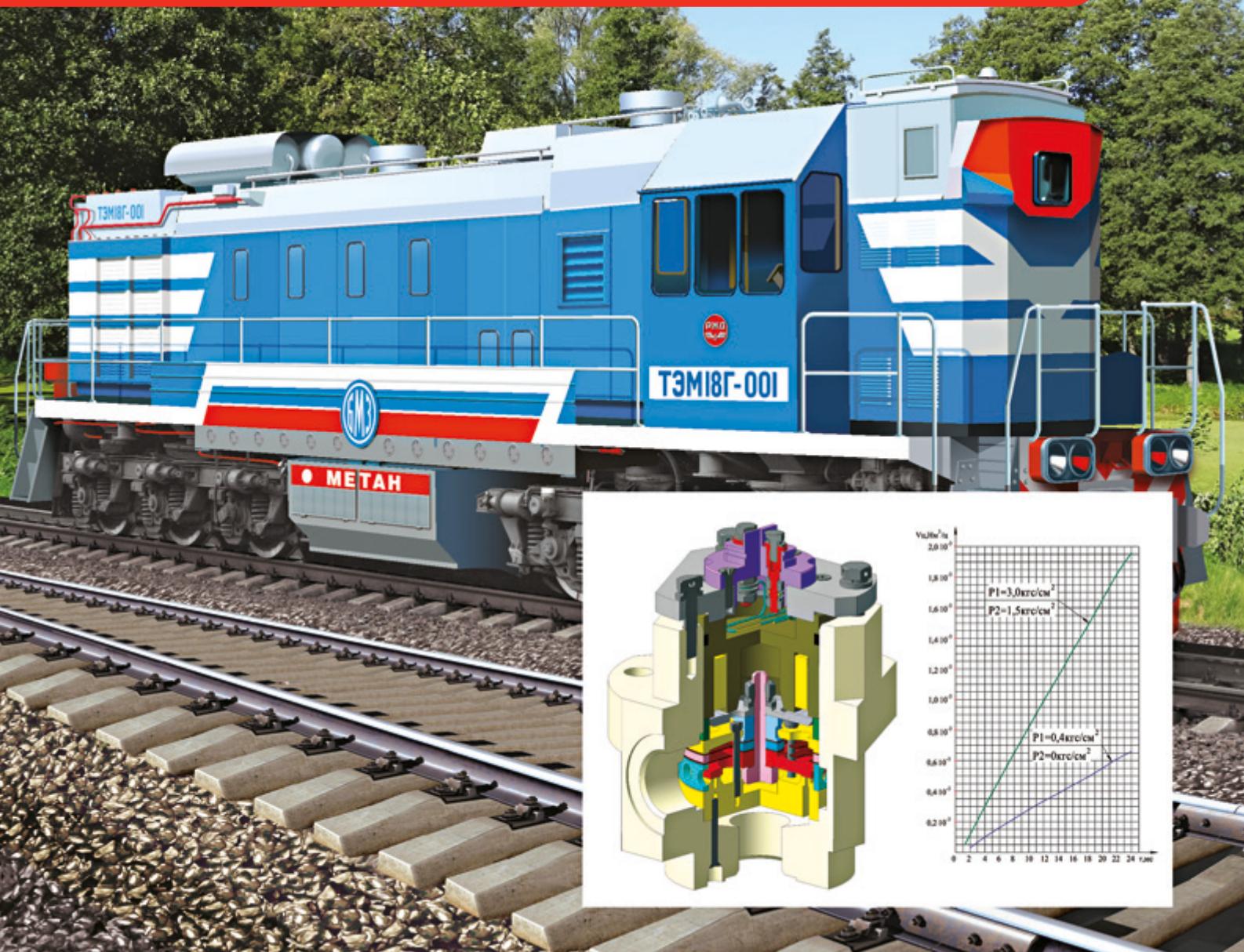
Вестник

Научно-исследовательского института
железнодорожного транспорта

ISSN 2223–9731 (Print)
ISSN 2713–2560 (Online)

Издается с 1942 г.

Том 80, № 4, 2021



I Международная научно-практическая конференция
НАУКА 1520 ВНИИЖТ
ЗАГЛЯНИ ЗА ГОРИЗОНТ



ТЕМЫ МЕРОПРИЯТИЙ

- Контейнеризация перевозок
- Городские пассажирские перевозки железнодорожным транспортом
- Развитие линий с высоким использованием пропускной способности
- Инфраструктура железнодорожного транспорта
- Тяговый подвижной состав
- Техническая диагностика на транспорте

Также вас ждут

ТЕХНИЧЕСКИЕ ТУРЫ

- Экспериментальное кольцо
- Испытательные стенды
- Лаборатории ВНИИЖТ



- Научно-технический журнал (издается с 1942 г.)
- Периодичность: 6 номеров в год
- Учредитель** — АО «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта».
- Свидетельство о регистрации
ПИ № ФС77-35600 от 17.03.2009.
- Журнал включен в Перечень рецензируемых научных изданий ВАК и Российский индекс научного цитирования (РИНЦ).
- Подписной индекс 70116
- ISSN 2223-9731 (Print), ISSN 2713-2560 (Online)
- Редакционный совет**
- Виноградов С. А., председатель, канд. техн. наук, АО «ВНИИЖТ», Москва, Россия,
- Косарев А. Б., зам. председателя, д-р техн. наук, проф., АО «ВНИИЖТ», Москва, Россия,
- Горячева И. Г., д-р физ.-мат. наук, проф., академик РАН, ИПМех РАН, Москва, Россия,
- Дынькин Б. Е., д-р техн. наук, проф., РГУПС, Ростов-на-Дону, Россия,
- Колесников В. И., д-р техн. наук, проф., академик РАН, РГУПС, Ростов-на-Дону, Россия,
- Куммер С., д-р экономики, проф., Венский экономический университет, Институт транспорта и логистики, Вена, Австрия,
- Лалидус Б. М., д-р экон. наук, проф., Объединенный научный совет ОАО «РЖД», Москва, Россия,
- Лёвин Б. А., д-р техн. наук, проф., РУТ (МИИТ), Москва, Россия,
- Махутов Н. А., д-р техн. наук, проф., член-корреспондент РАН, ИММАШ РАН, Москва, Россия,
- Мачерет Д. А., д-р экон. наук, проф., АО «ВНИИЖТ», Москва, Россия,
- Назаров О. Н., канд. техн. наук, ОАО «РЖД», Москва, Россия,
- Розенберг Е. Н., д-р техн. наук, проф., АО «НИИАС», Москва, Россия,
- Смольянинов А. В., д-р техн. наук, проф., УрГУПС, Екатеринбург, Россия,
- Сюэвей Ли, д-р наук, проф., Пекинский объединенный университет, Пекин, КНР,
- Ушканов В. Ф., д-р техн. наук, член-корреспондент НАН, Институт технической механики НАН, Днепр, Украина,
- Фокс-Рабинович Г. С., д-р техн. наук, Университет Макмастера, Гамильтон, Канада,
- Шенфельд К. П., д-р техн. наук, АО «ВНИИЖТ», Москва, Россия,
- Эсвельд К., проф. железнодорожной инженерии, Делфтский технологический университет, Делфт, Нидерланды
- Редакционная коллегия**
- Косарев А. Б., главный редактор, д-р техн. наук, проф., АО «ВНИИЖТ», Москва, Россия,
- Римская О. Н., зам. главного редактора, канд. экон. наук, доцент, АО «ВНИИЖТ», Москва, Россия,
- Глюзберг Б. Э., д-р техн. наук, проф., АО «ВНИИЖТ», Москва, Россия,
- Гогричани Г. В., д-р техн. наук, АО «ВНИИЖТ», Москва, Россия,
- Ерофеев М. Н., д-р техн. наук, проф., ИМАШ РАН, Москва, Россия,
- Захаров С. М., д-р техн. наук, проф., АО «ВНИИЖТ», Москва, Россия,
- Коган А. Я., д-р техн. наук, проф., АО «ВНИИЖТ», Москва, Россия,
- Кучумов В. А., д-р техн. наук, проф., АО «ВНИИЖТ», Москва, Россия,
- Мирошниченко О. Ф., д-р экон. наук, проф., АО «ВНИИЖТ», Москва, Россия,
- Мугинштейн Л. А., д-р техн. наук, проф., АО «ВНИИЖТ», Москва, Россия,
- Савин А. В., д-р техн. наук, доцент, РУТ (МИИТ), Москва, Россия,
- Сирина Н. Ф., д-р техн. наук, доцент, УрГУПС, Екатеринбург, Россия,
- Фёдоров С. В., д-р техн. наук, проф., КГТУ, Калининград, Россия,
- Шур Е. А., д-р техн. наук, проф., АО «ВНИИЖТ», Москва, Россия,
- Анохов И. В., канд. экон. наук, доцент, АО «ВНИИЖТ», Москва, Россия,
- Сиротенко И. В., канд. техн. наук, АО «ВНИИЖТ», Москва, Россия

Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта

Вестник ВНИИЖТ | Том 80, 4/2021
DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-4>

СОДЕРЖАНИЕ

Contents 190

Технические средства железнодорожного транспорта

- Пути решения проблемы перевода тепловозов на газообразное топливо
Е. Е. Коссов, В. В. Асабин, А. Г. Силюта, А. Н. Журавлев, Л. Е. Коссова 191–200
- Особенности влияния промежуточных рельсовых скреплений на эксплуатационную стойкость рельсов
Н. В. Кузнецова, Е. А. Сидорова 201–208
- Компенсация погрешности автомобильных емкостных датчиков уровня топлива при их использовании на специальном самоходном подвижном составе
К. М. Попов 209–215
- Условия работы системы накопления электроэнергии в тяговом электроснабжении постоянного тока однопутных участков железных дорог
В. Л. Незевак 216–224

Автоматизация и управление технологическими процессами на железнодорожном транспорте

- Влияние технического и технологического оснащения пункта технического обслуживания локомотивов на пропускную способность железнодорожной линии
М. И. Мехедов, Н. В. Корниенко 225–232

Экономика и управление

- Оценка долгосрочной перспективности структуры грузовых железнодорожных перевозок
Д. А. Мачерет 233–239

ВНИИЖТ: вчера, сегодня, завтра

- Научный центр «Экспресс» АО «ВНИИЖТ»: история и современность
Е. А. Зубкова, Т. А. Карпееva 240–248

Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов статей.

Адрес учредителя, издателя, редакции журнала «Вестник ВНИИЖТ»:

129626, Москва, 3-я Митищинская ул., 10.

Тел. (495) 602-80-37, 602-81-10.

Подписано к печати 20.08.2021.

www.journal-vniizht.ru

© АО «ВНИИЖТ», 2021

Формат бумаги 60×90 1/8.

Офсетная печать. Усл. печ. л. 7,5.

Тираж 300 экз. Заказ 380.

Отпечатано изательско-

полиграфическим предприятием

ООО «ИПП «КУНА»,

125167, Москва, Ленинградский пр.,

д. 47, стр. 4. Тел. (495) 795-02-97.

Цена свободная.

VNIIZHT Scientific Journal

Vol. 80, 4/2021

DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-4>

Contents

Technical means of railway transport

Ways to solve the problem of converting diesel locomotives to gaseous fuel	
by E. E. Kossov, V. V. Asabin, A. G. Silyuta, A. N. Zhuravlev, L. E. Kossova	191–200
Features of the influence of intermediate rail fastenings on the operational durability of rails	
by N. V. Kuznetsova, E. A. Sidorova	201–208
Compensation of the error of automotive capacitive fuel level sensors when using them on special self-propelled rolling stock	
by K. M. Popov	209–215
Operating conditions of electric energy storage system in DC traction power supply for single-track sections of railways	
by V. L. Nezevak	216–224

Automation and control of technological processes in railway transport

Influence of technical and technological equipment of a locomotive maintenance point on the capacity of a railway line	
by M. I. Mekhedov, N. V. Kornienko	225–232

Economics and management

Evaluation of long-term prospects of the structure of freight rail transportation	
by D. A. Macheret	233–239

VNIIZHT: yesterday, today, tomorrow

Scientific center "Express" of the JSC "VNIIZHT": history and modernity	
by E. A. Zubkova, T. A. Karpeeva	240–248

Editorial Board:

Alexander B. Kosarev
Dr. Sci. (Eng.), Prof., JSC "VNIIZHT", Moscow, Russian Federation

Olga N. Rimskaya
Cand. Sci. (Econ.), Associate Prof., JSC "VNIIZHT", Moscow, Russian Federation

Boris E. Glyuzberg
Dr. Sci. (Eng.), Prof., JSC "VNIIZHT", Moscow, Russian Federation

Georgiy V. Gogrichiani
Dr. Sci. (Eng.), JSC "VNIIZHT", Moscow, Russian Federation

Mikhail N. Erofeev
Dr. Sci. (Eng.), Prof., IMASH RAN, Moscow, Russian Federation

Sergey M. Zakharov

Dr. Sci. (Eng.), Prof., JSC "VNIIZHT", Moscow, Russian Federation

Alexander Ya. Kogan

Dr. Sci. (Eng.), Prof., JSC "VNIIZHT", Moscow, Russian Federation

Vladislav A. Kuchumov

Dr. Sci. (Eng.), Prof., JSC "VNIIZHT", Moscow, Russian Federation

Olga F. Miroshnichenko

Dr. Sci. (Econ.), Prof., JSC "VNIIZHT", Moscow, Russian Federation

Igor' V. Anokhov

Dr. Sci. (Eng.), Prof., JSC "VNIIZHT", Moscow, Russian Federation

Lev A. Muginshtein

Dr. Sci. (Eng.), Prof., JSC "VNIIZHT", Moscow, Russian Federation

Alexander V. Savin

Dr. Sci. (Eng.), Associate Prof., RUT (MIIT), Moscow, Russian Federation

Nina F. Sirina

Dr. Sci. (Eng.), Associate Prof., UrGUPS, Yekaterinburg, Russian Federation

Sergey V. Fedorov

Dr. Sci. (Eng.), Prof., KGTU, Kaliningrad, Russian Federation

Evgeniy A. Shur

Dr. Sci. (Eng.), Prof., JSC "VNIIZHT", Moscow, Russian Federation

Igor' V. Sirotenko

Cand. Sci. (Eng.), Associate Prof., JSC "VNIIZHT", Moscow, Russian Federation

Konstantin P. Shenfeld

Dr. Sci. (Eng.), Executive director of JSC "VNIIZHT", Moscow, Russian Federation

Coenraad Esveld

Prof., Dr. of railway engineering of Delft Technical University, General Director of "Esveld Consulting Services", Delft, Netherlands

VNIIZHT Scientific Journal

is published six times per year
First published in 1942
www.journal-vniizht.ru

ISSN 2223–9731 (Print)
ISSN 2713–2560 (Online)

A peer reviewed scientific and technological journal
Languages: Russian, English

Publisher:

JSC Railway Research Institute (JSC "VNIIZHT"),
Moscow, Russian Federation
www.vniizht.ru

Advisory Board:

Sergey A. Vinogradov

Chairman, Cand. Sci. (Eng.), Director General of JSC "VNIIZHT", Moscow, Russian Federation

Alexander B. Kosarev

Deputy Chairman, Dr. Sci. (Eng.), Professor, JSC "VNIIZHT", Moscow, Russian Federation

Irina G. Goryacheva

Dr. Sci. (Phys. and Math.), Professor, Academician of the RAS, Head of laboratory for tribology, Institute for Problems in Mechanics of the RAS, Moscow, Russian Federation

Boris E. Dynkin

Dr. Sci. (Eng.), Professor, Honored President of International association of transport universities of Asian-Pacific countries (IATU APC), Rostov state university of railway engineers (RGUPS), Rostov-on-Don, Russian Federation

Vladimir I. Kolesnikov

Dr. Sci. (Eng.), Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Rostov state university of railway engineers (RGUPS), Rostov-on-Don, Russian Federation

Sebastian Kummer

Univ. Prof. Dr. (Econ.) of Vienna University of Economics and Business, Head of Institute of Transport and Logistics, Vienna, Austria

Boris M. Lapidus

Dr. Sci. (Econ.), Professor, Chairman of Joint Scientific Council RZD, Chairman of International Board on Railway Research (IRRB) of UIC, Guest professor of Stockholm School of Economics, Moscow, Russian Federation

Boris A. Levin

Dr. Sci. (Eng.), Professor, President of the Russian University of Transport (RUT (MIIT)), Moscow, Russian Federation

Nikolay A. Makhutov

Dr. Sci. (Eng.), Professor, Corresponding member of the RAS, Head of the scientific school "Safety and security of critically and strategically important objects of infrastructure" of Research Institute for Machine Science named after A. A. Blagonravov of the RAS (IMASH RAS), Moscow, Russian Federation

Dmitriy A. Macheret

Dr. Sci. (Econ.), Professor, JSC "VNIIZHT", Joint Research Council of JSC "RZD", Moscow, Russian Federation

Oleg N. Nazarov

Cand. Sci. (Eng.), Deputy Head of technical policy department JSC "RZD", Moscow, Russian Federation

Efim N. Rozenberg

Dr. Sci. (Eng.), Professor, First deputy Director General of JSC Design & Research Institute for Information Technology, Signaling and Telecommunication on Railway Transport (JSC "NIILAC"), Moscow, Russian Federation

Alexander V. Smolyaninov

Dr. Sci. (Eng.), Professor of department "Wagons" of Ural State University of Railway Transport, Yekaterinburg, Russian Federation

Li Xuewei

Dr. Sci., Professor, Vice-President of Engineering Union of China Transport system, Party Member of CPC group of Ministry of Education (Beijing Union University, China)

Victor F. Ushkalov

Dr. Sci. (Eng.), Professor, corresponding member of the National Academy of Science of Ukraine, division head of Statistics for kinetics of material system of the Institute of Technical Mechanics, Dnepr, Ukraine

Herman S. Fox-Rabinovich

Dr. Sci. (Eng.), Chief researcher of McMaster University Engineering, Hamilton, Ontario, Canada

Konstantin P. Shenfeld

Dr. Sci. (Eng.), Executive director of JSC "VNIIZHT", Moscow, Russian Federation

Coenraad Esveld

Prof., Dr. of railway engineering of Delft Technical University, General Director of "Esveld Consulting Services", Delft, Netherlands

Пути решения проблемы перевода тепловозов на газообразное топливо

Е. Е. КОССОВ¹, В. В. АСАБИН², А. Г. СИЛЮТА¹, А. Н. ЖУРАВЛЕВ¹, Л. Е. КОССОВА¹

¹Акционерное общество «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (АО «ВНИИЖТ»), Москва, 129626, Россия

²Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный университет путей сообщения» (ФГБОУ ВО «СамГУПС»), Самара, 443066, Россия

Аннотация. Правительство Российской Федерации поставило задачу расширения области применения газообразного топлива в народном хозяйстве. В соответствии с этой задачей разработано соглашение от 17 июня 2016 г. о сотрудничестве между ПАО «Газпром», ОАО «РЖД», АО «Группа Синара», АО «Трансмашхолдинг» в области использования природного газа в качестве моторного топлива, в котором предусмотрено производство маневровых газотепловозов и магистральных тепловозов и газотурбовозов. Эта работа является продолжением начатых в 1990-х гг. опытно-конструкторских работ по созданию, доводке и испытаниям тепловозов, использующих в качестве моторного топлива природный газ. Перевод тепловозов на газообразное топливо может осуществляться двумя путями: создание тепловозов с газопоршневыми двигателями и модернизация тепловозов существующего парка путем переоборудования дизельных двигателей этих тепловозов под использование газодизельного цикла. Приведено сравнение этих вариантов и предложены решения, позволяющие применить на тепловозах газодизельный цикл. Представлены математические модели расчета показателей работы газодизель-генераторной установки на режимах эксплуатации и отдельно процесса топливоподачи, приведены их особенности и некоторые результаты расчета. Теоретически обоснованы экспериментально определенные причины невозможности работы силовой установки по газодизельному циклу маневрового тепловоза на базе ТЭМ18 ниже четвертой позиции контроллера машиниста. Определены минимальные конструкционные изменения штатной топливной аппаратуры, необходимые для обеспечения устойчивой работы тепловоза на газообразном топливе. Проведена сравнительная оценка эффективности перевода тепловозов на газообразное топливо и определена стоимость топлива, израсходованного за час работы, в зависимости от степени замещения топлива газом при работе тепловоза в среднестатистических режимах эксплуатации.

Ключевые слова: тепловоз; природный газ; газодизельный цикл; запальная порция; газовоздушная смесь; бедность смеси; дросселирование; форсунка; гидродинамический расчет; критерий; математический эксперимент

Введение. Несмотря на конкретные приоритеты и цели, обозначенные в принятой решением Правительства РФ Программе о расширении области применения газообразного топлива в народном хозяйстве [1], и заключение соглашения от 17 июня 2016 г. о сотрудничестве между ПАО «Газпром», ОАО «РЖД», АО «Группа Синара», АО «Трансмашхолдинг» в области использования природного газа в качестве мотор-

ного топлива [2], положение дел с расширением применения газообразного топлива на железнодорожном транспорте в локомотивном комплексе практически не изменилось. Это обстоятельство объясняется тем, что перевод тепловозов на газообразное топливо путем применения газопоршневых двигателей может осуществляться только при создании новых тепловозов. Другим путем расширения области применения газообразного топлива на железнодорожном транспорте является перевод дизелей на газодизельный цикл при модернизации существующего парка тепловозов. Этот путь требует решения ряда вопросов.

Постановка задачи. В рамках выполнения Государственной программы [1] и Соглашения [2] АО «ВНИИЖТ» совместно со специалистами АО «ВНИКТИ», ООО «ППП Дизельавтоматика» и др. проводится комплекс работ по подготовке конструкторской документации на модернизацию маневрового тепловоза ТЭМ18ДМ для обеспечения его работы на природном газе и к проведению последующих пуско-наладочных испытаний.

Данная работа является логическим продолжением начатых в 1990-х гг. работ по созданию маневровых локомотивов, использующих в качестве моторного топлива природный газ. Переданные в опытную эксплуатацию в 2000–2001 гг. маневровые газотепловозы ТЭМ18Г-0001 и ТЭМ18Г-0002 реализовали газодизельный цикл при работе с четвертой по восьмую позицию контроллера машиниста [3]. С первой по третью позицию контроллера и на холостом ходу работа осуществлялась на дизельном топливе. Степень замещения дизельного топлива при этом составляла не более 50%.

Полученные результаты вызывают практический интерес, однако маневровые тепловозы до 84% времени работают на режимах малых нагрузок и холостом ходу [4]. С учетом столь низкой степени замещения дизельного топлива целесообразность применения на тепловозах газодизельного цикла ставится под сомнение. Тем не менее выше 50% имеющегося парка тепловозов с незначительными затратами могут быть модернизированы под работу на газодизельном цикле, что придает вопросу применения газодизельного цикла

на тепловозах значительную актуальность. С целью расширения области реализации газодизельного цикла и увеличения усредненной степени замещения дизельного топлива газовым проведено значительное число научных исследований и конструкторских разработок [5–8]. Были разработаны двухрежимные охлаждаемые форсунки, различные системы подачи запального топлива, системы управления газодизельным двигателем и т. п.

Для реализации работы по газодизельному циклу на режимах эксплуатации, включая холостой ход и пуск, необходимо определить условия, гарантирующие воспламенение газовоздушной смеси от вспышки запального топлива. В [9] имеются требования к организации работы газопоршневых двигателей, работающих по циклу Отто, но нет информации о требованиях к качеству газовоздушной смеси и к количественным характеристикам запального топлива применительно к газодизельному циклу. Часть таких характеристик можно получить при моделировании

процессов в двигателях и сравнении их с известными результатами испытаний.

Моделирование показателей работы газодизельгенераторной силовой установки при работе в эксплуатации. Анализ экспериментальных результатов стендовых испытаний силовой установки газотепловоза ТЭМ18Г и результатов его опытной эксплуатации показал, что для обоснования реальных причин невозможности работы силовой установки по газодизельному циклу ниже четвертой позиции контроллера машиниста, а также для возможности оценки изменения качества газовоздушной смеси за счет дросселирования воздуха на входе в двигатель необходимо детализировать описание рабочих процессов в математической модели расчета показателей работы силовой установки.

Для анализа показателей работы газодизельгенераторной установки и оценки условий использования газодизельного цикла применена разработанная ранее математическая модель расчета показателей работы дизеля 1-ПД4Д маневрового тепловоза ТЭМ18ДМ с соответствующими дополнениями на режимах эксплуатации [10].

При построении математической модели была разработана следующая расчетная схема газовоздушного тракта (рис. 1).

Основные положения математической модели для определения показателей работы силовой установки тепловоза на режимах эксплуатации подробно изложены в [10], в настоящей статье рассмотрены некоторые особенности расчета, имеющие принципиальное значение для затрагиваемых в ней вопросов.

Дроссельная заслонка для регулирования расхода воздуха 5 в математической модели представлена в виде местного сужения (рис. 1). Считаем, что температура воздуха при изменении давления в дросселе не меняется. Перепад давлений в дросселе дополняется перепадом давления во впускном клапане. Параметры рабочего тела в конце наполнения определяются его работой при движении поршня в такте наполнения. По параметрам рабочего тела в конце наполнения определены его масса, температура и давление в начале сжатия. При расчете температуры в конце сжатия учитываются работа, связанная с перемещением поршня в такте сжатия, и работа адиабатического сжатия. Особенность представленной модели заключается в анализе изменения температуры на выходе из выпускного коллектора с учетом работы поршня во время принудительного выпуска на такте выпуска. Поэтому при расчете по нашей математической модели температура рабочего тела в выпускном коллекторе за счет работы поршня на такте выпуска всегда выше температуры на выходе из цилиндров.

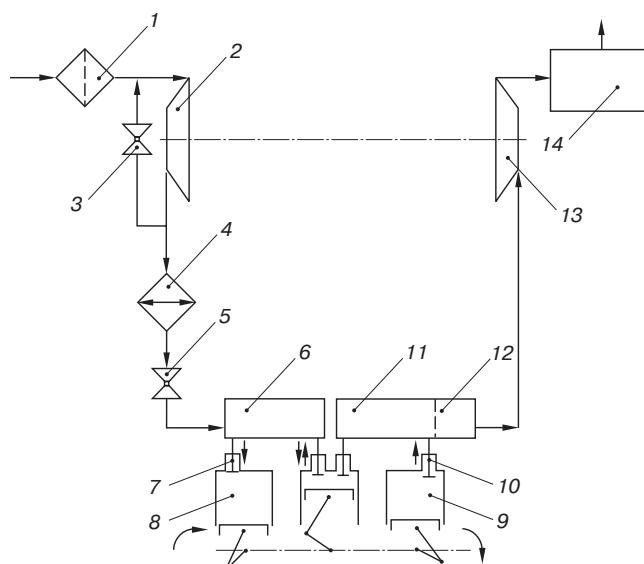


Рис. 1. Расчетная схема газовоздушного тракта дизеля 1-ПД4Д:
 1 — фильтр; 2 — компрессор турбокомпрессора;
 3 — клапан перепуска воздуха на вход компрессора;
 4 — охладитель наддувочного воздуха; 5 — дроссельная заслонка;
 6 — впускной коллектор; 7 — впускной клапан цилиндра;
 8 — объем цилиндра в конце наполнения; 9 — объем цилиндра в
 начале выпуска; 10 — выпускной клапан цилиндра;
 11 — выпускной коллектор; 12 — выпускной коллектор
 после условной диафрагмы; 13 — турбина турбокомпрессора;
 14 — глушитель

Fig. 1. Design diagram of the 1-PD4D diesel gas-air duct:
 1 — filter; 2 — turbocharger compressor; 3 — air bypass valve to the compressor inlet; 4 — charge air cooler; 5 — throttle valve; 6 — intake manifold; 7 — inlet valve of the cylinder; 8 — volume of the cylinder in the intake stroke; 9 — volume of the cylinder at the beginning of the release; 10 — exhaust valve of the cylinder; 11 — exhaust manifold; 12 — exhaust manifold after the conventional diaphragm; 13 — turbocharger turbine; 14 — muffler

Таблица 1

Показатели работы дизеля 1-ПД4Д в зависимости от позиции контроллера машиниста

Table 1

Performance indicators of the 1-PD4D diesel engine depending on the position of the driver's controller

№ п/п	Показатели	Единица измерения	Позиция контроллера машиниста							
			1	2	3	4	5	6	7	8
1	Частота вращения коленчатого вала	рад/с	25,2	32,8	40,4	48,0	55,6	63,3	70,9	78,5
2	Эффективная мощность дизеля	кВт	42	162	282	402	522	642	762	882
3	Расход дизельного топлива	кг/с	0,0044	0,0099	0,0160	0,0210	0,0270	0,0340	0,0409	0,0483
4	Частота вращения ротора турбокомпрессора	рад/с	343	450	601	789	1013	1266	1553	1839
5	Расход воздуха	кг/с	0,39	0,50	0,61	0,74	0,91	1,10	1,30	1,63
6	Коэффициент избытка воздуха	—	7,00	3,96	3,10	2,71	2,54	2,50	2,53	2,59
7	Индикаторный КПД	—	0,32	0,44	0,48	0,49	0,50	0,50	0,49	0,48
8	Масса заряда в цилиндре	г	36,3	36,3	36,3	36,8	38,2	39,7	44,2	49,2
9	Давление во впускном коллекторе	кПа	100,1	100,0	101,4	104,0	109,6	118,0	129,0	143,4
10	Температура рабочего тела в конце расширения	К	403	504	577	630	666	686	695	704,6
11	Температура рабочего тела в выпускном коллекторе	К	473	577	652	706	741	762	766	769
12	Число работающих цилиндров	—	6	6	6	6	6	6	6	6
13	Сечение дроссельной заслонки	м ²	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
14	Цикловая подача дизельного топлива (газодизельный режим)	г/цикл	0,037	0,063	0,080	0,093	0,100	0,110	0,121	0,130
15	Цикловая подача газа (газодизельный режим)	г/цикл	0,30	0,51	0,65	0,75	0,83	0,90	0,97	1,30
16	Объемная концентрация газа	%	1,45	2,56	3,30	3,74	3,98	4,05	4,00	3,92
17	Стоимость часа работы (газодизельный режим)	руб./ч	354	789	1239	1703	2185	2696	3257	3842
18	Стоимость часа работы (дизельный режим)	руб./ч	720	1606	2520	3464	4444	5485	6625	7815

В табл. 1 показаны результаты моделирования рабочих процессов дизеля 1-ПД4Д при работе по тепловозной характеристике. По результатам расчета проводилась оценка показателей работы двигателя на газообразном топливе. Предполагалось, что при работе на газообразном топливе в целом на каждом режиме запальная порция топлива и газ в рабочем цикле выделяют такое же количество теплоты, как и при работе на дизельном топливе. Запальная порция топлива в наших расчетах принята равной 0,1 от подачи дизельного топлива при работе по газодизельному циклу. Следовательно, подача газа должна быть 0,9 подачи топлива, уменьшенной в соответствии с разницей в теплотворной способности дизельного и газообразного топлива. В расчетах условно предполагалось, что работа на газообразном топливе проис-

ходит всегда независимо от качества подачи запального топлива и состояния (бедности) газовоздушной смеси. На основании расчетных показателей работы тепловозов на газообразном топливе и сравнении полученных показателей с результатами испытаний можно определить границы изменения значений некоторых показателей, определяющие стабильную работу двигателя на газообразном топливе. Например, известно, что газотепловоз ТЭМ18Г неустойчиво работает на газообразном топливе ниже четвертой позиции контроллера машиниста [3]. В качестве причины такого положения предполагалась нестабильность подачи запального топлива из-за применения штатной топливной аппаратуры. Результаты наших расчетов показывают, что это не единственная причина.

Таблица 2

**Показатели работы дизеля 1-ПД4Д на холостом ходу
в зависимости от дросселирования воздуха на входе в двигатель и числа работающих цилиндров**

Table 2

**Performance indicators of 1-PD4D diesel engine idling depending on air throttling
at the engine inlet and the number of working cylinders**

№ п/п	Показатели	Единица измерения	Режимы						
			1	2	3	4	5	6	7
1	Частота вращения коленчатого вала	рад/с	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2
2	Эффективная мощность дизеля	кВт	0	0	0	0	0	0	0
3	Расход дизельного топлива	кг/с	0,0020	0,0020	0,0020	0,0021	0,0021	0,0019	0,0019
4	Расход газа	кг/с	0,00160	0,00156	0,00158	0,00162	0,00163	0,00151	0,00150
5	Частота вращения ротора турбокомпрессора	рад/с	342,0	342,0	343,0	342,6	342,0	342,6	342,6
6	Расход воздуха	кг/с	0,143	0,210	0,235	0,159	0,136	0,136	0,136
7	Цикловая подача запального топлива	г/цикл	0,0170	0,0170	0,0166	0,0166	0,0166	0,0330	0,0500
8	Цикловая подача газа	г/цикл	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,26	0,39
9	Масса заряда в цилиндре	г	25,3	25,6	25,1	19,9	16,7	16,7	16,7
10	Давление в ресивере	кПа	77,1	74,6	70,4	55,6	48,8	48,8	48,8
11	Температура в цилиндре в конце расширения	К	393	384	374	417	436	562	695
12	Температура в выпускном коллекторе	К	516	499	487	585	631	612	607
13	Объемная концентрация смеси	%	0,93	0,92	0,94	1,23	1,41	2,83	4,24
14	Коэффициент избытка воздуха	—	10,6	10,7	10,5	8,0	7,0	3,5	2,3
15	Число работающих цилиндров	6	6	6	6	6	6	3	2

Примечание. Режим 1 — сечение в дросселе $0,0004 \text{ м}^2$, сечение клапанов при продувке $0,0011 \text{ м}^2$; режим 2 — сечение в дросселе $0,0004 \text{ м}^2$, сечение клапанов при продувке $0,0008 \text{ м}^2$; режим 3 — сечение в дросселе $0,0004 \text{ м}^2$, сечение клапанов при продувке $0,0004 \text{ м}^2$; режим 4 — сечение в дросселе $0,0002 \text{ м}^2$, сечение клапанов при продувке $0,0004 \text{ м}^2$; режим 5 — сечение в дросселе $0,00015 \text{ м}^2$, сечение клапанов при продувке $0,0003 \text{ м}^2$; режим 6 — число работающих цилиндров 3 из 6; режим 7 — число работающих цилиндров 2 из 6.

Note. Mode 1 — 0.0004 m^2 section in the throttle, 0.0011 m^2 section of the valves during blowdown; mode 2 — 0.0004 m^2 section in the throttle, 0.0008 m^2 section of the valves during blowdown; mode 3 — 0.0004 m^2 section in the throttle, 0.0004 m^2 section of the valves during blowdown; mode 4 — 0.0002 m^2 section in the throttle, 0.0004 m^2 section of the valves during blowdown; mode 5 — 0.00015 m^2 section in the throttle, 0.0003 m^2 section of the valves during blowdown; mode 6 — number of working cylinders is 3 out of 6; mode 7 — number of working cylinders is 2 out of 6.

Приведенные в таблице показатели работы дизеля 1-ПД4Д удовлетворительно совпадают с экспериментальными данными завода-изготовителя: начиная с третьей позиции контроллера машиниста резко снижается объемная концентрация газа в газовоздушной смеси (см. п. 16 табл. 1). По-видимому, отмеченная в [3] нестабильность работы дизеля на низких позициях контроллера связана не только с неудовлетворительной подачей запального топлива, но и со снижением допустимого уровня концентрации газовоздушной смеси. Разработанная математическая модель расчета показателей работы дизеля позволила не только имитировать его работу под нагрузкой, но и определить

показатели его работы на режимах холостого хода с уменьшенной частотой вращения коленчатого вала, а также при наличии дросселирования воздуха на входе в двигатель и при изменении числа работающих цилиндров. Некоторые результаты моделирования приведены в табл. 2.

Расчеты показали, что при отключении трех цилиндров из шести, установке сечения дросселя $1,5 \text{ см}^2$ и установке эффективного сечения при перекрытии клапанов $3,0 \text{ см}^2$ удается получить приемлемую величину бедности газовоздушной смеси (2,8%) при использовании газодизельного цикла и, следовательно, устойчивое воспламенение при

работе на газообразном топливе. Также при работе на трех цилиндрах из шести необходимо обеспечить устойчивую подачу запального топлива в пределах 0,03–0,05 г на цикл.

Основными преимуществами перевода имеющегося двигателя на работу по газодизельному циклу по сравнению с заменой на газопоршневой двигатель являются минимальный объем модернизации и сохранение возможности обратного перевода тепловозов на работу на дизельном топливе. В нашей работе ставилась задача обеспечения устойчивой подачи запального топлива при минимальном изменении конструкции топливной аппаратуры. Такую задачу можно выполнить только при применении математического моделирования процессов топливоподачи.

Основой современных методов расчета процесса топливоподачи является метод, учитывающий динамические явления в нагнетательном трубопроводе. Такой метод называется гидродинамическим. В развитие метода гидродинамического расчета большой вклад внесли работы А. Пишингера [11], И. В. Астахова [12], В. Я. Натанзона [13], Ю. Я. Фомина [14], Т. Ф. Кузнецова [15] и других ученых. Методы отличаются друг от друга способами составления уравнений граничных условий при решении волнового уравнения, а также числом факторов, учитываемых граничными условиями.

Как принято в большинстве расчетных методик процесса топливоподачи в дизелях, в основу расчета перемещения сжимаемой жидкости по трубопроводу положено решение телеграфного уравнения, состоящего из пары линейных дифференциальных уравнений в частных производных, описывающих распределение потока жидкости по времени и расстоянию [8]. Для трубопровода подачи топлива в общем случае справедливы следующие уравнения:

$$Q_i = \frac{F}{a\rho} \left(P_{1_i} - P_0 + 2P_{2_g} \right), g = \left(i - \frac{L}{aZ} \right); \quad (1)$$

$$P_{1_i} = P_i - P_0 + P_{2_g}, g = \left(i - \frac{L}{aZ} \right); \quad (2)$$

$$P_{2_i} = P_0 - P_{2_{i-1}} + P_{1_g}, g = \left(i - \frac{L}{aZ} \right), \quad (3)$$

где Q_i — расход в начале трубопровода на i -м интервале расчета, кг/с; Z — интервал расчета, с; F — сечение трубопровода, м²; a — скорость перемещения волны давления в топливе, м/с; ρ — плотность топлива, кг/м³; P_{1_i} — давление в начале трубопровода на i -м интервале расчета, Па; P_0 — начальное давление, Па; P_{2_g} — давление в конце участка трубопровода, Па; g — номер ин-

тервала; L — длина трубопровода, м; P_{2_i} — давление в конце трубопровода на i -м интервале расчета, Па; P_{1_g} — давление в начале участка трубопровода, Па; $P_{2_{i-1}}$ — давление в конце трубопровода на $i-1$ интервале расчета, Па.

Для решения уравнений необходимо определить граничные условия как в начале, так и в конце трубопровода. Как правило, определение граничных условий проводится по балансу количества рабочей жидкости, перетекающей в элементах системы, и перемещений этих элементов в течение расчетного интервала времени [11, 12, 13]. В связи с тем, что в наших расчетах поставлена конкретная задача определения устойчивой подачи запальной порции топлива, оказалось возможным упростить определение начальных условий за счет перехода от расчета количества к расчету баланса мгновенных расходов в конце расчетного интервала и приближенному определению положения перемещающихся элементов в конце расчетного интервала по скорости их движения в начале интервала.

На рис. 2 представлена принятая расчетная схема системы топливоподачи с электронной системой управления впрыском топлива (ЭСУВТ).

Разработана программа расчета показателей процесса впрыска в дизеле 1-ПД4Д при работе в широком диапазоне частот вращения коленчатого вала и цикловых подач. Адекватность математической модели проверена сравнением результатов расчета с экспериментальными данными, полученными на испытательных стендах ООО «ППП Дизельавтоматика». Расчеты проводились при штатной комплектации топливной аппаратуры на режимах работы под нагрузкой и на холостом ходу. На рис. 3 приведены результаты расчетов на номинальном режиме работы

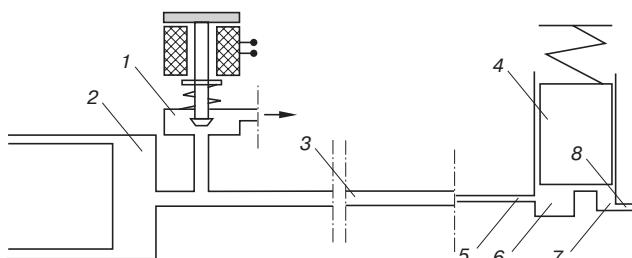


Рис. 2. Расчетная схема топливоподачи с ЭСУВТ:
 1 — клапан управления подачей; 2 — надплунжерное пространство; 3 — нагнетательный трубопровод; 4 — игла форсунки; 5 — топливоподводящий канал в форсунке; 6 — объем под иглой форсунки до запорного конуса; 7 — объем под иглой форсунки в сопловом наконечнике; 8 — сопловые отверстия

Fig. 2. Calculated fuel supply scheme with electronic control system:
 1 — feed control valve; 2 — over-plunger space;
 3 — delivery pipeline; 4 — injector needle; 5 — fuel supply channel in the injector; 6 — volume under the injector needle up to the shut-off cone; 7 — volume under the injector needle in the nozzle tip;
 8 — nozzle holes

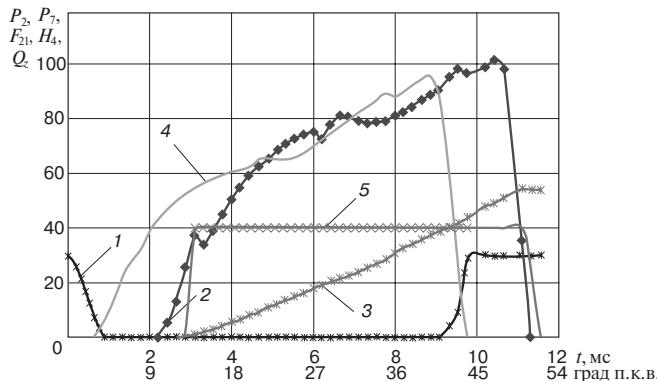


Рис. 3. Показатели процесса впрыска топлива дизеля

1-ПД4Д при работе на номинальной мощности:

1 — сечение клапана F_{21} , $\text{мм}^2 \cdot 10^{-2}$; 2 — давление в распылителе P_7 , МПа; 3 — подача топлива Q_p , г/цикл $\cdot 10^{-3}$; 4 — давление у насоса P_2 , МПа; 5 — перемещение иглы форсунки H_4 , $\text{мм} \cdot 10^{-2}$

Fig. 3. Indicators of the fuel injection process of the 1-PD4D diesel engine when operating at rated power:

1 — section of the valve F_{21} , $\text{mm}^2 \cdot 10^{-2}$; 2 — pressure in the sprayer P_7 , MPa; 3 — fuel supply Q_p , g/cycle $\cdot 10^{-3}$; 4 — pressure at the pump P_2 , MPa; 5 — displacement of the injector needle H_4 , $\text{mm} \cdot 10^{-2}$

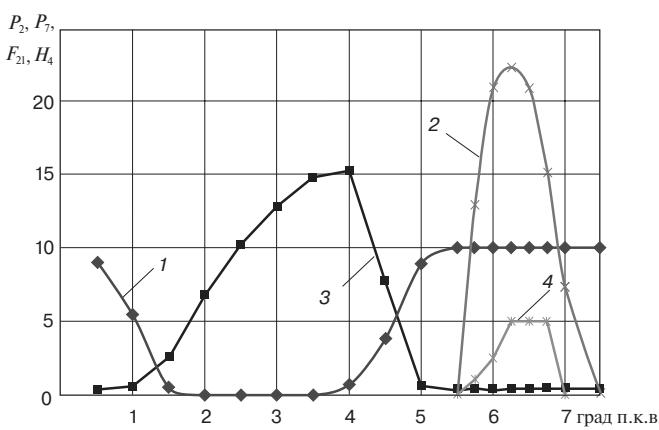


Рис. 4. Исходный процесс топливоподачи:

1 — сечение клапана F_{21} , $\text{мм}^2 \cdot 10^{-2}$; 2 — давление в распылителе P_7 , МПа; 3 — давление у насоса P_2 , МПа; 4 — перемещение иглы форсунки H_4 , $\text{мм} \cdot 10^{-2}$

Fig. 4. Initial fueling process:

1 — section of the valve F_{21} , $\text{mm}^2 \cdot 10^{-2}$; 2 — pressure in the sprayer P_7 , MPa; 3 — pressure at the pump P_2 , MPa; 4 — displacement of the injector needle H_4 , $\text{mm} \cdot 10^{-2}$

со следующими параметрами контрольного режима: частота вращения коленчатого вала 750 об/мин, эффективная мощность 882 кВт, цикловая подача 1,3 г/цикл, максимальное давление у насоса 100 МПа, максимальное давление перед сопловыми отверстиями 106 МПа, продолжительность впрыска 38 град по-вортова коленчатого вала (п.к.в.).

Учитывая приемлемую адекватность полученных результатов, проведен численный эксперимент по определению влияния конструкционных факторов на процесс подачи запального топлива. Для проведения

численного эксперимента выбраны конструкционные элементы и шаги их варьирования исходя из требования минимального конструкционного изменения штатной системы:

- шаг изменения сечения сопловых отверстий, $\text{мм}^2 — 0,102$;
- изменение максимального хода иглы распылителя, мм — 0,1;
- изменение давления начала впрыска, МПа — 5,0;
- изменение диаметра плунжера, мм — 1,0;
- изменение диаметра нагнетательного трубопровода, мм — 0,05;
- изменение объема в распылителе перед запорным конусом, $\text{см}^3 — 0,4$.

Выбор рациональных конструкционных элементов проводился по следующим критериям:

- устойчивость подачи запальной порции топлива K_y (определяется по относительной продолжительности положения иглы распылителя на упоре [16]);
- среднее давление в сопловом наконечнике в процессе впрыска K_p ;
- максимальная мощность тепловоза при работе на дизельном топливе K_N по отношению к максимальной мощности тепловоза до модернизации.

На рис. 4 приведен исходный процесс топливоподачи при проведении численного эксперимента со следующими параметрами контрольного режима: частота вращения коленчатого вала 240 об/мин, эффективная мощность 34,95 кВт, цикловая подача 0,17 г/цикл, максимальное давление у насоса 15,2 МПа, максимальное давление перед сопловыми отверстиями 22,3 МПа, продолжительность впрыска 0,75 град п.к.в.

Для определения критерия K_N проводился расчет процесса топливоподачи при номинальной частоте вращения коленчатого вала 750 об/мин. Продолжительность подачи выбиралась в соответствии с ограничением давления после топливного насоса в 130 МПа. Мощность дизеля рассчитывалась условно, считая удельный эффективный расход топлива постоянным (0,21 кг/кВт·ч).

На рис. 5 показан процесс топливоподачи одного из вариантов конструкционных изменений, в котором исследовалось влияние затяжки пружины иглы форсунки на процесс подачи запальной порции топлива со следующими параметрами контрольного режима: частота вращения коленчатого вала 240 об/мин, эффективная мощность 51,42 кВт, цикловая подача 0,25 г/цикл, максимальное давление у насоса 15,2 МПа, максимальное давление перед сопловыми отверстиями 23,49 МПа, продолжительность впрыска 1,75 град п.к.в. Давление начала подачи уменьшено с 25 до 15 МПа. Снижение давления начала впрыска привело к резкому улуч-

шению устойчивости процесса (от 0,75 до 1,75 град п.к.в.). При этом среднее давление впрыска не только не снизилось, а даже возросло с 18,4 до 19,9 МПа. Увеличилась величина цикловой подачи при впрыске запальной порции. Процесс впрыска запального топлива при 240 об/мин. Величина максимальной мощности дизеля при работе на дизельном топливе практически не изменилась.

В результате математического моделирования установлены конструкционные изменения, необходимые для обеспечения устойчивой подачи запального топлива при работе по газодизельному циклу. Таким образом, следует:

- уменьшить число сопловых отверстий в распылителе до четырех, располагая их рядом под углом между ними 40 град;
- уменьшить величину предварительной затяжки пружины иглы распылителя форсунки так, чтобы начало впрыска на стенде составляло 20 МПа вместо 32;
- как установлено в [16, 17], при длительной работе на газомоторном топливе необходимо применять форсунки с охлаждаемым распылителем.

Оценка эффективности способов перевода тепловозов на газообразное топливо. Сравнивались затраты на приобретение топлива для тепловозов, работающих на дизельном топливе, на смеси дизельного и газообразного топлива и на газообразном топливе. В качестве объектов рассмотрены тепловозы ТЭМ18ДМ, ТЭМ18Г, ТЭМ18ГМ (с предлагаемыми изменениями) и ТЭМ19.

На тепловозах ТЭМ18ДМ используется дизель 1-ПД4Д в чисто дизельном варианте и при применении газодизельного цикла с разной степенью замещения дизельного топлива природным газом, на тепловозе ТЭМ19 используется только газообразное топливо.

При сравнении тепловозов приняты следующие допущения:

- величина затрат на создание инфраструктуры, обеспечивающей снабжение тепловозов газообразным топливом, и подготовку деповского хозяйства не учитывалась;
- стоимость газового оборудования и оборудования, обеспечивающего безопасность эксплуатации тепловоза, принята одинаковой для всех тепловозов.

На рис. 6 показаны результаты такой оценки.

Влияние режимов эксплуатации на стоимость топлива, израсходованного газотепловозом за час работы, незначительно. Из рисунка видно, что при степени замещения дизельного топлива 45–50 % тепловоз с газопоршневым двигателем (ТЭМ19) будет экономичнее, чем тепловоз с газодизельным. При степени замещения более 75 % тепловоз с газодизельным двигателем будет более экономичным.

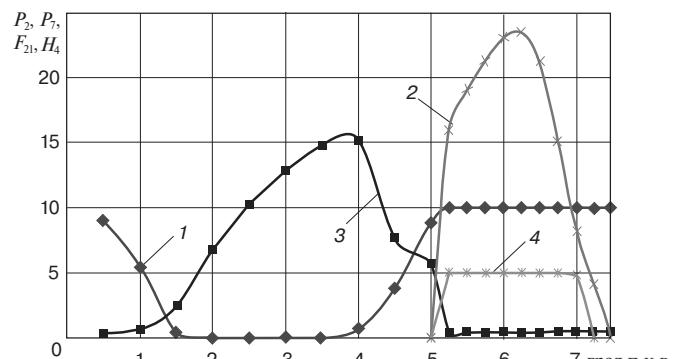


Рис. 5. Процесс впрыска запального топлива при 240 об/мин:
1 — сечение клапана F_{21} , $\text{мм}^2 \cdot 10^{-2}$; 2 — давление в распылителе P_7 , МПа; 3 — давление у насоса P_2 , МПа; 4 — перемещение иглы форсунки H_4 , $\text{мм} \cdot 10^{-2}$

Fig. 5. Ignition fuel injection process at 240 rpm:
1 — section of the valve F_{21} , $\text{mm}^2 \cdot 10^{-2}$; 2 — pressure in the sprayer P_7 , MPa;
3 — pressure at the pump P_2 , MPa; 4 — displacement of the injector needle H_4 , $\text{mm} \cdot 10^{-2}$

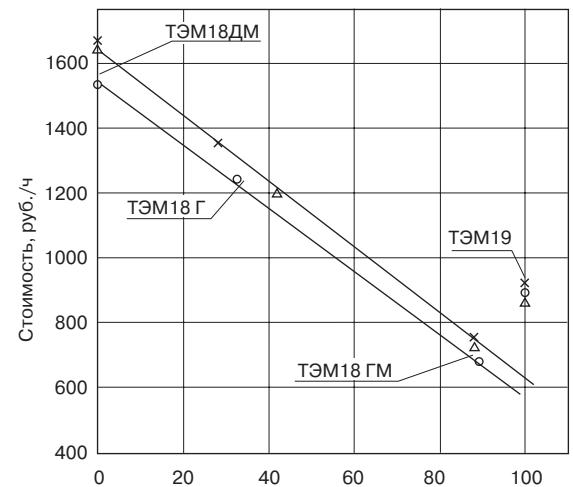


Рис. 6. Стоимость топлива, израсходованного за час работы, в зависимости от степени замещения топлива газом при работе тепловоза в среднестатистических режимах эксплуатации:
○, Δ, × — 1, 2 и 3 режимы эксплуатации соответственно

Fig. 6. The cost of fuel consumed per hour of operation, depending on the degree of fuel substitution with gas when the locomotive is operating in average statistical operating modes:
○, Δ, × — 1, 2 and 3 operating modes, respectively

Заключение. 1. Работа газодизелей ниже четвертой позиции контроллера не обеспечивается не только из-за нестабильной подачи запальной порции топлива, но и из-за недопустимого обеднения газовоздушной смеси.

2. Дросселирование воздуха на входе в двигатель дает эффект снижения массы заряда в цилиндре двигателя только при высокой степени дросселирования и не позволяет плавно регулировать качество газовоздушной смеси (бедность смеси).

3. Для работы дизеля под нагрузкой при низких позициях контроллера необходимо обеспечить не только устойчивую и качественную подачу запального топлива, но и заданную допускаемую величину бедности газовоздушной смеси не ниже 3% путем увеличения нагрузки на этих позициях.

4. Для работы дизеля на холостом ходу необходимо дросселирование воздуха на входе в двигатель до снижения давления в ресивере до 50–65 кПа и отключения не менее половины цилиндров.

5. Для обеспечения устойчивой работы тепловоза на газообразном топливе необходимы минимальные изменения штатной топливной аппаратуры, определенные в результате моделирования рабочих процессов дизеля 1-ПД4Д.

Предлагаемые решения позволяют обеспечить работу двигателя на газообразном топливе на всех эксплуатационных режимах. При таком подходе предполагается, что при мгновенном переходе с газообразного топлива на дизельное мощность тепловоза будет составлять 40% от назначенной. Чтобы обеспечить длительную работу на полной мощности, необходимо поменять на двигателе штатные форсунки и изменить настройку системы управления впрыском топлива.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Государственная программа Российской Федерации «Расширение использования природного газа в качестве моторного топлива на транспорте и техникой специального назначения» [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mintras.ru/activities/gos-progs/11/13/documents> (дата обращения: 02.05.2021 г.).

2. Соглашение о сотрудничестве между ПАО «Газпром», ОАО «РЖД», АО «Группа Синара» и ЗАО «Трансмашхолдинг» в области использования природного газа в качестве моторного топлива от 17 июня 2016 г. № 75 [Электронный ресурс]. URL: <https://company.rzd.ru/ru/9397/page/104069?accessible=true&id=55187> (дата обращения: 02.05.2021 г.).

3. Загорский М. В., Фофанов Г. А., Поляков В. И. Газодизель-генератор ГДГ-50 на газотепловозе ТЭМ18Г производства ОАО «БМЗ» // Двигателестроение. 2001. № 4. С. 40–42.

4. Исследование условий и режимов работы маневровых тепловозов / В. О. Носков [и др.] // Молодой ученый. 2017. № 12 (146). С. 72–75.

5. Горелик Г. Б. Перспективы развития газодизельных двигателей // Вестник Томского государственного университета (Вестник ТОГУ). 2009. № 2 (13). С. 61–72.

6. Боксерман Ю. И., Мкртчан Я. С., Чириков К. Ю. Перевод транспорта на газовое топливо. М.: Недра, 1988. 220 с.

7. Патрахальцев Н. Н., Гусаков С. В., Медведев Е. В. Возможности организации газодизельного процесса с внутренним смесеобразованием на базе дизеля 8Ч 13/14 // Двигателестроение. 2004. № 3. С. 10–13.

8. Особенности конвертации дизелей автономных локомотивов на газомоторное топливо / Д. Я. Носырев [и др.] // Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева (Вестник КазАТК). 2017. № 4 (103). С. 70–77.

9. ГОСТ Р 56286–2014. Локомотивы маневровые, работающие на сжиженном природном газе. Общие технические требования: национальный стандарт Российской Федерации: утв. и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 26 ноября 2014 г. № 1928-ст: дата введения 2015-05-01: с поправками. М.: Стандартинформ, 2019. 30 с.

10. Некоторые аспекты применения газомоторного топлива на дизелях тепловозов / Е. Е. Коссов [и др.] // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2020. Т. 79. № 5. С. 301–309. DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2020-79-5-301-309>.

11. Пишингер А. О механике впрыскивания топлива под давлением // Двигатели внутреннего сгорания: сб. монографий из иностранной литературы / пер. под ред. С. Н. Васильева. М.; Л.: ОНТИ. Глав. ред. автотракт. лит., 1939. Т. V. С. 12–21.

12. Астахов И. В. Динамика процесса впрыска в быстроходных дизелях // Труды Министерства авиационной промышленности СССР (МАП). М.: Бюро новой техники, 1948. Вып. 154. 91 с.

13. Натанзон В. Я. О динамике топливной системы двигателей дизеля // Труды ЦИАМ. М.; Л.: ОНТИ. Глав. ред. авиац. лит., 1936. Вып. 20. С. 71–118.

14. Фомин Ю. Я. Гидродинамический расчет топливных систем судовых дизелей. М.: Морской транспорт, 1959. 84 с.

15. Кузнецов Т. Ф. Теоретические основы и методика расчета впрыска вязкого топлива в поршневых ДВС // Труды Харьковского института инженеров железнодорожного транспорта им. С. М. Кирова (Труды ХИИЖТ). Харьков: Изд-во ХИИЖТ, 1960. Вып. 35. С. 18–29.

16. Горелик Г. Б. Неустановившиеся режимы работы дизельной топливной аппаратуры. Хабаровск: Изд-во Хабаровского гос. техн. ун-та, 1995. 91 с.

17. Крохотин Ю. М. Улучшение экономичности тепловозных дизелей путем совершенствования их топливной аппаратуры: дис. ... канд. техн. наук: 05.04.02. М.: МГТУ им. Баумана, 2007. 177 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

КОССОВ Евгений Евгеньевич,
д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник,
АО «ВНИИЖТ»

АСАБИН Виталий Викторович,
канд. техн. наук, доцент, первый проректор, ФГБОУ ВО «СамГУПС»

СИЛЮТА Анатолий Геннадьевич,
канд. техн. наук, заведующий лабораторией, АО «ВНИИЖТ»

ЖУРАВЛЕВ Андрей Николаевич,
младший научный сотрудник, АО «ВНИИЖТ»

КОССОВА Лидия Евгеньевна,
младший научный сотрудник, АО «ВНИИЖТ»

Статья поступила в редакцию 21.05.2021 г., принята к публикации 22.06.2021 г.

Для цитирования: Пути решения проблемы перевода тепловозов на газообразное топливо / Е. Е. Коссов [и др.] // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2021. Т. 80. № 4. С. 191–200. DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-4-191-200>.

Ways to solve the problem of converting diesel locomotives to gaseous fuel

E. E. KOSSOV¹, V. V. ASABIN², A. G. SILYUTA¹, A. N. ZHURAVLEV¹, L. E. KOSSOVA¹

¹Joint Stock Company Railway Research Institute (JSC "VNIIZHT"), Moscow, 129626, Russia

²Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Samara State University of Railways" (FGBOU VO "SamGUPS"), Samara, 443066, Russia

Abstract. The Government of the Russian Federation has set the task of expanding the field of application of gaseous fuels in the national economy. In accordance with this task, an agreement of June 17, 2016 was developed on cooperation between PJSC Gazprom, JSC Russian Railways, JSC Sinara Group, JSC Transmashholding in the use of natural gas as a motor fuel, which provides for the production of shunting gas locomotives and mainline diesel locomotives and gas turbine locomotives. This work is a continuation of the work begun in the 1990s to create, fine-tune and test diesel locomotives using natural gas as a motor fuel. The conversion of diesel locomotives to gaseous fuel can be carried out in two ways: creation of diesel locomotives with gas piston engines and the modernization of diesel locomotives of the existing fleet by converting the diesel engines of these locomotives to use the gas-diesel cycle. A comparison of these options is given and solutions are proposed that allow using gas-diesel cycle on diesel locomotives. Mathematical models for calculating the performance indicators of a gas-diesel generator plant in operating modes and separately for the fuel supply process are presented, their features and some calculation results are presented. The experimentally determined reasons for the impossibility of operation of the power plant in the gas-diesel cycle of a shunting diesel locomotive based on TEM18 below the fourth position of the driver's controller are theoretically substantiated. The minimum required structural changes to the standard fuel equipment are determined, which are necessary to ensure stable operation of a diesel locomotive on gaseous fuel. A comparative assessment of the efficiency of converting diesel locomotives to gaseous fuel is carried out and the cost of fuel consumed per hour of operation is determined, depending on the degree of fuel replacement with gas when the locomotive is operating in average operating modes.

Keywords: locomotive; natural gas; gas-diesel cycle; ignition portion; gas-air mixture; poor mixture; throttling; injector; hydrodynamic calculation; criterion; mathematical experiment

DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-4-191-200>

REFERENCES

1. *Gosudarstvennaya programma Rossiyskoy Federatsii "Rasshirenie ispol'zovaniya prirodnogo gaza v kachestve motornogo topliva na transporte i tekhnikoy spetsial'nogo naznacheniya"* [State program of the Russian Federation "Expanding the use of natural gas as a motor fuel in transport and special equipment"] URL: <https://www.mistras.ru/activities/gos-progs/11/13/documents> (retrieved on 02.05.2021) (in Russ.).
2. *Soglashenie o sotrudничестве между ПАО "Газпром", ОАО "РЖД", АО "Группа Синара" и ЗАО "Трансмашхолдинг" о развитии использования природного газа в качестве моторного топлива* от 17 июня 2016 г. № 75 [Agreement on cooperation between PJSC Gazprom, JSC Russian Railways, JSC Sinara Group and CJSC Transmashholding in the use of natural gas as a motor fuel dated June 17, 2016 No. 75]. URL: <https://company.rzd.ru/ru/9397/page/104069?accessible=true&id=55187> (retrieved on 02.05.2021) (in Russ.).
3. Zagorskiy M. V., Fofanov G. A., Polyakov V. I. *Gazodizel'-generator GDG-50 na gazoteplovoze TEM18G proizvodstva OAO "BMZ"* [Gas-diesel generator GDG-50 on the gas-locomotive TEM18G produced by JSC "BMZ"]. Dvigatelestroyeniye, 2001, no. 4, pp. 40–42.
4. Noskov V. O., Milyutina L. V., Sinev I. S., Taruta V. F., Chubarov I. A., Chulkov A. V. *Issledovanie usloviy i rezhimov raboty manevrovyykh teplovozov* [Research of conditions and operating modes of shunting diesel locomotives]. Molodoy uchenyy, 2017, no. 12 (146), pp. 72–75.
5. Gorelik G. B. *Perspektivy razvitiya gazodizel'nykh dvigateley* [Prospects for the development of gas-diesel engines]. Tomsk State University Journal, 2009, no. 2 (13), pp. 61–72.
6. Bokserman Yu. I., Mkrtchan Ya. S., Chirikov K. Yu. *Perevod transporta na gazovoe toplivo* [Transport transfer to gas fuel]. Moscow, Nedra Publ., 1988, 220 p.
7. Patrakhal'tsev N. N., Gusakov S. V., Medvedev E. V. *Vozmozhnosti organizatsii gazodizel'nogo protsessa s vnutrennim smesobrazovaniem na baze dizelya 8Ch 13/14* [Possibilities of organizing a gas-diesel process with internal mixture formation based on diesel 8Ch 13/14]. Dvigatelestroyeniye, 2004, no. 3, pp. 10–13.
8. Nosyrev D. Ya., Kurmanova L. S., Petukhov S. A., Muratov A. V. *Osobennosti konvertatsii dizeley avtonomnykh lokomotivov na gazomotornoe toplivo* [Features of converting diesel engines of autonomous locomotives to gas engine fuel]. Bulletin of KazATC, 2017, no. 4 (103), pp. 70–77.
9. GOST R 56286–2014. *Gas-fueled shunting locomotives. General technical requirements*. National Russian Federation standard. Approved and put into effect by order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated November 26, 2014 No. 1928-st. Moscow, Standartinform Publ., 2019, 30 p. (in Russ.).
10. Kossov E. E., Asabin V. V., Silyuta A. G., Zhuravlev A. N., Kossova L. E. *Nekotorye aspekty primeneniya gazomotornogo topliva na dizelyakh teplovozov* [Some aspects of the use of gas engine fuel on diesel locomotives]. VNIIZHT Scientific Journal, 2020, Vol. 79, no. 5, pp. 301–309. DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2020-79-5-301-309>.
11. Pishinger A. *O mekhanike vpryskivaniya topliva pod davleniem* [On the mechanics of fuel injection under pressure]. Dvigatelei vnutrennego sgoraniya. Sb. monografii iz inostrannoy literatury [Internal combustion engines. Coll. of monographs from foreign literature]. Moscow, St. Petersburg, ONTI. Glav. red. avtotrakt. lit. Publ., 1939, Vol. V, pp. 12–21.
12. Astakhov I. V. *Dinamika protsessa vpryska v bystrokhodnykh dizelyakh* [Dynamics of the injection process in high-speed diesel engines]. Trudy M-va aviat. prom-sti SSSR (MAP) [Proceedings of the Ministry of Aviation Industry of the USSR (MAP)]. Moscow, Byuro novoy tekhniki Publ., 1948, no. 154, 91 p.
13. Natanzon V. Ya. *O dinamike toplivnoy sistemy dvigateley dizelya* [On the dynamics of the fuel system of diesel engines]. Trudy TsIAM [Proceedings of TsIAM]. Moscow, St. Petersburg, ONTI. Glav. red. aviat. lit. Publ., 1939, Vol. 20, pp. 71–118.
14. Fomin Yu. Ya. *Gidrodinamicheskiy raschet toplivnykh sistem sudovykh dizeley* [Hydrodynamic calculation of fuel systems of marine diesel engines]. Moscow, Morskoy transport Publ., 1959, 84 p.
15. Kuznetsov T. F. *Teoreticheskie osnovy i metodika rascheta vpryska vyazkogo topliva v porshnevyykh DVS* [Theoretical foundations and methods for calculating the injection of viscous fuel in piston internal combustion engines]. Trudy KhIIZhT [Proceedings of KhIIZhT]. Khar'kov, KhIIZhT Publ., 1960, no. 35, pp. 18–29.
16. Gorelik G. B. *Neustanovivshiesya rezhimy raboty dizel'noy toplivnoy apparatury* [Unsteady operating modes of diesel fuel equipment]. Khabarovsk, Izd-vo Khabarovskogo gos. tekhn. un-ta [Khabarovsk State Technical University Publishing House], 1995, 91 p.

17. Krokhotin Yu. M. *Uluchshenie ekonomichnosti teplovoznykh dizeley putem sovershenstvovaniya ikh toplivnoy apparatury. Dis. ... kand. tekhn. nauk* [Improving the efficiency of diesel locomotive diesel engines by improving their fuel equipment. Cand. tech. sci. diss.]. Moscow, MGTU im. Baumana Publ., 2007, 177 p.

Vitaliy V. ASABIN,
Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, First Vice-Rector,
FGBOU VO "SamGUPS"

Anatoliy G. SILYUTA,
Cand. Sci. (Eng.), Head of the Laboratory, JSC "VNIIZHT"

Andrey N. ZHURAVLEV,
Junior Researcher, JSC "VNIIZHT"

Lidiya E. KOSSOVA,
Junior Researcher, JSC "VNIIZHT"

Received 21.05.2021
Accepted 22.06.2021

ABOUT THE AUTHORS

Evgeniy E. KOSsov,
Dr. Sci. (Eng.), Professor, Chief Researcher,
JSC "VNIIZHT"

E-mail: Silyuta.Anatoly@vniiizht.ru (A. G. Silyuta)

For citation: Kossov E. E., Asabin V. V., Silyuta A. G., Zhuravlev A. N., Kossova L. E. Ways to solve the problem of converting diesel locomotives to gaseous fuel // VNIIZHT Scientific Journal. 2021. 80 (4): 191–200 (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-4-191-200>.

ВНИМАНИЮ ЧИТАТЕЛЕЙ!

«PRO//Движение.Экспо»: главная железнодорожная выставка 26–29 августа 2021 г.

В этом году Салон отмечает свое 50-летие. Помимо этого, выставка вошла в план мероприятий Года науки и технологий, объявленный указом Президента Российской Федерации. «PRO//Движение.Экспо» полностью отражает тематику Года экологии, объявленную в 2021 г. в ОАО «РЖД».

Выставочная экспозиция Салона развернется на территории Экспериментального железнодорожного кольца АО «ВНИИЖТ» и займет площадь 20 000 кв.м, а производители железнодорожной техники представят более 100 натуральных образцов.

В выставке участвуют более 150 российских и иностранных компаний, в том числе производители подвижного состава, железнодорожного оборудования и комплектующих, специалисты в области строительства и обеспечения безопасности на железных дорогах, инжиниринга и дизайна, среди которых: ОАО «РЖД», Трансмашхолдинг, Группа ПТК, АО «Синара — Транспортные машины», ООО «Уральские локомотивы», НПК «Объединенная Вагонная Компания», Ассоциация «АСТО», АО «Фирма ТВЕМА», Объединенная металлургическая компания, Группа компаний 1520, АО «ЭЛАРА», «Сименс Мобильность», АО «Концерн «Уралвагонзавод», АО «Алтайвагон», концерн Knorr-Bremse, Rolls-Royce и другие.

Традиционно в рамках Салона пройдут деловые, а также тематические и развлекательные мероприятия для гостей выставки. Сессии деловой программы посвящены актуальным темам пересекающихся трендов: экостратегии устойчивого развития, цифровые технологии, подвижной состав, импортозамещение, научное развитие, строительство.

«PRO//Движение.Экспо» в этом году пройдет в гибридном формате и позволит расширить географию мероприятия и охват аудитории.

26 и 27 августа участников деловой программы ждут более 10 сессий, посвященных стратегиям и технологиям устойчивого развития в железнодорожной отрасли, цифровым технологиям, развитию железнодорожного транспорта в агломерациях, транспортному машиностроению, инструментам реализации приоритетов научно-технологического развития и технологиям строительства.

В рамках «PRO//Движение.Экспо» состоится I Международная конференция «Наука 1520 ВНИИЖТ: Загляни за горизонт».

Конференция ориентирована на обсуждение стратегических задач железнодорожной отрасли, нацелена на развитие и укрепление взаимодействия между органами власти, предприятиями отрасли, учеными, профильными университетами, производителями технических средств, разработчиками технологических решений на железных дорогах мира.

Основной фокус конференции: обсуждение перспективных железнодорожных технологий в эпоху 4-й промышленной революции и глобальных мировых вызовов.

На одной площадке соберутся ведущие российские и зарубежные эксперты и ученые, представители промышленности, органов власти.

Материалы конференции войдут в «Сборник трудов I Международной конференции «Наука 1520 ВНИИЖТ: Загляни за горизонт», который будет индексироваться в РИНЦ. Лучшие доклады по рекомендациям руководителей секций, доработанные до формата научной статьи, будут опубликованы в научно-техническом журнале «Вестник ВНИИЖТ».

Организатор конференции:

АО «ВНИИЖТ» – лидер в области разработок, создания, испытания и внедрения железнодорожной техники и технологий на пространстве колеи 1520 мм.

Более подробно об условиях участия можно узнать на официальных сайтах: <https://www.research1520.ru/>, <http://railwayexpo.ru/ru/>

Особенности влияния промежуточных рельсовых скреплений на эксплуатационную стойкость рельсов

Н. В. КУЗНЕЦОВА¹, Е. А. СИДОРОВА²

¹ Российская открытая академия транспорта (РОАТ) Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет транспорта» (ФГАОУ ВО «РУТ» (МИИТ)), Москва, 125315, Россия

² Акционерное общество «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (АО «ВНИИЖТ»), Москва, 129626, Россия

Аннотация. Термоупрочненные рельсы типа Р65 — основной тип рельсов, применяемый на сети железных дорог ОАО «РЖД». Снижение количества дефектных и остродефектных рельсов возможно за счет рационального использования особенностей конструкций промежуточных рельсовых скреплений и их текущего содержания.

В статье приведены результаты исследования влияния жесткости промежуточных скреплений на эксплуатационную стойкость рельсов. Рассмотрена общая статистика применения различных типов промежуточных рельсовых скреплений на сети российских железных дорог. Кратко приведены основные результаты ранее опубликованных исследований о влиянии жесткости промежуточных рельсовых скреплений на накопление контактно-усталостных повреждений в рельсах.

В основе проведенных авторами расчетов накопления контактно-усталостных повреждений в рельсах лежат данные о вертикальной и горизонтальной поперечной жесткости промежуточных рельсовых скреплений, полученные по результатам стендовых испытаний. Расчеты накопления контактно-усталостных повреждений производились с применением программного комплекса «Универсальный механизм». В процессе моделирования рассматривались четыре типа промежуточных рельсовых скреплений: АРС-4, ЖБР-65Ш, ЖБР-65ПШ и В-30. Результаты расчетов были получены для кривой радиусом 650 м на бесстыковом участке пути.

Ключевые слова: рельсы; рельсовые скрепления; жесткость; контактно-усталостные повреждения рельсов

Введение. Разворнутая длина главных путей ОАО «РЖД» составляет 125,8 тыс. км, в том числе на железобетонном основании порядка 100 тыс. км, из них протяженность пути с упругими рельсовыми скреплениями — более 40 %.

На рис. 1 представлены диаграммы, характеризующие протяженность пути на железобетонных шпалах с различными типами промежуточных рельсовых скреплений.

Следует отметить, что применяемые конструкции рельсовых скреплений проектировались в соответствии с требованиями ЦП 1-86 «Технические требования к промежуточным рельсовым скреплениям», на базе которых был разработан межгосударственный стандарт ГОСТ 32698–2014 «Скрепление рельсовое

промежуточное железнодорожного пути. Требования безопасности и методы контроля». Эти требования не предусматривают дифференциации скреплений по условиям эксплуатации.

С учетом того что грузонапряженность и нагрузки на ось на ряде направлений (в первую очередь Восточного полигона) значительно возрастают, повышаются и требования к долговечности и технологичности обслуживания скреплений. Сфера рационального применения промежуточных рельсовых скреплений на сети железных дорог ОАО «РЖД» установлены распоряжением от 28 июня 2018 г. № 1362/р [1].

Поскольку накоплен достаточный опыт исследований скреплений, применяемых на сети железных дорог, основные усилия в настоящее время направлены именно на повышение надежности типовых конструкций скреплений на участках пути малого радиуса, разработку скреплений для высокоскоростного движения [2], а также уточнение степени влияния конструкции и состояния скреплений на элементы верхнего строения пути (в первую очередь на рельсы) для обеспечения равноресурсности конструкции пути 2,5 млрд т брутто.

Рельсовые скрепления при износе и старении прогладок, изломах подкладок, коррозии и ослаблении резьбовых соединений не обеспечивают в полной мере стабильности ширины колеи, необходимого усилия прижатия рельса к шпале и сопротивления продольному угону рельсовой плети, вследствие чего ухудшается динамика взаимодействия пути и подвижного состава. Зачастую дальнейшая эксплуатация участка пути с установленными скоростями становится недопустимой по условиям безопасности движения.

Основные причины отказов рельсов в эксплуатации. Наличие в пути дефектных (ДР) и остродефектных (ОДР) рельсов также приводит к ограничению скоростей движения, а при пропуске дефектов средствами диагностики — к изломам, повышению затрат на текущее содержание и ремонты пути. Возникновение контактно-усталостных дефектов (КУД) и износа зависит от совокупности факторов:

■ E-mail: Sidorova.Elena@vniizht.ru (Е. А. Сидорова)

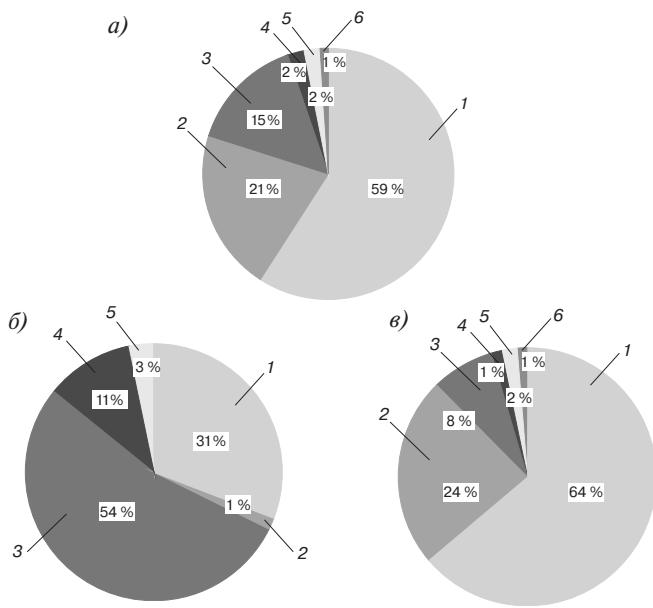


Рис. 1. Протяженность участков пути с различными типами рельсовых скреплений на железобетонных шпалах (главные пути):

а — общая протяженность железных дорог; б — дороги Восточного полигона; в — дороги Западного полигона:
 1 — КБ-65; 2 — АРС-4; 3 — ЖБР-65Ш;
 4 — ЖБР-65ПШМ (П; ПШ; ПШР); 5 — В-30; 6 — ПФК-350

Примечание. Восточный полигон — Красноярская, Восточно-Сибирская, Забайкальская и Дальневосточная дирекции инфраструктуры, Западный полигон — Октябрьская и Свердловская дирекции инфраструктуры — структурные подразделения Центральной дирекции инфраструктуры — филиала ОАО «РЖД».

Fig. 1. Length of track sections with different types of rail fastenings on reinforced concrete sleepers (main tracks):
 а — total length of the railways; б — railways of the Eastern polygon;
 в — railways of the Western polygon: 1 — KB-65; 2 — ARS-4;
 3 — ZhBR-65Sh; 4 — ZhBR-65PShM (P; PSh; PShR); 5 — W-30;
 6 — PFK-350

Note. Eastern polygon — Krasnoyarsk, East Siberian, Trans-Baikal and Far Eastern directorates of infrastructure, Western polygon — Oktyabrskaya, Sverdlovsk directorates of infrastructure — structural divisions of the Central Directorate of Infrastructure — a branch of JSC Russian Railways.

конструкции пути, радиуса кривой, уклона пути, режима торможения подвижного состава, нагрузок от колесной пары на рельс, скоростей движения.

Интенсификация условий эксплуатации пути сопровождается повышенным одиночным изъятием рельсов. При этом не только увеличивается удельный выход рельсов, но и изменяется характер преобладающих причин их повреждений. Например, на ранней стадии эксплуатации на прямых участках и в пологих кривых основным видом повреждений рельсов являются дефекты контактно-усталостного происхождения, а в кривых малого радиуса — боковой износ по упорной нити и вертикальный износ и смятие — по внутренней нити.

Таким образом, факторами, определяющими эксплуатационную стойкость рельсов, являются их контактная выносливость и износостойкость.

В общем виде величина наработки тоннажа для рельсов может быть представлена зависимостью

$$T = J_B P_I + D_{\text{куд}} P_D + Q_T P_Q, \quad (1)$$

где J_B — интенсивность износа рельсов, выраженная в наработке тоннажа до образования предельного износа, $J_B = f(h_B)$; $D_{\text{куд}}$ — наработка тоннажа до образования КУД; Q_T — наработка тоннажа до образования дефектов, не связанных с физико-механическими свойствами и качеством производства рельсов (дефекты от ударов, дефекты сварки и пр.); P_I — доля отказов, приходящаяся на износ; P_D — доля отказов, приходящаяся на КУД; P_Q — доля отказов, приходящаяся на прочие дефекты.

$$P_I + P_D + P_Q = 1. \quad (2)$$

От воздействия колес в головке рельса в месте контакта изменяется напряженное состояние, при этом возникают значительные знакопеременные напряжения, которые в зонах концентрации превышают предел выносливости рельсовой стали. После определенной наработки в этих зонах возникают внутренние продольные трещины, приводящие к изломам и отказам рельсов.

Износ рабочей поверхности головки рельса ликвидирует поверхностные контактно-усталостные трещины, не давая им развиваться и стать причиной изломов и изъятий рельсов при сверхнормативных размерах трещин и выкрашивании.

Значения вертикальной и горизонтальной поперечной жесткости промежуточных скреплений. Влияние скреплений в системе «колесо — рельс — рельсовое основание» следует рассматривать на фоне других системных аспектов, имеющих зачастую взаимоисключающие решения, а именно:

1) Увеличение горизонтальной поперечной жесткости рельсового скрепления ведет к повышению жесткости конструкции пути в целом и возрастанию критической скорости движения, что влияет на ходовую устойчивость вагонов.

2) В кривых малого радиуса основной проблемой динамики взаимодействия пути и подвижного состава являются значительные боковые силы. Во избежание серьезных деформаций конструкции пути его горизонтальную поперечную жесткость следует увеличить. Однако недостатком такого решения является то, что его реализация может оказать вредное воздействие на поперечное динамическое взаимодействие колеса и рельса и безопасность прохождения кривых.

3) При коротких неровностях на поверхности рельса возникают ударные нагрузки с высокой и низкой частотой. В этом случае относительно малая вертикальная жесткость рельсового скрепления способствует смягчению ударных нагрузок [3].

К числу важнейших теоретических вопросов относится установление оптимальной величины вертикальной статической и динамической жесткости узла скрепления для определенных условий эксплуатации, а также оптимального соотношения жесткости амортизирующих прокладок и клеммы (пружинного элемента, прикрепляющего рельс к основанию).

Правильно спроектированный узел скрепления должен обеспечивать заданную упругость и одновременно сохранять клеммное прижатие рельса к шпale.

Конструкционная жесткость узла скрепления определяется жесткостью прокладки-амортизатора (вертикальная) и жесткостью клеммы на контакте с рельсом (горизонтальная поперечная).

В настоящее время диапазон вертикальной жесткости применяемых конструкций скреплений колеблется в пределах от 50 до 300 МН/м, а соотношение жесткостей клеммы на контакте с рельсом и амортизирующей прокладкой составляет от 1/7 до 1/20.

Нормируемый ГОСТ 32698–2014 [4] диапазон значений вертикальной жесткости узла промежуточного рельсового скрепления составляет 50–150 МН/м, горизонтальной поперечной — не менее 30 МН/м.

Согласно ГОСТ 34078–2017 [5] вертикальная статическая жесткость подрельсовых прокладок-амортизаторов различного исполнения для одной и той же конструкции скрепления находится в диапазоне от 50 до 150 МН/м и при климатическом старении (долговременной эксплуатации) может изменяться до 30 %, т. е. достигать 195 МН/м. При температуре -40°C коэффициент изменения статической жесткости может достигать 4.

Результаты стендовых испытаний показывают значительные отличия значений характеристик вертикальной и горизонтальной поперечной жесткости у скреплений различных конструкций.

На рис. 2 и 3 представлены обобщенные результаты стендовых испытаний, проведенных АО «ВНИИЖТ» (лаборатория «Испытания материалов и конструкций» НЦ «РСТМ», заведующий лабораторией канд. техн. наук Ю.А. Базанов), по определению вертикальной и горизонтальной поперечной жесткости различных конструкций скреплений до и после их циклических нагрузений на базе 4 млн циклов, имитирующих поездную нагрузку при наработке тоннажа 100 млн т брутто.

Наименьшую вертикальную жесткость (за счет двух прокладок — подрельсовой и нашпальной) имеет скрепление КБ-65, при этом конструкция КБ значительно подвержена влиянию динамического нагружения (увеличение вертикальной жесткости в 1,7 раза при нагрузке $P = 27$ тс).

Приложение циклической нагрузки повышает значения вертикальной жесткости в большей степени

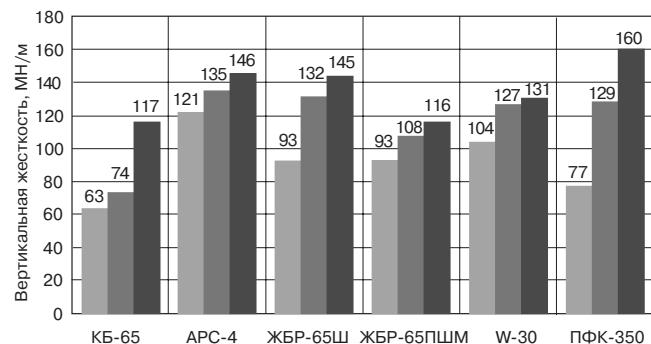


Рис. 2. Изменение вертикальной жесткости скреплений при их циклических нагрузениях:

— до циклических нагрузений; ■ — нагрузка 23,5 тс;

■ — нагрузка 27 тс

Fig. 2. Change in the vertical stiffness of fasteners under its cyclic loading:

— before cyclic loading; ■ — load 23.5 t;

■ — load 27 t

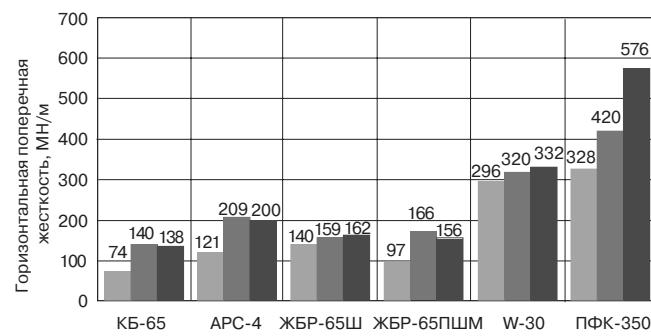


Рис. 3. Изменение горизонтальной поперечной жесткости скреплений при их циклических нагрузениях:

— до циклических нагрузений; ■ — нагрузка 23,5 тс;

■ — нагрузка 27 тс

Fig. 3. Change in the horizontal transverse stiffness of fasteners under its cyclic loading:

— before cyclic loading; ■ — load 23.5 t;

■ — load 27 t

ни для бесподкладочных конструкций скреплений, за счет больших остаточных деформаций (смятие и истирание) прокладки-амортизатора и релаксации клеммы соответственно на 40 и 15 % для скреплений ЖБР-65Ш и ЖБР-65ПШМ при нагрузке $P = 23,5$ тс и на 55 и 25 % при нагрузке $P = 27$ тс.

Для скрепления APC-4 увеличение вертикальной жесткости после циклического нагружения составляет при нагрузке $P = 23,5$ тс — 11 %, а при нагрузке $P = 27$ тс — 20 %.

Для скрепления W-30 увеличение вертикальной жесткости после циклического нагружения составляет 20 %, что обусловлено конструкционными особенностями клеммы торсионного типа, имеющей лучшие упругие характеристики по сравнению с клеммами ЖБР и APC.

Для скрепления ПФК-350 относительное увеличение вертикальной жесткости достигает 110 %.

В целом повышение вертикальной жесткости после циклических нагрузений указанных скреплений обусловлено потерей упруго-эластических свойств материала подрельсовых прокладок-амортизаторов.

Наименьшее влияние циклическое динамическое нагружение оказывает на значение горизонтальной поперечной жесткости конструкции скрепления ЖБР-65Ш — относительное увеличение на 20%; у подкладочных конструкций скреплений и АРС-4, имеющего жесткие упорные выступы анкера, — на 70–90 %. Наибольшая горизонтальная поперечная жесткость отмечается у анкерных конструкций скрепления АРС-4 (до 200 МН/м) и ПФК-350 (до 576 МН/м), а также у скрепления W-30 (332 МН/м) за счет высокого монтажного прижатия клеммами подошвы рельса.

Влияние жесткости узла скрепления на интенсивность образования и развития контактно-усталостных повреждений рельсов. Жесткость узла скрепления влияет на интенсивность образования и развития повреждений контактно-усталостного характера в элементах верхнего строения пути, и в первую очередь в рельсах [6, 7]. В результате исследований, проведенных ВНИИЖТ, было установлено, что двукратное снижение вертикальной жесткости в узле скрепления приводит к уменьшению контактных напряжений в рельсе и уменьшению до 40 % значений вертикальных сил, действующих на рельс [8].

Повышение статической вертикальной жесткости скреплений и снижение их амортизационной способности в зимний период при повышении модуля упругости пути приводит к росту повреждаемости рельсов и ухудшению состояния балласта [9].

Этот вывод имеет особенное значение в современных условиях повышения жесткости промежуточных рельсовых скреплений для увеличения их долговечности. Вероятно, при решении данного вопроса необходимо определить рациональные границы повышения вертикальной жесткости скреплений.

На основании данных, содержащихся в электронной базе Единой корпоративной автоматизированной системы управления инфраструктурой (ЕК АСУИ) ОАО «РЖД», авторами были сформированы совокупности одиночных изъятий термоупрочненных рельсов типа Р65 по кодам дефектов контактно-усталостного происхождения и рассчитан их удельный выход (рис. 4).

Для исследования влияния жесткости промежуточных рельсовых скреплений на возникновение контактно-усталостных повреждений в рельсах использовались методы моделирования, реализованные на базе программного комплекса «Универсальный механизм» [10].

В основу создания моделей легли результаты стендовых испытаний по определению вертикальной и горизонтальной поперечной жесткости различных конструкций рельсовых скреплений, проведенных АО «ВНИИЖТ». Для исследования были выбраны четыре типа скреплений: АРС-4, ЖБР-65Ш, ЖБР-65ПШМ, W-30.

Расчет накопленных повреждений осуществлялся в узлах конечно-элементной сетки фрагмента рельса. При этом в расчете принималось, что в каждый момент времени приращение поврежденности не зависит от накопленной поврежденности. В этом случае контактно-усталостная поврежденность, накопленная в i -м узле конечно-элементной сетки, определялась по формуле [11]:

$$Q = \sum_{j=1}^n \frac{1}{N_i(j)}, \quad (3)$$

где $N_i(j)$ — число циклов до появления выкрашивания усталостного характера; n — число циклов нагружения.

При этом в случае $Q = 1$ наступает начало разрушения рельса, другими словами, возникновение выкрашивания рельсов.

В рамках выполнения исследований были также проведены расчеты накопления контактно-усталостных повреждений рельсов на участке пути, содержащем кривую радиусом 650 м. Геометрия кривой обеспечивала движение грузового вагона с нагрузкой 23,5 тс на ось и скоростью 60 км/ч с непогашенным ускорением, близким к нулю (возвышение наружного рельса в кривой составляло 70 мм). При этом рассматривалось накопление контактно-усталостных повреждений в бесстыковой зоне.

Отдельно рассматривалось начало возникновения контактно-усталостных повреждений (выкрашивания) для рельсов, лежащих в кривой, на новых промежуточных рельсовых скреплениях и скреплениях, находящихся в эксплуатации.

Для рельсов на новых рельсовых скреплениях, уложенных в кривой радиусом 650 м, первые повреждения, согласно результатам расчетов, на скреплениях ЖБР-65Ш наступают позже, чем на других типах скреплений (рис. 5).

Надо отметить, что производимая методами имитационного моделирования оценка накопления повреждений в рельсах носит по большей части качественный характер. Это обусловлено принятыми допущениями в моделях накопления повреждений и моделях, описывающих характеристики скреплений.

Наибольшее накопленное повреждение было зарегистрировано на рельсах, лежащих в кривой на новых скреплениях АРС-4. Причем при анализе результатов расчетов накопления контактно-усталостных повреждений рельсов в кривой радиусом 650 м на скреплениях, находящихся в эксплуатации, значения накопленных

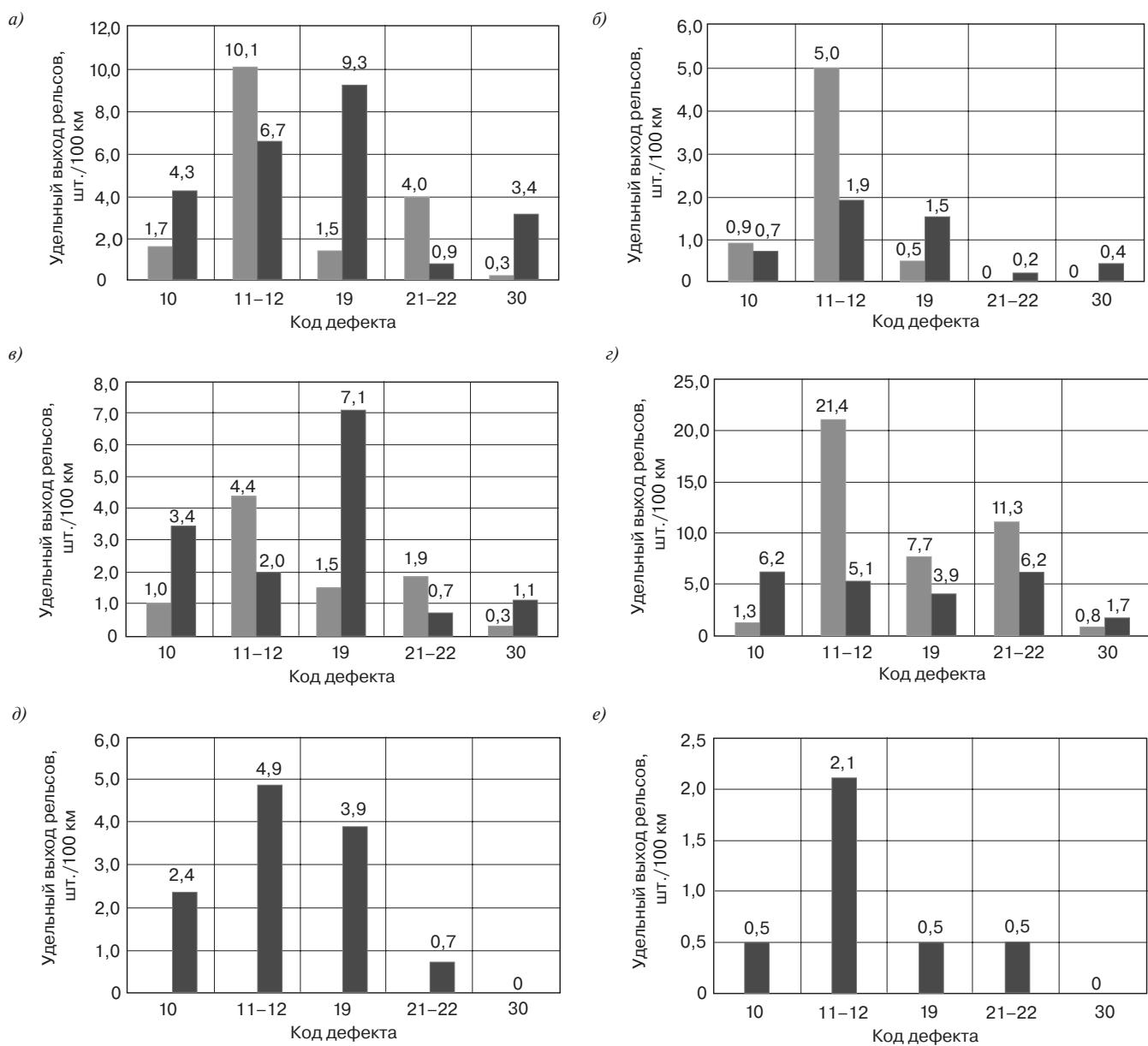


Рис. 4. Удельный выход рельсов на скреплениях различных конструкций:

а – КБ-65: ■ – Восточный полигон; ■ – Западный полигон; б – АРС-4: ■ – Восточный полигон; ■ – Западный полигон;
в – ЖБР-65Ш: ■ – Восточный полигон; ■ – Западный полигон; г – ЖБР-65 ПШМ (П, ПШ, ПШР): ■ – Восточный полигон;
■ – Западный полигон; д – В-30: ■ – Западный полигон; е – ПФК-350: ■ – Западный полигон

Fig. 4. Specific rail shifts on fasteners of various designs:

а – KB-65: ■ – Eastern polygon; ■ – Western polygon; б – ARS-4: ■ – Eastern polygon; ■ – Western polygon;
в – ZhBR-65Sh: ■ – Eastern polygon; ■ – Western polygon; г – ZhBR-65 PShM (P, PSh, PShR): ■ – Eastern polygon;
■ – Western polygon; д – W-30: ■ – Western polygon; е – PFK-350: ■ – Western polygon

повреждений для скреплений APC-4 демонстрировали гораздо более интенсивный рост, чем для других скреплений (рис. 6). Такой результат может свидетельствовать о наличии рисков роста контактно-усталостных повреждений в рельсах с такими скреплениями, лежащих в кривых радиусом 650 м и менее, на грузовых линиях, после пропуска тоннажа 100 млн т брутто.

При этом из рис. 6 видно, что накопление повреждений рельсов в кривых радиусом 650 м после

пропуска 100 млн т брутто начинается позже всего на скреплениях W-30.

Таким образом, результаты расчетов подтверждают целесообразность существующей сферы применения скреплений APC-4 и позволяют предположить возможность расширения сферы рационального применения скреплений W-30.

Другим важным параметром рельсовых скреплений является их жесткость на изгиб. Современные



Рис. 5. Накопление повреждений рельсов в кривой $R=650$ м на новых скреплениях:
1 — APC-4; 2 — ЖБР-65Ш; 3 — ЖБР-65ПШМ; 4 — W-30
Fig. 5. Accumulation of rail damage in the curve $R=650$ m on new fastenings:
1 — ARS-4; 2 — ZhBR-65Sh; 3 — ZhBR-65PShM; 4 — W-30

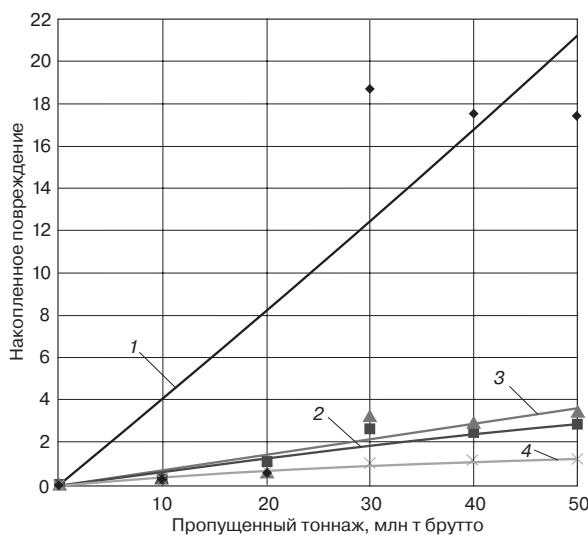


Рис. 6. Накопление повреждений рельсов в кривой $R=650$ м на скреплениях, находящихся в эксплуатации:
1 — APC-4; 2 — ЖБР-65Ш; 3 — ЖБР-65ПШМ; 4 — W-30
Fig. 6. Accumulation of rail damage in the curve $R=650$ m on fasteners in operation:
1 — ARS-4; 2 — ZhBR-65Sh; 3 — ZhBR-65PShM; 4 — W-30

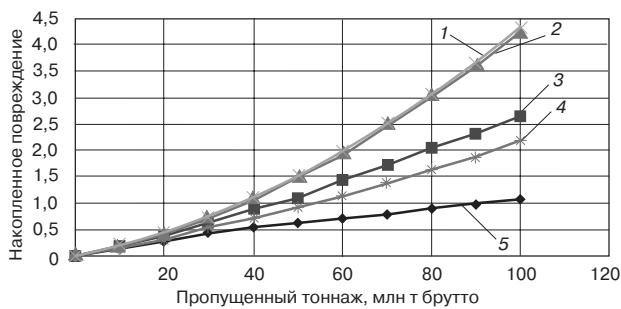


Рис. 7. Влияние изгибной жесткости скреплений ЖБР-65Ш на накопление контактно-усталостных повреждений:
1 — изгибная жесткость $0,07$ МН·м/рад; 2 — изгибная жесткость $0,13$ МН·м/рад; 3 — изгибная жесткость $0,2$ МН·м/рад; 4 — изгибная жесткость $2,5$ МН·м/рад; 5 — изгибная жесткость 5 МН·м/рад
Fig. 7. Influence of bending stiffness of ZhBR-65Sh fasteners on the accumulation of contact-fatigue damage:
1 — bending stiffness 0.07 MN·m/rad; 2 — bending stiffness 0.13 MN·m/rad; 3 — bending stiffness 0.2 MN·m/rad; 4 — bending stiffness 2.5 MN·m/rad; 5 — bending stiffness 5 MN·m/rad

отечественные нормативные документы не нормируют изгибную жесткость скреплений, хотя в зарубежной практике этот параметр имеет свои нормативные значения.

В рамках выполненной работы были проведены расчеты по установлению влияния изменения изгибной жесткости скреплений на контактно-усталостные повреждения рельсов. На рис. 7 представлены зависимости накопления контактно-усталостных повреждений в рельсах от пропущенного тоннажа при различной изгибной жесткости скреплений ЖБР-65Ш. Расчеты показывают, что снижение изгибной жесткости ведет к заметному росту контактно-усталостных повреждений в рельсах.

Наибольший рост контактно-усталостных повреждений был зарегистрирован при изгибной жесткости, равной $0,07$ и $0,13$ МН·м/рад. В [12] указано, что такая изгибная жесткость соответствует затяжке шурупов скрепления ЖБР-65Ш до 50 – 100 Н·м, что является существенным ослаблением по сравнению с нормативной затяжкой, равной 250 Н·м.

Зависимость максимальной накопленной контактно-усталостной поврежденности рельсов от изгибной жесткости рельсовых скреплений ЖБР-65Ш при пропущенном тоннаже 100 млн т брутто представлена на рис. 8.

Из рисунка видно, что имеет место влияние величины изгибной жесткости промежуточных рельсовых скреплений на интенсивность накопления контактно-усталостных повреждений в рельсах. Согласно расчетам при уменьшении изгибной жесткости скреплений контактно-усталостные повреждения в рельсах увеличиваются, причем интенсивность их роста становится больше после преодоления значений изгибной жесткости в 1 МН·м/рад.

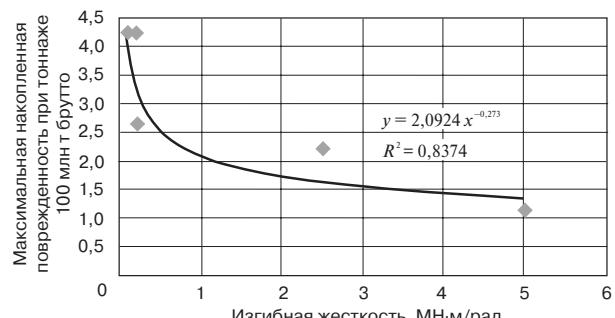


Рис. 8. Зависимость максимальной накопленной контактно-усталостной поврежденности рельсов от изгибной жесткости рельсовых скреплений ЖБР-65Ш при пропущенном тоннаже 100 млн т брутто: y — максимальная накопленная поврежденность; x — изгибная жесткость; R^2 — коэффициент детерминации
Fig. 8. Dependence of the maximum accumulated contact-fatigue damage of rails on the bending stiffness of rail fasteners ZhBR-65Sh with a passed tonnage of 100 million gross tons:
 y — maximum accumulated damage; x — bending stiffness; R^2 — coefficient of determination

Заключение. Результаты выполненных исследований позволяют сделать вывод, что влияние на эксплуатационные причины возникновения и развития дефектов в рельсах и снижение количества ДР и ОДР возможно за счет рационального использования промежуточных рельсовых скреплений и оптимизации значений основных характеристик их конструкции. В частности, тенденция к повышению работоспособности промежуточных рельсовых скреплений за счет роста их вертикальной жесткости должна основываться на оптимальных значениях вертикальной жесткости, превышение которых ведет к снижению срока службы рельсов.

В результате моделирования было установлено, что наименьшие значения накопленных контактно-усталостных повреждений рельсов в кривой радиусом 650 м наблюдаются для скреплений ЖБР-65Ш и W-30. Результатами расчетов подтверждена существующая сфера применения скреплений APC-4 и отмечена возможность расширения сферы рационального применения скреплений W-30 за счет их использования в кривых радиусом до 650 м.

Влияние на процесс накопления контактно-усталостных повреждений в рельсах изгибной жесткости рельсовых скреплений по результатам расчетов является значительным, по этой причине целесообразно дополнить нормативную базу рельсовых скреплений параметром их изгибной жесткости, в том числе национальный стандарт ГОСТ Р 59428–2021 «Скрепление рельсовое промежуточное железнодорожного пути. Общие технические условия», который вводится в действие в сентябре 2021 г. В целом развитие стандартов в области промежуточных рельсовых скреплений должно учитывать жесткость скреплений на кручение и динамическую жесткость, как это реализовано в европейских стандартах.

Необходима переработка существующих сфер рационального применения промежуточных рельсовых скреплений на сети дорог ОАО «РЖД» на основании результатов расчетов, а также стендовых и эксплуатационных испытаний скреплений различных конструкций, проведенных за последние пять лет.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. О сферах рационального применения промежуточных рельсовых скреплений и унификации вариантов комплектации ими железобетонных шпал [Электронный ресурс]: распоряжение ОАО «РЖД» от 28 июня 2018 г. № 1362/р // АСПИЖТ (дата обращения: 13.06.2021 г.).
2. Косарев А.Б., Назаров О.Н. Научная поддержка развития высокоскоростного движения // Железнодорожный транспорт. 2008. № 4. С. 23–26.
3. Обобщение мирового опыта тяжеловесного движения. Управление содержанием системы колесо—рельс / пер. с англ. под. ред. С. М. Захарова. М.: Интекст, 2017. 420 с.
4. ГОСТ 32698–2014. Скрепление рельсовое промежуточное железнодорожного пути. Требования безопасности и методы контроля: межгос. стандарт: введен в действие в качестве нац. стандарта Российской Федерации приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 22 августа 2014 г. № 932-ст: дата введения 2015-03-01. М.: Стандартинформ, 2017. 10 с.
5. ГОСТ 34078–2017. Прокладки рельсовых скреплений железнодорожного пути. Технические условия: межгос. стандарт: введен в действие в качестве нац. стандарта Российской Федерации приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29 июня 2017 г. № 607-ст: дата введения 2018-01-01. М.: Стандартинформ, 2017. 26 с.
6. Ilías H. The influence of railpad stiffness on wheelset/track interaction and corrugation growth // Journal of Sound and Vibration. 1999. Vol. 227 (5). P. 935–948. DOI: <https://doi.org/10.1006/jsvi.1999.2059>.
7. Egana J.I., Vinolas J., Seco M. Investigation of the influence of rail pad stiffness on rail corrugation on a transit system // Wear. 2006. Vol. 261 (2). P. 216–224. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wear.2005.10.004>.
8. Купцов В. В., Грановский А. Н. Уточнение оптимального значения вертикальной жесткости узла рельсовых скреплений на пути с железобетонными шпалами // Труды ВНИИЖТ. М.: Транспорт, 1979. Вып. 616. С. 40–46.
9. Купцов В. В. Универсальное рельсовое скрепление БПУ для железобетонных шпал // Совершенствование конструкции и эксплуатация бесстыкового пути: сб. тр. ВНИИЖТ. М.: Транспорт, 1988. С. 129–135.
10. Захаров С. М., Торская Е. В. Подходы к моделированию возникновения поверхностных контактно-усталостных повреждений в рельсах // Вестник ВНИИЖТ. 2018. Т. 77. № 5. С. 259–268. DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2018-77-5-259-268>.
11. Computer modelling of process of accumulation of rolling contact fatigue damage in railway wheels / V. Sakalo [et al.] // International Journal of Fatigue. 2018. Vol. 111. P. 7–15.
12. Лебедев А. В. Зависимость устойчивости бесстыкового пути от типов промежуточных рельсовых скреплений и условий их эксплуатации: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.06. М., 2007. 117 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

КУЗНЕЦОВА Наталья Владимировна,
старший преподаватель, кафедра «Транспортное строительство»,
РОАТ ФГАОУ ВО «РУТ» (МИИТ)

СИДОРОВА Елена Анатольевна,
канд. техн. наук, научный центр «Путевая инфраструктура
и вопросы взаимодействия колесо—рельс», АО «ВНИИЖТ»

Статья поступила в редакцию 21.06.2021 г., принята к публикации 05.07.2021 г.

Для цитирования: Кузнецова Н. В., Сидорова Е. А. Особенности влияния промежуточных рельсовых скреплений на эксплуатационную стойкость рельсов // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2021. Т. 80. № 4. С. 201–208. DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-4-201-208>.

Features of the influence of intermediate rail fastenings on the operational durability of rails

N. V. KUZNETSOVA¹, E. A. SIDOROVA²

¹ Russian Open Academy of Transport (ROAT) of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Russian University of Transport" (FGAOU VO "RUT" (MIIT)), Moscow, 125315, Russia

² Joint Stock Company Railway Research Institute (JSC "VNIIZHT"), Moscow, 129626, Russia

Abstract. Heat-strengthened rails of the R65 type are the main type of rails used on the railway network of Russian Railways. Reducing the number of cropped and acutely defective rails is possible due to the rational use of the design features of intermediate rail fasteners and their current content.

The article presents study results of the stiffness influence of intermediate fasteners on the operational durability of rails. The general statistics of the use of various types of intermediate rail fastenings on the network of Russian railways is considered. The main results of previously published studies on the effect of the stiffness of intermediate rail fasteners on the accumulation of contact fatigue damage in rails are briefly presented.

Calculations of the accumulation of contact-fatigue damages in rails, carried out by the authors, are based on the data on the vertical and horizontal transverse stiffness of intermediate rail fastenings obtained from the results of bench tests. Calculations of the accumulation of contact-fatigue damage were carried out using the "Universal Mechanism" software package. In the process of modeling, four types of intermediate rail fasteners were considered: ARS-4, ZhBR-65Sh, ZhBR-65PShM and W-30. Calculation results were obtained for a curve with a radius of 650 m on a continuous welded track section.

Keywords: rails; rail fasteners; stiffness; rail contact fatigue damage

DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-4-201-208>

REFERENCES

1. *On the areas of rational use of intermediate rail fastenings and unification of options for completing reinforced concrete sleepers with them.* Order of the JSC Russian Railways dated June 28, 2018 No. 1362/r. ASPIZHT (retrieved on 13.06.2021) (in Russ.).
2. Kosarev A. B., Nazarov O. N. *Nauchnaya podderzhka razvitiya vysokoskorostnogo dvizheniya* [Scientific support for the development of high-speed traffic]. Zheleznodorozhnyy transport, 2008, no. 4, pp. 23–26.
3. *Generalization of the world experience of heavy haul traffic. Maintenance management of the wheel/rail system.* Transl. from English by S. M. Zakharov. Moscow, Intext Publ., 2017, 420 p.
4. GOST 32698–2014. *Rail fastening. Safety requirements and methods of control.* Interstate standard, put into effect as nat. standard of the Russian Federation by order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated August 22, 2014 No. 932-st. Moscow, Standartinform Publ., 2017, 10 p. (in Russ.).
5. GOST 34078–2017. *Rail fasteners pads of railway. Specifications.* Interstate standard, put into effect as nat. standard of the Russian Federation by order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated June 29, 2017 No. 607-st. Moscow, Standartinform Publ., 2017, 26 p. (in Russ.).
6. Ilias H. *The influence of railpad stiffness on wheelset/track interaction and corrugation growth.* Journal of Sound and Vibration, 1999, Vol. 227 (5), pp. 935–948. DOI: <https://doi.org/10.1006/jsvi.1999.2059>.
7. Egana J. I., Vinolas J., Seco M. *Investigation of the influence of rail pad stiffness on rail corrugation on a transit system.* Wear, 2006, Vol. 261 (2), pp. 216–224. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wear.2005.10.004>.
8. Kuptsov V. V., Granovskiy A. N. *Utochnenie optimal'nogo znacheniya vertikal'noy zhestkosti uzla rel'sovykh skrepleniya na puti s zhelezobetonnymi shpalami.* Trudy VNIIZhT [Clarification of the optimal value of the vertical stiffness of the rail fastening unit on the track with reinforced concrete sleepers. Proceedings of VNIIZhT]. Moscow, Transport Publ., 1979, Issue 616, pp. 40–46.
9. Kuptsov V. V. *Universal'noe rel'sovoe skrepelenie BPU dlya zhelezobetonnykh shpal* [Universal rail fastening of BPU for reinforced concrete sleepers]. Sovremenstvovanie konstruktsii i ekspluatatsiya besstykovogo puti. Sb. tr. VNIIZhT [Improvement of the design and operation of continuous welded track. Coll. of works of VNIIZhT]. Moscow, Transport Publ., 1988, pp. 129–135.
10. Zakharov S. M., Torskaya E. V. *Podkhody k modelirovaniyu vozniknoveniya poverkhnostnykh kontaktno-ustalostnykh povrezhdeniy v rel'sakh* [Approaches to modeling the occurrence of surface contact-fatigue damage in rails]. Vestnik VNIIZhT [Vestnik of the Railway Research Institute], 2018, Vol. 77, no. 5, pp. 259–268.
11. Sakalo V., Sakalo A., Tomashevskiy S., Kerentcev D. *Computer modelling of process of accumulation of rolling contact fatigue damage in railway wheels.* International Journal of Fatigue, 2018, Vol. 111, pp. 7–15.
12. Lebedev A. V. *Zavisimost' ustoychivosti besstykovogo puti ot tipov promezhutochnykh rel'sovykh skrepleniya i usloviy ikh ekspluatatsii. Dis. ... kand. tekhn. nauk* [Dependence of the stability of the continuous welded track on the types of intermediate rail fastenings and the conditions of its operation. Cand. tech. sci. diss.]. Moscow, 2007, 117 p.

ABOUT THE AUTHORS

Natal'ya V. KUZNETSOVA,

Senior Lecturer, Department "Transport Construction", ROAT FGAOU VO "RUT" (MIIT)

Elena A. SIDOROVA,

Cand. Sci. (Eng.), Scientific Center "Track Infrastructure and Issues of Wheel-Rail Interaction", JSC "VNIIZhT"

Received 21.06.2021

Accepted 05.07.2021

For citation: Kuznetsova N. V., Sidorova E. A. Features of the influence of intermediate rail fastenings on the operational durability of rails // VNIIZhT Scientific Journal. 2021. 80 (4): 201–208 (In Russ.). DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-4-201-208>.

Компенсация погрешности автомобильных емкостных датчиков уровня топлива при их использовании на специальном самоходном подвижном составе

К. М. ПОПОВ

Акционерное общество «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (АО «ВНИИЖТ»), Москва, 129626, Россия

Аннотация. Потребление дизельного топлива специальным подвижным составом ОАО «РЖД» в год составляет десятки тысяч тонн, и вопрос достоверного учета и контроля его расхода является достаточно актуальным. В настоящее время часть специального самоходного подвижного состава оборудована бортовыми системами измерения расхода топлива, однако на многих единицах данной техники контроль и учет топлива производится в ручном режиме. Массовое внедрение бортовых систем измерения расхода топлива на специальном самоходном подвижном составе сдерживает, с одной стороны, достаточно высокая стоимость топливных датчиков, используемых на локомотивах, с другой — повышенная погрешность относительно недорогих автомобильных емкостных датчиков уровня топлива. В рамках проведенных лабораторных испытаний таких датчиков было определено, что при их работе на топливе одного сорта погрешность соответствует паспортной и находится на уровне 1 %, а при работе на топливе разных сортов без дополнительной повторной калибровки погрешность может достигать 4 % и более. Это во многом связано с упрощенной технологией измерения количества топлива в единицах объема и недостаточной компенсацией изменения плотности дизельного топлива. Для решения указанной проблемы предложена альтернативная штатной технология определения количества топлива с использованием автомобильных емкостных датчиков уровня топлива, при которой задействована однократно полученная в лабораторных условиях зависимость показаний этих датчиков от плотности топлива при стандартной температуре. Предлагаемая технология использования автомобильных емкостных датчиков уровня топлива на специальном самоходном подвижном составе позволит сохранить их относительную приведенную погрешность на уровне 1 % и обеспечит измерение количества топлива в единицах массы.

Ключевые слова: железные дороги; специальный самоходный подвижной состав; измерение параметров количества топлива; плотность топлива; датчики уровня топлива; компенсация погрешности

Введение. Для измерения количества топлива в баках единиц специального самоходного подвижного состава (ССПС) для контроля его количества и последующего учета могут использоваться разные типы датчиков. Важной характеристикой, во многом определяющей решение о выборе того или иного датчика, является его стоимость. Как справедливо отмечено в

[1], для локомотивов применение относительно недорогих автомобильных емкостных датчиков уровня топлива (ДУТ) при существующей технологии определения количества топлива приводит лишь к потере финансовых средств при практическом отсутствии результата. Использование на ССПС топливных датчиков локомотивного типа из-за их довольно высокой стоимости также экономически неоправданно [2–4].

Как указано в [1], относительная погрешность автомобильных емкостных ДУТ по уровню составляет 1–2 % от диапазона измерения датчика, что для автомобильных баков соответствует погрешности по объему топлива порядка 7 л. Топливные баки ССПС по объему хранимого топлива близки к автомобильным, за исключением тяговых модулей. Последние по размерам ближе к локомотивным. Форма и размеры топливных баков для разных серий ССПС заметно отличаются, причем количество этих серий исчисляется десятками. Вполне закономерно возникает вопрос: насколько оправдано использование на ССПС автомобильных емкостных ДУТ, учитывая их невысокую стоимость? Для ответа на этот вопрос необходимо определить, какова может быть погрешность измерения количества топлива в баках ССПС.

Особенности использования автомобильных емкостных ДУТ на ССПС. Емкостные ДУТ представлены на рынке разными производителями, однако их характеристики по стоимости и относительной погрешности (порядка 1 % от диапазона измерения) однотипные. Известен опыт установки таких датчиков на ССПС в составе различных бортовых систем [5–8]. Как правило, ДУТ устанавливается на ССПС через прорезанное в верхнем листе топливного бака отверстие с последующим креплением к этому листу. В отдельных системах на ССПС помимо или вместо ДУТ устанавливают топливные расходомеры, но поскольку они не позволяют производить учет количества топлива в баке, в данной статье они не рассматриваются.

В ОАО «РЖД» разработана соответствующая нормативная база [9–11], однако результаты эксплуатации

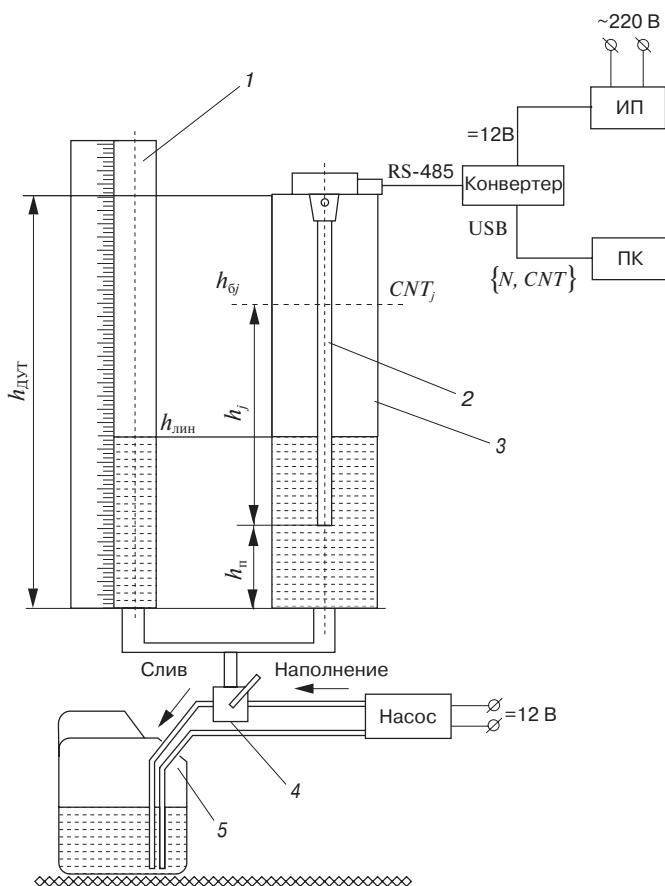


Рис. 1. Схема стенда для испытаний ДУТ:

1 — стеклянная труба с линейкой; 2 — ДУТ; 3 — металлический бачок для датчика; 4 — трехходовой кран; 5 — канистра с топливом;

$h_{\text{дут}}$ — уровень топлива по сигналу ДУТ, приведенный к шкале контрольной линейки уровня; h_{6j} — расчетный уровень заполнения бака топливом; h_j — измеренный уровень ДУТ; h_n — конструктивное расстояние от нижней части ДУТ до дна топливного бака; $h_{\text{лип}}$ — уровень по шкале контрольной линейки; ИП — источник питания; ПК — персональный компьютер; N, CNT — исходные параметры, выдаваемые ДУТ

Fig. 1. Layout of the test bench for the fuel level sensor (FLS):

1 — glass pipe with a ruler; 2 — FLS; 3 — metal tank for the sensor; 4 — three-way valve; 5 — canister with fuel; $h_{\text{дут}}$ — fuel level according to the FLS signal, reduced to the scale of the control level ruler;

h_{6j} — estimated level of filling the tank with fuel; h_j — measured level of the FLS; h_n — constructive distance from the bottom of the FLS to the bottom of the fuel tank; $h_{\text{лип}}$ — level on the control ruler scale; ИП — power supply; ПК — personal computer; N, CNT — initial parameters issued by FLS

ДУТ на ССПС в научных публикациях практически не освещены, в том числе из-за отсутствия массового внедрения ДУТ на ССПС.

При использовании бортовых систем измерения количества топлива важным является учет изменения плотности топлива [12, 13], связанного не только с изменением его температуры, но и сорта. При этом производители автомобильных емкостных ДУТ гарантируют соблюдение относительной погрешности в 1% только при их работе на том топливе, на котором производилась калибровка. Какова будет погрешность

ДУТ при работе с топливом, отличным от того, на котором произведена его калибровка, производители не указывают.

Лабораторные испытания автомобильных емкостных ДУТ. С целью определения возможной погрешности автомобильных емкостных ДУТ при работе с разными сортами топлива в рамках инициативной работы были проведены лабораторные испытания на стенде (рис. 1).

Для установки ДУТ на стенде использовался специальный бачок, позволявший разместить один датчик. Контроль уровня заполнения бачка с установленным в нем ДУТ обеспечивался стеклянной трубкой и расположенной рядом с ней линейкой по ГОСТ 427–75 «Линейки измерительные металлические. Технические условия», т. е. трубка и бачок являлись сообщающимися сосудами. Погрешность при контроле уровня топлива равна половине цены деления шкалы линейки — 0,5 мм.

Подача дизельного топлива в топливную магистраль стенда обеспечивалась бензонасосом с электроприводом. Электрическое питание на насос во время опыта подавалось от нерегулируемого источника питания постоянного тока. Изменение уровня заполнения бачка осуществлялось при помощи трехходового крана. Испытанию были подвергнуты три однотипных датчика массового производства (условно ДУТ № 1, № 2, № 3) с длиной рабочей части 700 мм. При основных испытаниях использовались 2 порции дизельного топлива разных сортов по ГОСТ 305–2013 «Топливо дизельное. Технические условия» с плотностью при стандартной температуре (15 °C) — 844 кг/м³ (далее — летнее) и 827 кг/м³ (далее — зимнее). В опыте по определению зависимости калибровочных настроек ДУТ от плотности помимо упомянутых порций топлива дополнитель-но использовались еще 2 порции с плотностью при стандартной температуре (15 °C) 830 кг/м³ и 833 кг/м³. Плотность и температура топлива определялись ареометром АНТ-1 [14].

Отклонение приведенного уровня ДУТ от уровня по контрольной линейке (погрешность) при обработке результатов испытаний определялось по формуле

$$\Delta h = h_{\text{дут}} - h_{\text{лип}}, \text{мм}, \quad (1)$$

где $h_{\text{дут}}$ — уровень топлива по сигналу ДУТ, приведенный к шкале контрольной линейки $h_{\text{лип}}$ уровня:

$$h_{\text{дут}} = NK_m + h_n, \text{мм}, \quad (2)$$

где N — параметр, регистрируемый ДУТ, пропорциональный заполнению топливом; K_m — отношение разности максимального и минимального значений параметра N к рабочей длине датчика, или масштабный коэффициент; h_n — конструктивное расстояние от

нижней части ДУТ до дна топливного бака (на стенде составляло 95 мм, см. рис. 1).

Характер изменения и величины погрешностей по уровню при работе ДУТ № 1–3 на том же топливе, на котором они были откалиброваны, приведены на рис. 2, а на топливе, отличном от того, на котором они были откалиброваны, — на рис. 3–5.

Из рис. 2 видно, что при работе ДУТ на топливе, на котором произведена калибровка, погрешность измерения уровня при заполнении, близкое к максимальному, составляет 7–8 мм. Приведенная относительная погрешность (1÷1,1%) совпадает с паспортным значением.

При работе ДУТ на топливе, отличном от того, на котором была произведена их калибровка, погрешность для всех ДУТ увеличивается линейно от нижней части ДУТ до верхней и достигает при максимальном заполнении одинаковой величины (+31 мм у ДУТ, калиброванных на зимнем топливе, при работе на летнем, и –23 мм у ДУТ, калиброванных на летнем топливе, при работе на зимнем).

Приведенные относительные погрешности при этом достигают величин +4,4 и –3,3 % соответственно. Отметим, что в первом случае расчетный уровень топлива по ДУТ существенно выше фактического, во втором случае — ниже.

Полученные при использовании разных сортов топлива приведенные относительные погрешности существенно превышают величину 1 %, поэтому необходимо при использовании ДУТ обязательно учитывать сорт топлива. Это соответствует указаниям предприятия-изготовителя.

Однако очевидно, что регулярная калибровка автомобильных емкостных ДУТ в процессе эксплуатации на ССПС практически невозможна, поэтому для их использования необходима компенсация погрешности, возникающей от смены сорта топлива.

Порядок определения количества топлива по показаниям автомобильных емкостных ДУТ на ССПС. Порядок определения объема топлива по показаниям ДУТ согласно технологии предприятия-изготовителя предполагает после его установки на баке получение зависимости заливаемого непосредственно в бак объема топлива V от ранее упомянутого параметра N : $V=f(N)$. При этом для получения N необходимо предварительно провести калибровку ДУТ, определив параметры CNT_{min} , соответствующий емкости конденсатора ДУТ при нулевом уровне топлива в баке, т. е. «0», и CNT_{max} , соответствующий емкости конденсатора ДУТ при заполненном баке, т. е. «max».

При использовании ДУТ необходимо учитывать влияние плотности топлива на их характеристики (погрешность измерения при смене топлива может составлять 3–4 %).

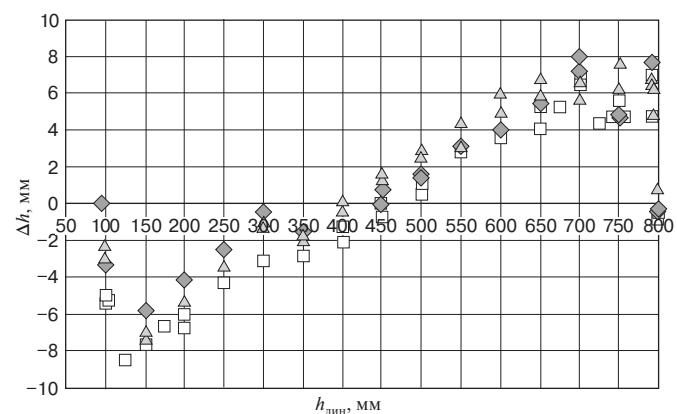


Рис. 2. Погрешность измерения уровня топлива ДУТ при испытаниях на топливе, на котором произведена их калибровка:
 ◆ — ДУТ № 1; □ — ДУТ № 2; △ — ДУТ № 3

Fig. 2. Error in measuring the fuel level of the FLS during tests on the fuel on which they were calibrated:
 ◆ — FLS No. 1; □ — FLS No. 2; △ — FLS No. 3

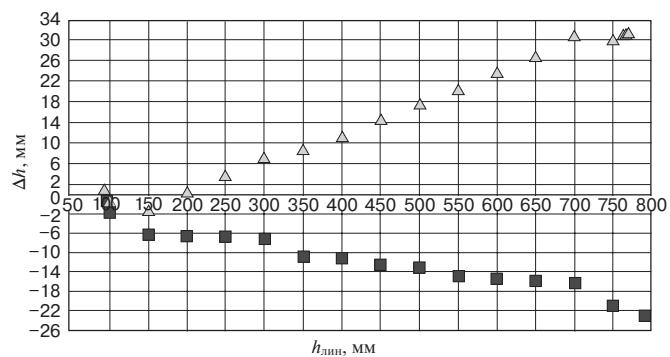


Рис. 3. Погрешность измерения уровня топлива ДУТ № 1 при испытаниях на топливе, отличном от того, на котором произведена его калибровка:
 △ — ДУТ откалиброван на летнем топливе, измерение — на зимнем топливе; ■ — ДУТ откалиброван на зимнем топливе, измерение — на летнем топливе

Fig. 3. Error in measuring the fuel level of FLS No. 1 when tested on fuel different from the one on which it was calibrated:
 △ — FLS is calibrated on summer fuel, measurement — on winter fuel;
 ■ — FLS is calibrated on winter fuel, measurement — on summer fuel

Как ранее указывалось, по технологии предприятия-изготовителя ДУТ потребуется при каждой заливке в бак нового топлива повторная калибровка ДУТ. С целью исключения калибровки ДУТ после каждой экипировки топливом ССПС, а также в связи с тем, что учет топлива должен осуществляться в единицах массы [15], предлагается использовать альтернативную технологию определения количества топлива по показаниям ДУТ, подразумевающую следующий порядок действий:

1. Предварительные операции:

- однократно в лабораторных условиях должна быть получена экспериментальная зависимость изменения CNT_{max} от приведенной к стандартной температуре

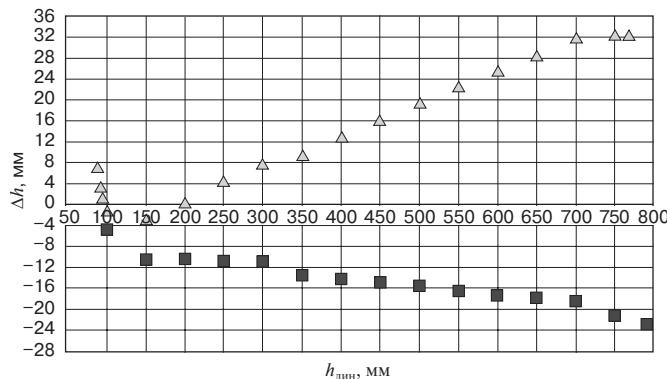


Рис. 4. Погрешность измерения уровня топлива ДУТ № 2 при испытаниях на топливе, отличном от того, на котором произведена его калибровка:

△ — ДУТ откалиброван на летнем топливе, измерение — на зимнем топливе; ■ — ДУТ откалиброван на зимнем топливе, измерение — на летнем топливе

Fig. 4. Error in measuring the fuel level of FLS No. 2 when tested on fuel different from the one on which it was calibrated:

△ — FLS — calibrated on summer fuel, measurement — on winter fuel;
■ — FLS is calibrated on winter fuel, measurement — on summer fuel

плотности топлива $\Delta CNT_{\max} = f(\rho_{15})$, которая в дальнейшем будет использоваться для конкретного ДУТ (образцы такой зависимости, полученные для ДУТ № 2 и № 3 при лабораторных испытаниях для четырех разных образцов топлива, приведены на рис. 6);

• однократно должна быть получена расчетным (при наличии соответствующей документации) или опытным путем зависимость объема топлива в баке от

уровня его заполнения топливом $V_t = f(h_0)$, которая будет использоваться для всех баков данного типоразмера;

• в связи с тем, что каждый ДУТ имеет индивидуальную характеристику параметра CNT , до установки ДУТ на бак на топливе с известной плотностью и температурой определить значения CNT при полностью заполненном (CNT_{\max}) и опорожненном (CNT_{\min}) ДУТ, зафиксировав их в настройках ДУТ (калибровочные значения для данного ДУТ);

• при установке ДУТ на бак должно быть определено конструктивное расстояние от нижней части ДУТ до дна бака;

• в бак, помимо ДУТ, устанавливаемых вертикально и непосредственно измеряющих величину, пропорциональную уровню заполнения бака топливом, устанавливается горизонтально в нижней части бака дополнительный ДУТ (условно — ДУТП), постоянно полностью погруженный в топливо и определяющий величину $CNT_{\max i}$.

2. При эксплуатации ДУТ (определение количества топлива):

• на основе зависимости $\Delta CNT_{\max} = f(\rho_{15})$ определяются значения ΔCNT_{\max} , соответствующие двум значениям плотности топлива: а) калибровочного для данного ДУТ — $\Delta CNT_{\max k}$; б) используемого в текущий момент — $\Delta CNT_{\max i}$;

• определяется отклонение $\Delta CNT_{\max k} - \Delta CNT_{\max i}$, которое в случае, если текущая плотность больше калибровочной, вычитается из калибровочного значения CNT_{\max} данного ДУТ, а в противном случае прибавляется к нему, в результате получаем $CNT_{\max i}$;

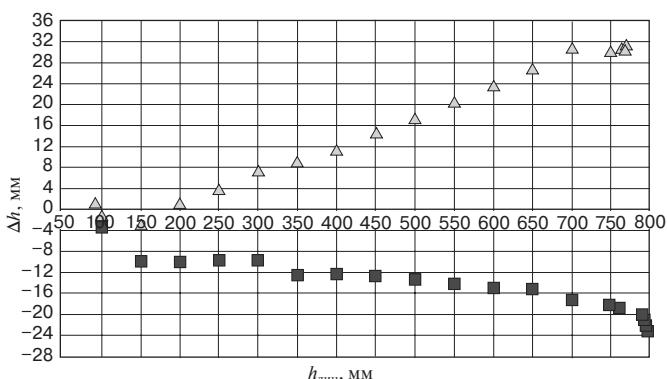


Рис. 5. Погрешность измерения уровня топлива ДУТ № 3 при испытаниях на топливе, отличном от того, на котором произведена его калибровка:

△ — ДУТ откалиброван на летнем топливе, измерение — на зимнем топливе; ■ — ДУТ откалиброван на зимнем топливе, измерение — на летнем топливе

Fig. 5. Error in measuring the fuel level of FLS No. 3 when tested on fuel different from the one on which it was calibrated:

△ — FLS is calibrated on summer fuel, measurement — on winter fuel;
■ — FLS is calibrated on winter fuel, measurement — on summer fuel

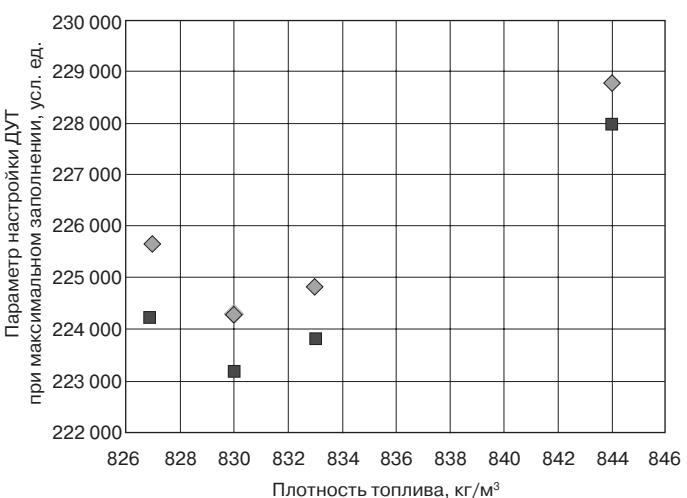


Рис. 6. Зависимость калибровочного параметра ДУТ при максимальном заполнении CNT_{\max} от плотности топлива ρ при стандартной температуре:

■ — ДУТ № 2; ◊ — ДУТ № 3

Fig. 6. Dependence of the FLS calibration parameter at maximum

CNT_{\max} filling on the fuel density ρ at standard temperature:

■ — FLS No. 2; ◊ — FLS No. 3

- на основе имеющихся значений CNT_{\min} и CNT_{\max} определяется текущий (для данного ДУТ при работе на топливе с данной плотностью) коэффициент масштаба по уровню $K_{hi} = h_{\max} / (CNT_{\max} - CNT_{\min})$, где h_{\max} — геометрическая длина ДУТ;
- по текущему значению CNT_j (j -я высота заполнения бака) определяется измеренный уровень $h_j = (CNT_j - CNT_{\min}) K_{hi}$;
- определяется текущий расчетный уровень заполнения бака топливом $h_{bj} = h_j + h_n$;
- по градуировочной характеристике бака $V_t = f(h_6)$ получаем значение объема (при наличии в баке нескольких ДУТ объем по ним усредняется);
- определяется масса топлива косвенным методом [16] как произведение объема топлива V_t и плотности топлива по зависимости $\Delta CNT_{\max} = f(\rho_{15})$ с учетом корректировки плотности по температуре топлива.

Погрешность определения массы топлива в баке при объемно-массовом методе измерения при допущении об отсутствии дополнительной погрешности от градуировки бака можно определить как погрешность произведения двух величин — объема и плотности по формуле

$$\Delta M = \sqrt{V^2 \Delta \rho^2 + \rho^2 \Delta V^2}, \quad (3)$$

где V — измеряемый объем топлива, м^3 ; $\Delta \rho$ — погрешность измерения плотности, $\text{кг}/\text{м}^3$; ρ — плотность топлива, $\text{кг}/\text{м}^3$; ΔV — погрешность измерения объема топлива, м^3 .

Как указано выше, погрешность измерения объема принимается равной погрешности измерения уровня топлива емкостным ДУТ. Поскольку плотность в предлагаемом порядке измерения определяется по показаниям ДУТ, данная погрешность равна погрешности измерения уровня.

Определим ожидаемую погрешность по формуле 3 для измеряемого объема 700 л ($0,7 \text{ м}^3$) и средней плотности топлива 835 $\text{кг}/\text{м}^3$:

$$\Delta M = \sqrt{0,7^2 (835 \cdot 0,01)^2 + 835^2 (0,7 \cdot 0,01)^2} = 8,3 \text{ кг},$$

что составляет 1,4% от измеряемой массы топлива ($0,7 \cdot 835 = 584,5 \text{ кг}$). Такое значение погрешности следует считать минимальным при использовании автомобильных емкостных ДУТ на ССПС.

Выводы. 1. Основной причиной, сдерживающей массовое внедрение систем контроля расхода топлива на ССПС с использованием автомобильных емкостных ДУТ, является упрощенная штатная технология измерения количества топлива в баке, предлагаемая предприятиями-изготовителями ДУТ, при которой при заливке в бак каждой новой порции топлива тре-

буется повторная калибровка датчиков, и обеспечивающая измерение количества топлива в единицах объема при необходимости такого измерения в единицах массы.

2. В результате лабораторных испытаний установлено, что погрешность автомобильных емкостных ДУТ в эксплуатации при штатной технологии измерения количества топлива и отсутствии их калибровки после смены топлива может достигать 3–4% по уровню топлива.

3. Предложенная альтернативная технология измерения количества топлива в баках ССПС с помощью автомобильных емкостных ДУТ позволит повысить точность измерения, компенсировав влияние изменения плотности топлива, и за счет этого снизить ожидаемую погрешность до 1% по уровню, а также обеспечит измерение количества топлива в единицах массы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Игин В.Н., Захватов А.В., Карягин В.И. Автоматизация контроля расхода топлива // Локомотив. 2015. № 2. С. 13–17.
- Сидорова Е.А., Давыдов А.И. Синтез математической модели для нормирования расхода дизельного топлива на специальном самоходном подвижном составе // Символ науки. 2016. № 6. С. 96–99.
- Якубов М.С., Мухамедова З.Г. Анализ и оценка энергетической эффективности специального самоходного подвижного состава железной дороги // Известия Транссиба. 2018. № 4. С. 60–68.
- Моделирование и прогнозирование расхода топлива для специального подвижного состава на ВСЖД / А.А. Лемперт [и др.] // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование / Иркутский гос. ун-т путей сообщения (ИрГУПС). 2011. № 3 (31). С. 96–101.
- Агадуров А.С. Автоматизированная система контроля за работой специального подвижного состава // Бюллетень Объединенного ученого совета ОАО «РЖД». 2016. № 6. С. 29–35.
- Порецкий Н. Контроль со «Спутника» [Электронный ресурс] // Гудок. 2011. 18 октября. URL: <http://www.gudok.ru/newspaper/?ID=692849> (дата обращения: 02.06.2021 г.).
- Контрольно-диагностический комплекс «Портал-СПС-01» [Электронный ресурс] // СКБ «Маяк»: [сайт]. 2014. 23 декабря. URL: <http://www.skb-m.ru/products/43-kontrolno-diagnosticheskij-kompleks-portal-sps-01.html> (дата обращения: 11.06.2021 г.).
- Медяник М. Под контролем у «САДКО» [Электронный ресурс] // Северная магистраль. 2020. Вып. 062. URL: <https://gudok.ru/zdr/179/?ID=1499952> (дата обращения: 11.06.2021 г.).
- Инструкция по учету дизельного топлива на специальном железнодорожном подвижном составе, оборудованном автоматизированными системами учета топлива [Электронный ресурс]: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 27 октября 2014 г. № 2519р // АСПИЖТ (дата обращения: 02.06.2021 г.).
- Методика нормирования, планирования и проведения анализа использования дизельного топлива на ССПС по данным бортовых систем или скоростемерных лент [Электронный ресурс]: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 24 декабря 2015 г. № 3060р // АСПИЖТ (дата обращения: 02.06.2021 г.).
- Методика планирования и нормирования расхода топлива для специального подвижного состава ОАО «РЖД» [Электрон-

ный ресурс]: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 28 декабря 2007 г. № 2464р // АСПИЖТ (дата обращения: 02.06.2021 г.).

12. Мугинштейн Л.А., Молчанов А.И., Попов К.М. Совершенствование системы учета и контроля расхода топлива маневровых тепловозов // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2010. № 1. С. 8–18.

13. Попов К.М. Измерение плотности дизельного топлива при учете его расхода // Локомотив. 2013. № 11. С. 35.

14. ГОСТ 18481–81. Ареометры и цилиндры стеклянные. Общие технические условия: межгос. стандарт: дата введения 1983-01-01. М.: Стандартинформ, 2007. 24 с.

15. Инструкция «Методы, средства и порядок измерения количества нефтепродуктов при товарно-учетных операциях в ОАО «РЖД» [Электронный ресурс]: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 20 августа 2019 г. № 1791р // АСПИЖТ (дата обращения: 02.06.2021 г.).

16. ГОСТ 8.587–2019. Масса нефти и нефтепродуктов. Методики (методы) измерений: межгос. стандарт: введен в действие в качестве нац. стандарта Российской Федерации приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 14 ноября 2019 г. № 1170-ст: дата введения 2020-04-30. М.: Стандартинформ, 2019. 50 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

ПОПОВ Кирилл Михайлович,
канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник, НЦ «ЦМПЭ»,
АО «ВНИИЖТ»

Статья поступила в редакцию 16.06.2021 г., принята к публикации 05.07.2021 г.

Для цитирования: Попов К. М. Компенсация погрешности автомобильных емкостных датчиков уровня топлива при их использовании на специальном самоходном подвижном составе // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2021. Т. 80. № 4. С. 209–215. DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-4-209-215>.

Compensation of the error of automotive capacitive fuel level sensors when using them on special self-propelled rolling stock

К. М. ПОПОВ

Joint Stock Company Railway Research Institute (JSC "VNIIZHT"), Moscow, 129626, Russia

Abstract. Consumption of diesel fuel by the special rolling stock of Russian Railways per year amounts to tens of thousands of tons, and the issue of reliable accounting and control of its consumption is quite urgent. Currently, part of the special self-propelled rolling stock is equipped with on-board systems for measuring fuel consumption, however, in many units of this equipment, fuel control and accounting is carried out in manual mode. Massive introduction of on-board fuel consumption measurement systems on special self-propelled rolling stock is constrained, on the one hand, by the rather high cost of fuel sensors used on locomotives, on the other hand, by the increased error of relatively inexpensive automotive capacitive fuel level sensors. As part of the laboratory tests of such sensors, it was determined that when they operate on fuel of the same grade, the error corresponds to the passport and is at the level of 1%, and when operating on fuel of different grades without additional recalibration, the error can reach 4% or more. This is largely due to the simplified technology for measuring the amount of fuel in units of volume and insufficient compensation for changes in the density of diesel fuel. To solve this problem, an alternative to standard technology for determining the amount of fuel using automotive capacitive fuel level sensors is proposed, in which the dependence of the readings of these sensors on the fuel density at a standard temperature, once obtained in laboratory conditions, is used. Proposed technology of using automotive capacitive fuel level sensors on a special self-propelled rolling stock will allow keeping its relative reduced error at the level of 1% and will provide measurement of the amount of fuel in units of mass.

Keywords: railways; special self-propelled rolling stock; measurement of parameters of the amount of fuel; fuel density; fuel level sensors; error compensation

DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-4-209-215>

REFERENCES

1. Igin V. N., Zakhvatov A. V., Karyanin V. I. Автоматизация контроля расхода топлива [Automation of fuel consumption control]. Lokomotiv, 2015, no. 2, pp. 13–17.

2. Sidorova E. A., Davydov A. I. Синтез математической модели для нормирования расхода дизельного топлива на специальном самоходном подвижном составе [Synthesis of a mathematical model for standardizing the consumption of diesel fuel on a special self-propelled rolling stock]. Symbol of Science, 2016, no. 6, pp. 96–99.

3. Yakubov M. S., Mukhamedova Z. G. Анализ и оценка энергетической эффективности специального самоходного подвижного состава железной дороги [Analysis and assessment of the energy efficiency of special self-propelled rolling stock of the railway]. Journal of Transsib Railway Studies, 2018, no. 4, pp. 60–68.

4. Lempert A. A., Pletneva A. E., Guy F. F., Kazakov A. L. Моделирование и прогнозирование расхода топлива для специального подвижного состава на ВСЖД [Modeling and forecasting of fuel consumption for special rolling stock on the East Siberian Railway]. Modern technologies. System analysis. Modeling. 2011, no. 3 (31), pp. 96–101.

5. Adadurov A. S. Автоматизированная система контроля за рабочий подвижной состав [Automated control system for the operation of special rolling stock]. Byulleten' Ob'edinennogo uchenogo soveta OAO "RZhD" [Bulletin of the Joint Scientific Council of the JSC Russian Railways], 2016, no. 6, pp. 29–35.

6. Poretskiy N. Контроль со "Спутника" [Control from "Sputnik"]. Gudok, 2011, October 18. URL: <http://www.gudok.ru/newspaper/?ID=692849> (retrieved on 02.06.2021).

7. Контрольно-диагностический комплекс "Portal-SPS-01" [Control and diagnostic complex "Portal-SPS-01"]. SKB "Mayak" website, 2014, December 23. URL: <http://www.skb-m.ru/products/43-kontrolno-diagnosticheskij-kompleks-portal-sps-01.html> (retrieved on 11.06.2021).

8. Medyanik M. Под контролем у "САДКО" [Under the control of "SADKO"]. Severnaya magistral', 2020, no. 062. URL: <https://gudok.ru/zdr/179/?ID=1499952> (retrieved on 11.06.2021).

9. Instructions for metering diesel fuel on special railway rolling stock equipped with automated fuel metering systems. Ap-

proved by order of the JSC Russian Railways dated October 27, 2014 No. 2519r. ASPIZHT (retrieved on 02.06.2021) (in Russ.).

10. *Methodology for rationing, planning and analysis of the use of diesel fuel at the SSPS according to the data of on-board systems or speed metering belts*. Approved by order of the JSC Russian Railways dated December 24, 2015 No. 3060r. ASPIZHT (retrieved on 02.06.2021) (in Russ.).

11. *Methods for planning and rationing fuel consumption for special rolling stock of the JSC Russian Railways*. Approved by order of the JSC Russian Railways dated December 28, 2007 No. 2464r. ASPIZHT (retrieved on 02.06.2021) (in Russ.).

12. Muginshteyn L.A., Molchanov A.I., Popov K.M. *Improvement of the system of accounting and control of fuel consumption of shunting diesel locomotives*. Vestnik of the Railway Research Institute, 2010, no. 1, pp. 8–18.

13. Popov K.M. *Izmerenie plotnosti dizel'nogo topliva pri uchete ego raskhoda* [Measurement of the density of diesel fuel while taking into account its consumption]. Lokomotiv, 2013, no. 11, p. 35.

■ E-mail: popov.kirill@vniizht.ru (K. M. Popov)

14. GOST 18481–81. *Glass hydrometers and cylinders. General specifications*. Interstate standard. Moscow, Standartinform Publ., 2007, 24 p. (in Russ.).

15. *Instruction "Methods, means and procedure for measuring the amount of petroleum products during commodity accounting operations at the JSC Russian Railways"*. Approved by order of the JSC Russian Railways dated August 20, 2019 No. 1791r. ASPIZHT (retrieved on 02.06.2021) (in Russ.).

16. GOST 8.587–2019. *Mass of oil and oil products. Measurement procedures*. Interstate standard, put into effect as nat. standard of the Russian Federation by order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology of November 14, 2019 No. 1170-st. Moscow, Standartinform Publ., 2019, 50 p. (in Russ.).

ABOUT THE AUTHOR

Kirill M. POPOV,

Cand. Sci. (Eng.), Leading Researcher, SC "TsMPE", JSC "VNIIZHT"

Received 16.06.2021

Accepted 05.07.2021

For citation: Popov K. M. Compensation of the error of automotive capacitive fuel level sensors when using them on special self-propelled rolling stock // VNIIZHT Scientific Journal. 2021. 80 (4): 209–215 (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-4-209-215>.

ВНИМАНИЮ ЧИТАТЕЛЕЙ!

ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ В АО «ВНИИЖТ»

Центр дополнительного образования (ЦДО) (лиц. № 2329 от 11.08.2016 г.) проводит повышение квалификации и профессиональную переподготовку слушателей по следующим направлениям:

- Анализ, моделирование бизнес-архитектуры и бизнес-процессов, использование процессного подхода в управлении организацией (для руководителей и специалистов)
- Проектирование, изготовление и приемка сварных конструкций железнодорожного подвижного состава, управление качеством в сварке рельсов, проведение аудита сварочного производства
- Построение энергосберегающих графиков движения поездов с использованием автоматизированной системы АПК ЭЛЬБРУС
- Изучение технологии транспортных процессов
- Транспортная логистика
- Изучения принципов построения и функционирования автоматизированной системы контроля за работой специального подвижного состава
- Изучение устройств, диагностики и средств контроля состояния железнодорожного пути
- Эксплуатация, техническое обслуживание и ремонт подвижного состава и устройств электроснабжения

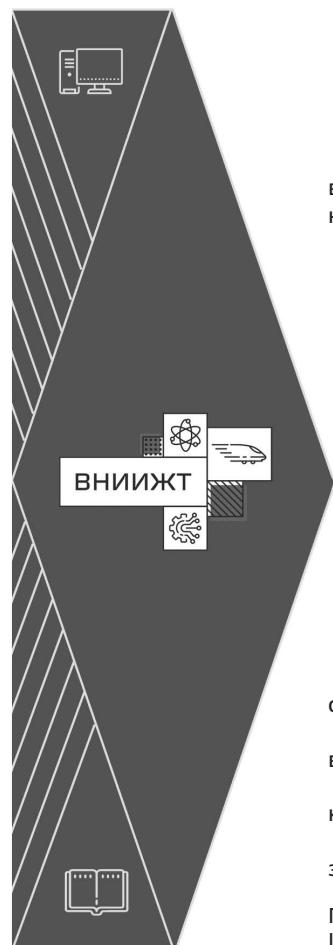
Программы обучения могут быть разработаны по инициативе заказчика с учетом профессиональной деятельности АО «ВНИИЖТ».

Обучение проводится как в очной форме, так и с применением дистанционных образовательных технологий.

По итогам освоения образовательных программ слушателям выдается документ о квалификации государственного образца.

Куратор ЦДО — Пархаев Алексей Александрович, кандидат социологических наук, заместитель Генерального директора по управлению персоналом и социальным вопросам.

По вопросам обучения обращаться по адресу: 129626, г. Москва, 3-я Мытищинская улица, д.10
Центр дополнительного образования. Тел.: +7 (495) 602-81-74, e-mail: shiryeva.oksana@vniizht.ru



Условия работы системы накопления электроэнергии в тяговом электроснабжении постоянного тока однопутных участков железных дорог

В. Л. НЕЗЕВАК

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный университет путей сообщения» (ФГБОУ ВО «ОмГУПС»), Омск, 644046, Россия

Аннотация. Рассматриваются вопросы применения системы накопления электроэнергии в тяговом электроснабжении постоянного тока однопутного участка. Приведен обзор основных направлений отечественных и зарубежных исследований в области применения этих систем для повышения пропускной способности и энергетической эффективности систем электроснабжения. Моделирование работы системы накопления электроэнергии в тяговом электроснабжении основано на расчете графиков нагрузки в границах межподстанционных зон, формируемых в зависимости от условий пропуска поездов и тяговой нагрузки на участке железной дороги. Рассмотрены основные положения метода выбора мест размещения и определения параметров системы накопления электроэнергии в тяговом электроснабжении. На примере одной из межподстанционных зон Свердловской железной дороги показано влияние мощности активного поста секционирования на повышение минимального уровня напряжения на токоприемнике электроподвижного состава. Приведены графики степени заряженности и соответствующие им частотные распределения, позволяющие оценить условия работы системы накопления электроэнергии в зависимости от условий формирования тяговой нагрузки, а также графики нагрузки системы накопления электроэнергии и соответствующие им зарядные характеристики для условий работы на посту секционирования. На примере рассматриваемого участка показана зависимость глубины разряда системы накопления электроэнергии от номинальной энергоемкости. По результатам расчетов выполнена оценка вариантов пропуска пакетов поездов в четном и нечетном направлении в сравнении с графиком исполненного движения. Получен диапазон изменения номинальных значений мощности и энергоемкости системы накопления электроэнергии. Выполнено сравнение параметров системы накопления для однопутных и двухпутных участков железных дорог, в том числе с преобладанием пассажирского движения.

Ключевые слова: тяговое электроснабжение; система накопления электроэнергии; однопутный участок; постоянный ток; пост секционирования; зарядная характеристика; степень заряженности

Введение. Повышение качественных и количественных показателей железных дорог непосредственно связано с ростом скоростей движения, масс составов и объемов грузовых и пассажирских перевозок. Данное обстоятельство для электрифицированных участков железных дорог приводит к росту тяговой нагрузки и

увеличению потерь напряжения и мощности в системе тягового электроснабжения. Для повышения нагрузочной способности устройств и энергетической эффективности системы тягового электроснабжения разрабатываются специальные мероприятия, к числу которых традиционно относят повышение мощности силового оборудования или замену оборудования на аналоги с более высокими технико-экономическими показателями, увеличение сечения тяговой сети, использование специальных устройств и др.

На решение указанных задач ориентировано и применение систем накопления электроэнергии, позволяющих использовать неравномерность графика электротяговой нагрузки и рекуперацию электроподвижного состава для повышения нагрузочной способности и энергетической эффективности системы тягового электроснабжения.

Условия применения систем накопления электроэнергии на различных участках железных дорог отличаются друг от друга, что связано с объемами перевозок и условиями пропуска поездов. При проведении технико-экономической оценки эффективности внедряемого мероприятия исходят из возможности повышения пропускной и провозной способности участка железной дороги за счет повышения нагрузочной способности системы тягового электроснабжения. Расчетные условия формирования электротяговой нагрузки на одно- и двухпутных участках определяют различные параметры системы накопления электроэнергии.

Обзор выполненных исследований. Результаты отечественных и зарубежных исследований в области применения систем накопления электроэнергии на железнодорожном транспорте показывают техническую эффективность данного мероприятия [1–7]. В настоящее время реализован ряд пилотных проектов по созданию автономного гибридного и электрического подвижного состава с использованием различных видов накопителей электроэнергии. Системы накопления электроэнергии нашли применение в тяговом электроснабжении метрополитенов, городского

транспорта, пригородного транспорта разных стран (Китай, Япония, США, Германия, Россия и др.). Техническая эффективность данных систем проявляется в стабилизации уровня напряжения, выравнивании графика нагрузки, повышении эффективности применения рекуперативного торможения, надежности электроснабжения и др. Применение систем накопления электроэнергии на магистральных линиях железнодорожного транспорта в настоящее время сдерживается их стоимостью, большим количеством, связанным со значительной протяженностью электрифицированных путей, и высокими требованиями к энергетическим параметрам.

Анализ зарубежных исследований, выполненных в области влияния систем накопления электроэнергии на показатели работы существующей инфраструктуры, позволяет выделить несколько научных направлений, среди которых следует отметить следующие: доработка схем замещения и методов расчета энергетических показателей [8, 9]; моделирование движения поезда и работы системы тягового электроснабжения для определения энергетических показателей [10–12]; расчеты по укрупненным показателям в условиях моделирования крупных систем и взаимодействия тягового электроснабжения с другими системами электроснабжения, например на основе возобновляемых источников [13–16]; моделирование работы систем накопления с различной топологией и преобразователями; выбор вида накопителя и оценка показателей его работы [17]; оптимизация режимов работы систем накопления [18]; совершенствование методов расчета на основе применения различного математического аппарата [19].

Работа систем накопления электроэнергии рассматривается в различных аспектах: применение в условиях рынка электрической энергии, сетях распределенной генерации, использование энергии рекуперации, применение в качестве бортовых систем электроподвижного состава, выбор мест размещения систем [20–26].

Аналогичные работы в области применения систем накопления электроэнергии были выполнены и российскими исследователями [27–35].

Методика определения параметров системы накопления электроэнергии. Моделирование режимов работы системы накопления основано на построении схемы замещения электроподвижного состава и объектов системы тягового электроснабжения, в том числе системы накопления. Усовершенствованный метод расчета энергетических показателей системы тягового электроснабжения с учетом системы накопления электроэнергии, приведенный в [36], опирается на предложенные порядок расчетов и алгоритмы управления режимами, разработанные на основе дополненных схем замещения.

Определение параметров системы накопления электроэнергии на однопутных участках выполняется

на основе тяговой нагрузки, условия формирования которой отличаются от условий ее формирования для двухпутных участков. Указанные различия обусловлены параметрами системы тягового электроснабжения сравниваемых участков и условиями пропуска электроподвижного состава.

В ряде случаев результаты расчетов по определению параметров устройств системы тягового электроснабжения для пакетной организации движения в условиях пропуска поездов повышенной массы существенно отличаются от действующих условий пропуска поездов на участке. При определении параметров на перспективу данное обстоятельство может привести к выбору системы накопления с избыточными характеристиками.

Применение систем накопления направлено на решение задач по повышению напряжения в контактной сети лимитирующих межподстанционных зон, что позволяет обеспечить заданный уровень пропускной и провозной способности. При выборе мест размещения и параметров систем накопления предлагается использовать методику, включающую следующие этапы.

1. Определение задачи, сбор исходных данных.
2. Проведение тяговых расчетов для заданных условий движения поездов.

Выполнение расчетов производится для условий приведенного профиля пути с указанием мест постоянного ограничения скорости.

3. Выполнение электрических расчетов:
 - а) определение потенциала рекуперации по объектам системы тягового электроснабжения;
 - б) определение особенностей режимов питания межподстанционных зон;
 - в) проведение электрических расчетов для расчетной схемы движения поездов.

Ресурс работы накопителя электроэнергии в системе определяется на основе анализа эпизодичности с учетом пороговых напряжений.

4. Определение энергоемкости, мощности и режимов работы системы накопления [37].
5. Определение вида накопителей электроэнергии для системы и уточнение параметров, в том числе гибридных систем [38].

6. Сравнение показателей для различных вариантов электротяговой нагрузки.

Для повышения энергетической эффективности тягового электроснабжения необходимо обеспечить условия приема избыточной энергии рекуперации.

7. Технико-экономическое сравнение вариантов.

Выбор конкурирующих вариантов размещения устройств при достижении заданных энергетических показателей работы производится на основе укрупненных показателей стоимости системы накопления электроэнергии, в качестве которых используются удельная стоимость мощности и энергоемкости, номинальная энергоемкость.

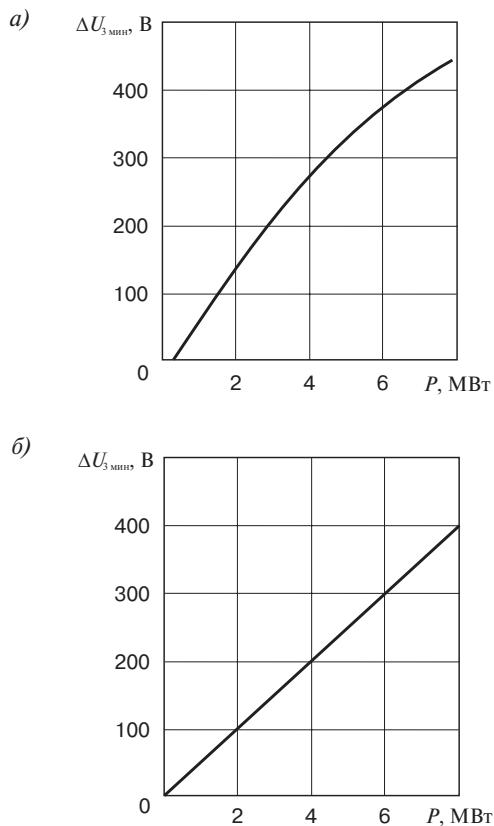


Рис. 1. Изменение приращения напряжения на токоприемнике $\Delta U_{3\min}$ при пропуске пакетов поездов в четном (а) и нечетном (б) направлении в зависимости от мощности системы накопления P

Fig. 1. Change in the voltage increment at $\Delta U_{3\min}$ pantograph when passing train packets in the even (a) and odd (б) direction, depending on the power of the storage system P

Рассмотрение условий работы системы накопления

электроэнергии. Полученные результаты расчетов для условий работы системы накопления электроэнергии для однопутных участков проиллюстрированы на примере однопутного участка Свердловской железной дороги со смешанным движением и преобладанием грузового. Профиль пути в границах рассматриваемого участка относится к четвертому типу, расчетный подъем составляет 9 %. Максимальная масса поезда на расчетном участке составляет 6300 т. Для расчетов принимается график движения с пакетной организацией пропуска поездов.

Влияние мощности активного поста секционирования на напряжение. Преобразование поста секционирования в активный позволяет создать дополнительный источник мощности в границах межподстанционной зоны, который оказывает влияние на показатели нагрузочной работы системы тягового электроснабжения, в частности на уровень напряжения. В качестве примера можно привести зависимость прироста напряжения на токоприемнике для рассматриваемой межподстанционной зоны Свердловской железной

дороги от мощности, размещаемой на посту секционирования (рис. 1).

Мощность, требуемая на посту секционирования для поддержания минимального напряжения на токоприемнике для рассматриваемой межподстанционной зоны, составляет 7,6 МВт, ток разряда $I_{3\min} = 2,3$ кА при принятии порогового напряжения для режима разряда $U_{\text{раз}} = 3300$ В. Номинальная энергоемкость литий-ионной батареи для рассматриваемых условий без учета условий заряда и глубины разряда при принятой кратности токов разряда $2C_n$ составит 3800 кВт·ч.

Аналогичные расчеты для других межподстанционных зон позволяют оценить требуемую мощность, размещаемую на постах секционирования для поддержания уровня минимального напряжения, в диапазоне от 6,3 до 12,5 МВт.

Определение основных показателей работы. Результаты электрических расчетов нагрузки системы тягового электроснабжения позволяют построить графики степени заряженности и соответствующие им частотные распределения для системы накопления для случаев пропуска пакетов поездов в четном и нечетном направлении и для графика исполненного движения (рис. 2). Полученные результаты свидетельствуют о различных условиях работы подобных систем, в графике степени заряженности которых SoC преобладает разряд.

Максимальные токи заряда для номинальной энергоемкости системы на уровне 7000 кВт·ч при преобладании заряда в графике степени заряженности ($\Delta SoC \geq 0$) составляют 1600 А при пропуске пакетов поездов в четном и нечетном направлении (рис. 3, а, б). Для расчета по графику исполненного движения поездов (рис. 3, в) за отчетные сутки требуемая номинальная энергоемкость снижается до уровня 1000 кВт·ч (см. таблицу), а ток заряда — до 100 А (рис. 3, г). Расчет степени заряженности для различных условий накопления позволяет получить зависимость изменения глубины разряда DoD от номинальной энергоемкости для рассмотренного участка при пропуске пакетов поездов в четном и нечетном направлении, а также для графика исполненного движения (рис. 4).

При выборе видов накопителей для системы накопления электроэнергии следует рассматривать электрические и механические накопители, для которых глубина разряда не оказывает критического воздействия на их ресурс работы (10^6 циклов и выше против 10^3 – 10^4 циклов у накопителей на литий-ионных аккумуляторах).

При применении литий-ионных аккумуляторов для системы накопления с учетом ограничения глубины разряда до критического значения (30 %) для рассматриваемого участка номинальная энергоемкость должна быть не менее 2300 кВт·ч, мощность

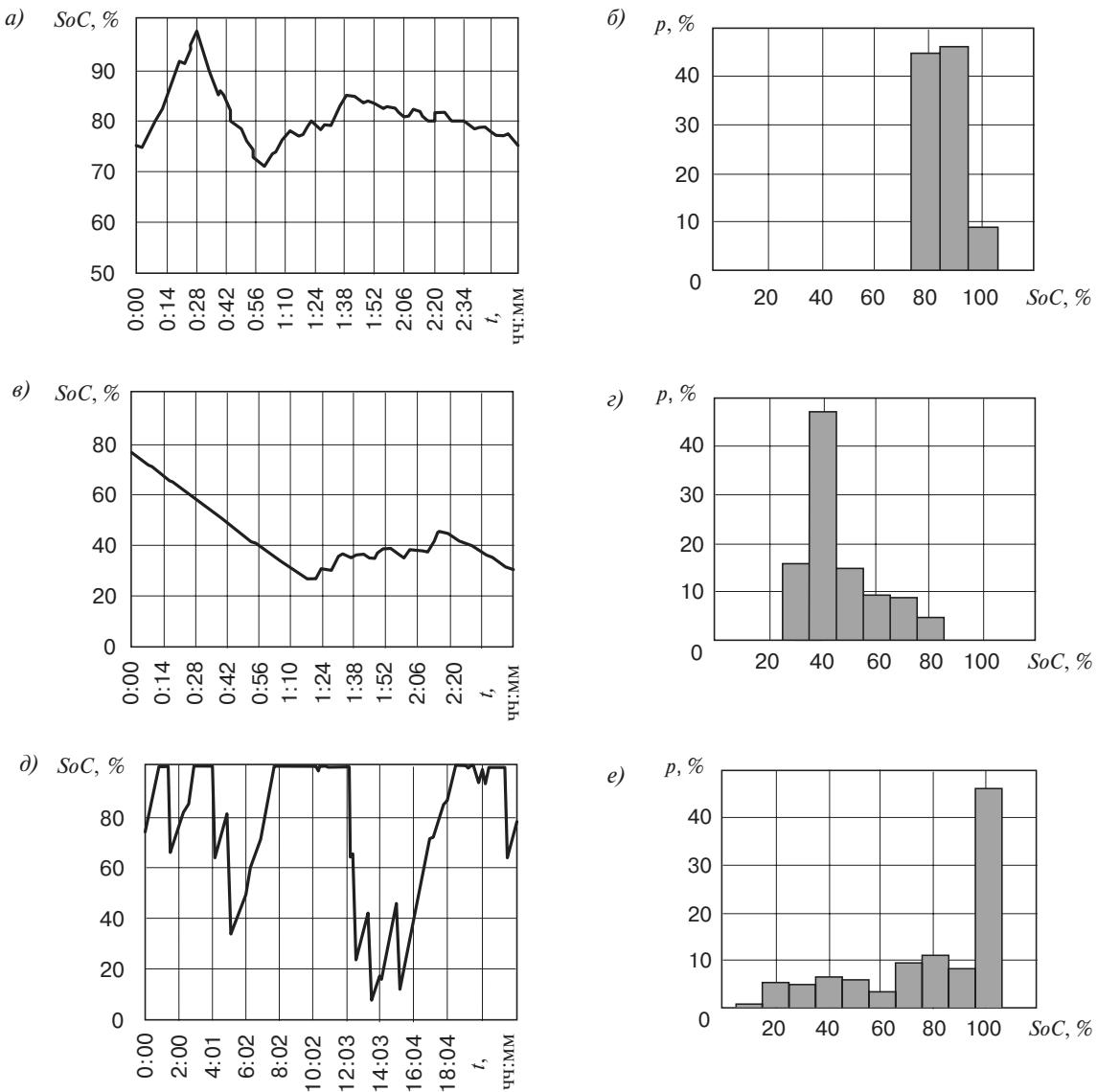


Рис. 2. Графики степени заряженности SoC и соответствующие им частотные распределения p при пропуске пакетов поездов в четном (а, б) и нечетном (в, г) направлении и для графика исполненного движения за сутки (д, е)
 Fig. 2. Graphs of the state of charge of SoC and the corresponding frequency distributions p when passing train packages in the even (a, b) and odd (v, z) direction and for the schedule of the performed train operation per day (d, e)

разряда — не менее 3,2 МВт, заряда — не менее 1,8 МВт. При использовании накопителей другого вида требуемая номинальная энергоемкость падает до уровня 1000 кВт·ч, мощность заряда — 0,36 МВт, разряда — 3,2 МВт.

Параметры системы накопления на посту секционирования для расчетных условий по графику исполненного движения за отчетные сутки приведены на рис. 3 и в таблице.

Характер изменения DoD для однопутных участков аналогичен полученному для двухпутных участков, при этом номинальная энергоемкость $W_{\text{ном}}$ превышает уровень, требуемый для двухпутных участков: 1500 кВт·ч для Октябрьской желез-

ной дороги; 1000 кВт·ч для Свердловской железной дороги; 1200 кВт·ч для Московского центрального кольца.

Результаты расчетов условий работы для системы накопления в условиях однопутного участка железной дороги показывают, что цикличность режимов заряд/разряд составляет для расчетного пакетного пропуска 1,5 цикла/ч, для графика исполненного движения частота смены снижается до 0,3 цикла/ч, что обусловлено более легкими условиями пропуска по сравнению с расчетными. Для условий Московского центрального кольца цикличность составляет менее 0,2 циклов/ч, для условий Октябрьской и Свердловской железных дорог — 2 цикла/ч.

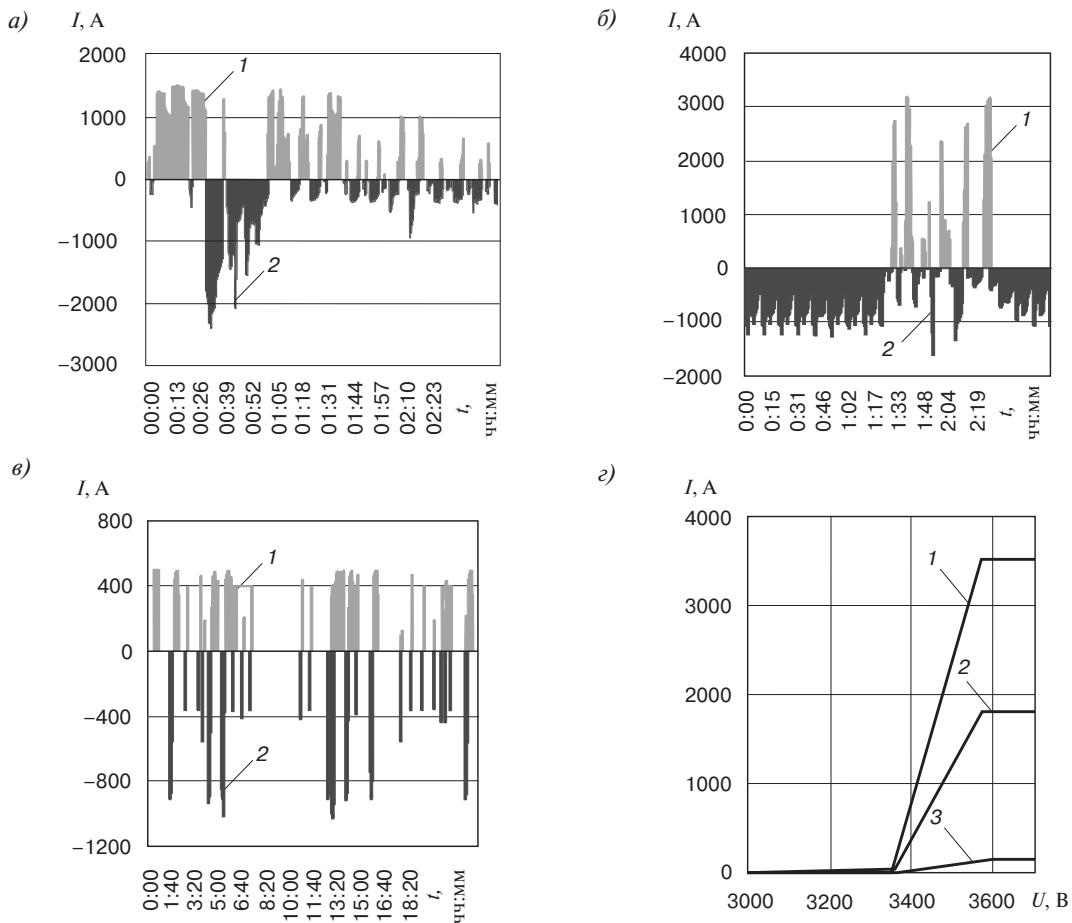


Рис. 3. Нагрузки системы накопления электроэнергии на посту секционирования:
 а — нагрузка при пропуске в четном направлении; б — нагрузка при пропуске в нечетном направлении;
 в — график выполненного движения за сутки: 1 — заряд; 2 — разряд; г — зарядные характеристики:
 1 — четный пакет; 2 — нечетный пакет; 3 — график выполненного движения

Fig. 3. Loads of energy storage systems at the sectioning post:
 а — load when passing in an even direction; б — load when passing in an odd direction;
 в — schedule of the performed train operation per day: 1 — charge; 2 — category; г — charging characteristics:
 1 — even package; 2 — odd package; 3 — schedule of the performed train operation

Параметры системы накопления электроэнергии для условий работы на посту секционирования
Electricity storage system parameters for operating conditions at the sectioning post

Глубина разряда, %	Номинальная мощность, МВт		Номинальная энергоемкость, кВт·ч	Продолжительность, мин		Средняя продолжительность, мин (кол-во эпизодов, ед.)	
	Заряд	Разряд		Заряд	Разряд	Заряд	Разряд
$DoD \leq 30$	1,8	3,2	2300	204,5	87,5	4,6 (44)	3,7 (24)
$DoD > 90$	0,36	3,2	1000	777,0	87,5	16,2 (53)	3,7 (24)

Примечание: Приведенные параметры определены для расчета по графику выполненного движения за сутки.

Note: The above parameters are determined for calculation according to the schedule of the performed train operation per day.

Влияние системы накопления на показатели нагрузочной способности системы тягового электроснабжения однопутных участков постоянного тока при разряде токами $C-rate$, равными $2C_{\text{н}}$, проявляется

при увеличении номинальной мощности на постах секционирования в диапазоне 3,1–5,8 МВт. Реализация зарядных характеристик в периоды минимальных нагрузок приводит к падению напряжения на 400 В и

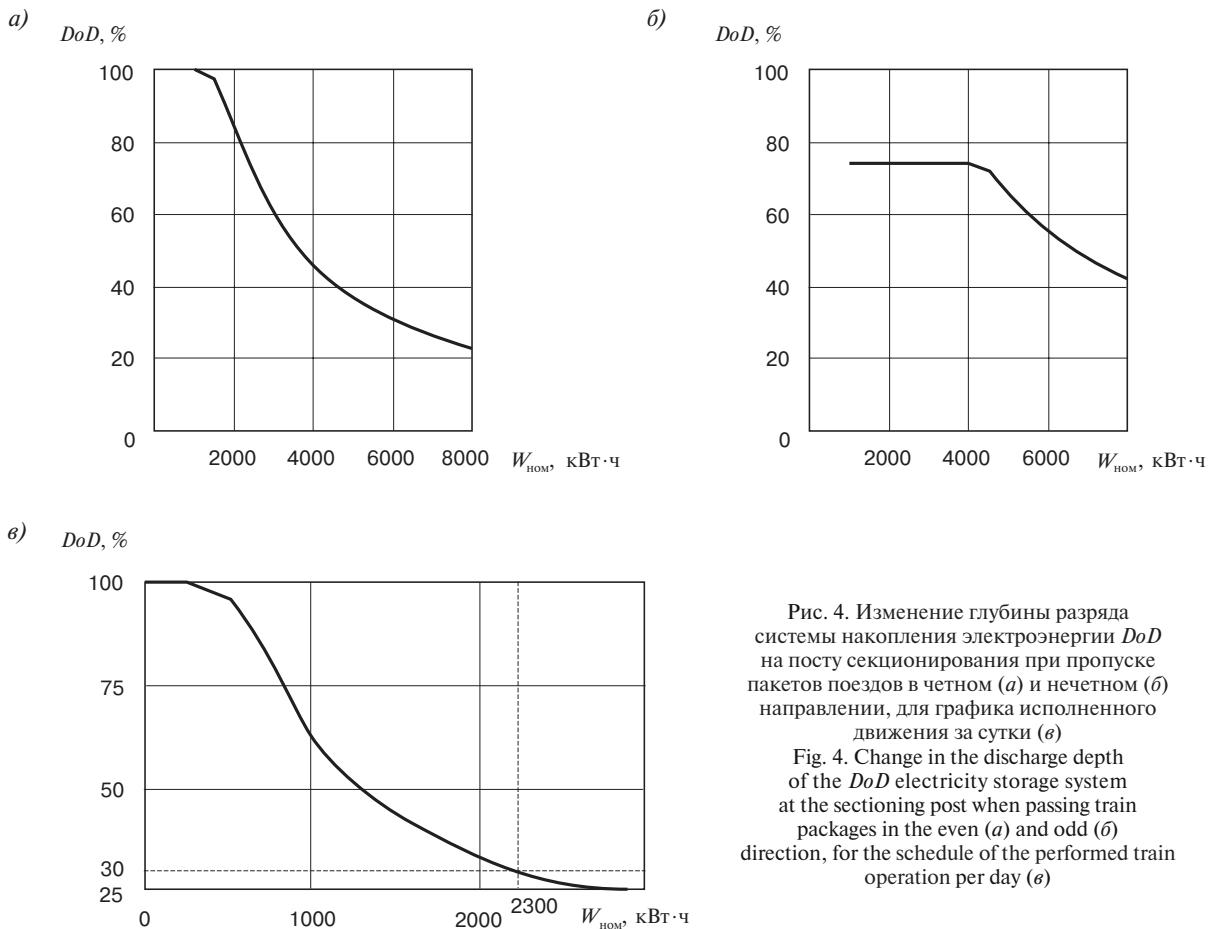


Рис. 4. Изменение глубины разряда системы накопления электроэнергии DoD на посту секционирования при пропуске пакетов поездов в четном (а) и нечетном (б) направлении, для графика исполненного движения за сутки (в)

Fig. 4. Change in the discharge depth of the DoD electricity storage system at the sectioning post when passing train packages in the even (a) and odd (b) direction, for the schedule of the performed train operation per day (c)

обеспечивает поддержание степени заряженности на заданном уровне с преобладанием разряда и последующим восстановлением. Результаты расчетов для графика исполненного движения за отчетные сутки применительно к месту размещения системы на посту секционирования позволяют определить мощность системы накопления на базе литий-ионных аккумуляторов в режиме заряда/разряда не менее 1,8/3,2 МВт, энергоемкость — 2300 кВт·ч. При использовании накопителей, допускающих глубокий разряд, номинальная мощность в режиме заряда/разряда снижается до уровня 0,36/3,2 МВт, энергоемкость — 1000 кВт·ч. Допустимая кратность мощности заряда/разряда определяется предприятием-изготовителем и оказывает влияние на выбор номинальной мощности системы накопления для работы с электротяговой нагрузкой.

Заключение. Сравнение расчетных условий работы системы накопления электроэнергии на однопутных и двухпутных участках при тяговой нагрузке, формируемой при пакетном пропуске поездов, показывает, что в первом случае требуются большие значения номинальной мощности и энергоемкости, обусловленные необходимостью обеспечения ресурса работы электрохими-

ческих накопителей. Применение накопителей других видов позволяет снизить значения этих параметров как для двухпутных, так и для однопутных участков. Существующие условия организации движения на однопутных участках, как правило, отличаются от расчетных условий, что приводит к снижению мощности и энергоемкости, значения которых приближаются к аналогичным параметрам системы накопления электроэнергии для двухпутных участков. В этом случае при проведении технико-экономической оценки следует рассматривать альтернативу литий-ионным аккумуляторам и их аналогам в виде накопителей, глубина разряда которых не оказывает существенного влияния на ресурс работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. A novel energy storage system incorporating electrically rechargeable liquid fuels as the storage medium / H. Jiang [et al.] // Science Bulletin. 2019. Vol. 64. No. 4. P. 270–280.
2. Reliability evaluation of power systems in the presence of energy storage system as demand management resource / H. Yang [et al.] // International Journal of Electrical Power & Energy Systems. 2019. Vol. 110. P. 1–10.
3. Бычкова М.П. Система накопителей электроэнергии для повышения энергоэффективности в метро // Энергосовет. 2011. № 3 (16). С. 74–76.

4. Radu P.V., Drazek Z. Analysis of wayside energy storage devices for DC heavy rail transport // MATEC Web of Conferences. 2018. Vol. 180: 13th International Conference Modern Electrified Transport – MET'2017. P. 1–6. DOI:10.1051/matecconf/201818004001.
5. Tesla Powerpack [Электронный ресурс]. URL: <https://twitter.com/Tesla/status/110712884286226432> (дата обращения: 29.06.2019 г.).
6. Повышение надежности электроснабжения собственных нужд тяговых подстанций метрополитена с помощью накопителей энергии / М.В. Шевлюгин [и др.] // Электротехника. 2020. № 9. С. 26–31.
7. Валинский О.С., Евстафьев А.М., Никитин В.В. Эффективность процессов энергообмена в тяговых электроприводах с бортовыми емкостными накопителями энергии // Электротехника. 2018. № 10. С. 10–14.
8. Fletcher D.I., Harrison R.F., Nallaperuma S. TransEnergy — a tool for energy storage optimization, peak power and energy consumption reduction in DC electric railway systems // Journal of Energy Storage. 2020. Vol. 30. P. 1–10. DOI: 10.1016/j.est.2020.101425.
9. Multi-conductor model for AC railway train simulation / Y. Chen [et al.] // IET Electrical Systems in Transportation. 2016. No. 6. P. 67–75. DOI: 10.1049/iet-est.2013.0052.
10. Development of DC/DC Converter for Battery Energy Storage Supporting Railway DC Feeder Systems / Z. Li [et al.] // IEEE Transactions on Industry Applications. 2016. No. 52 (5). P. 4218–4224. DOI: 10.1109/tia.2016.2582724.
11. Lithium-Ion Battery Storage for the Grid — A Review of Stationary Battery Storage System Design Tailored for Applications in Modern Power Grids / H.C. Hesse [et al.] // Energies. 2017. No. 10. P. 2107. DOI: 10.3390/en10122107.
12. Applications of Lithium-Ion Batteries in Grid-Scale Energy Storage Systems / T. Chen [et al.] // Transactions of Tianjin University. 2020. No. 26. P. 208–217. DOI: 10.1007/s12209-020-00236-w.
13. Rivera-Barrera J.P., Mu oz-Galeano N., Sarmiento-Maldonado H.O. SoC Estimation for Lithium-ion Batteries: Review and Future Challenges // Electronics. 2017. No. 6. P. 102. DOI: 10.3390/electronics6041012.
14. Peak power reduction and energy efficiency improvement with the superconducting flywheel energy storage in electric railway system / H. Lee [et al.] // Physica C: Superconductivity and its Applications. 2013. Vol. 494. P. 246–249. DOI: 10.1016/j.physc.2013.04.033.
15. Research and analysis of a flexible integrated development model of railway system and photovoltaic in China / N. Fuwei [et al.] // Renewable Energy. 2021. Vol. 175. P. 853–867. DOI: 10.1016/j.renene.2021.04.119.
16. Adaptive energy management of a battery-supercapacitor energy storage system for electric vehicles based on flexible perception and neural network fitting / T. Zhu [et al.] // Applied Energy. 2021. Vol. 292. P. 261–271. DOI:10.1016/j.apenergy.2021.116932.
17. Energy storage sizing methodology for mass-transit direct-current wayside support: Application to French railway company case study / A. Ovalle [et al.] // Applied Energy. 2018. Vol. 230. P. 1673–1684. DOI: 10.1016/j.apenergy.2018.09.035.
18. Energy storage systems to exploit regenerative braking in DC railway systems: Different approaches to improve efficiency of modern high-speed trains / M. Ceraolo [et al.] // Journal of Energy Storage. 2018. Vol. 16. P. 269–279. DOI: 10.1016/j.est.2018.01.017.
19. Modelling and simulation of electric urban transportation systems with energy storage / A. Capasso [et al.] // 2016 IEEE 16th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC), Florence, June 7–10, 2016. [S. l.], 2016. P. 425–437. DOI: 10.1109/eeeic.2016.7555480.
20. Lepszy S. Analysis of the storage capacity and charging and discharging power in energy storage systems based on historical data on the day-ahead energy market in Poland // Energy. 2020. Vol. 213. P. 189–198. DOI: 10.1016/j.energy.2020.118815.
21. Mehrjerdi H., Hemmati R. Modeling and Optimal Scheduling of Battery Energy Storage Systems in Electric Power Distribution Networks // Journal of Cleaner Production. 2019. Vol. 316. P. 355–367. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.06.195.
22. The influence of electric vehicle charging strategies on the sizing of electrical energy storage systems in charging hub microgrids / L. Haupt [et al.] // Applied Energy. 2020. Vol. 273. P. 201–212. DOI: 10.1016/j.apenergy.2020.115231.
23. Energy transfer and utilization efficiency of regenerative braking with hybrid energy storage system / W. Zhao [et al.] // Journal of Power Sources. 2019. Vol. 427. P. 174–183.
24. Barrero R., Tackoen X., Mierlo J. Stationary or onboard energy storage systems for energy consumption reduction in a metro network // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part F: Journal of Rail and Rapid Transit. 2010. Vol. 224 (3). P. 207–225.
25. Techno-economic evaluation of transportable battery energy storage in robust day-ahead scheduling of integrated power and railway transportation networks / R. Ebadi [et al.] // International Journal of Electrical Power & Energy Systems. 2021. Vol. 126. P. 251–263. DOI: 10.1016/j.ijepes.2020.106606.
26. Determining the optimum installation of energy storage systems in railway electrical infrastructures by means of swarm and evolutionary optimization algorithms / D. Roch-Dupré [et al.] // International Journal of Electrical Power & Energy Systems. 2021. Vol. 124. P. 311–319. DOI: 10.1016/j.ijepes.2020.106295.
27. Евстафьев А.М. Оценка энергоемкости бортового накопителя энергии для тягового подвижного состава [Электронный ресурс] // Бюллетень результатов научных исследований / ПГУПС. 2018. № 2. С. 7–15. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-energoemosti-bortovogo-nakopitelya-energii-dlya-tyagovogo-podvihnoego-sostava> (дата обращения: 02.10.2019 г.).
28. Шевлюгин М.В., Ермоленко Д.В., Стадников А.Н. Опыт пуска электроподвижного состава при помощи «накопительных» тяговых подстанций на московском метрополитене // Электротехника. 2017. № 11. С. 75–80.
29. Рябцев Г.Г., Желтов К.С. Показатели эффективности конденсаторных накопителей энергии для вагонов метрополитена // Электротехника. 2014. № 8. С. 47–50.
30. Modeling Onboard Energy Storage Systems for Hybrid Traction Drives / O. S. Valinsky [et al.] // Russian Electrical Engineering. 2020. Vol. 91. No. 10. P. 604–608. DOI: 10.3103/S1068371220100119.
31. Буйносов А.П., Дурандин М.Г., Тутынин О.И. Перспективы использования накопителей электрической энергии на моторвагонном подвижном составе // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. 2020. № 4 (48). С. 35–45.
32. Increasing Power Supply Reliability for Auxiliaries of Subway Traction Substations Using Energy Storage Devices / M.V. Shevlyugin [et al.] // Russian Electrical Engineering. 2020. Vol. 91. No. 9. P. 552–556. DOI: 10.3103/S1068371220090114.
33. Titova T.S., Evstaf'ev A. M. Energy efficiency increase of locomotives with energy storage units // Proceedings of Saint Petersburg State Transport University. 2017. Vol. 14. No. 2. P. 200–210.
34. Electric Stock Digital Twin in a Subway Traction Power System / M. V. Shevlyugin [et al.] // Russian Electrical Engineering. 2019. Vol. 90. No. 9. P. 647–652. DOI:10.3103/S1068371219090098.
35. Системы накопления энергии: российский и зарубежный опыт / В. М. Зырянов [и др.] // Энергетическая политика. 2020. № 6 (148). С. 76–87.
36. Незевак В.Л. Имитационная модель системы тягового электроснабжения для определения энергетических показателей в условиях работы систем накопления электроэнергии // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2020. № 3 (67). С. 70–80. DOI: 10.26731/1813-9108.2020.3(67).70-80.
37. Nezevak V., Shatokhin A. Interaction's Simulation Modeling of Electric Rolling Stock and Electric Traction System // 2019 Interna-

tional Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon): coll. of works. [S. l.], 2019. P. 410–416. DOI: 10.1109/URALCON.2019.8877672.

38. Nezevak V., Cheremisin V., Shatokhin A. Electric energy storage units applicability assessment of different kinds in the conditions of Moscow central ring // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2020. Vol. 1115. P. 42–51. DOI: 10.1007/978-3-030-37916-2-5.

Для цитирования: Незевак В. Л. Условия работы системы накопления электроэнергии в тяговом электроснабжении постоянного тока однопутных участков железных дорог// Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2021. Т. 80. № 4. С. 216–224. DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-4-216-224>.

Operating conditions of electric energy storage system in DC traction power supply for single-track sections of railways

V. L. NEZEVAK

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Omsk State Transport University" (FGBOU VO "OmGUPS"), Omsk, 644046, Russia

Abstract. Considered are the issues of using electric energy storage system in the traction power supply of direct current of a single-track section. An overview of the main directions of domestic and foreign research in the field of using these systems to increase the capacity and energy efficiency of power supply systems is given. Modeling the operation of energy storage system in traction power supply is based on the calculation of load graphs within the boundaries of inter-substation zones, formed depending on the conditions for the passage of trains and traction load on the railway section. The main provisions of the method for choosing locations and determining the parameters of energy storage system in traction power supply are considered. On the example of one of the inter-substation zones of the Sverdlovsk railway, the influence of the power of the active sectioning station on the increase in the minimum voltage level at the pantograph of the electric rolling stock is shown. The graphs of the degree of charge and the corresponding frequency distributions are given, which make it possible to evaluate the operating conditions of the electric energy storage system depending on the conditions for the formation of the traction load, as well as the graphs of the load of the electric energy storage system and the corresponding charging characteristics for the operating conditions at the sectioning post. On the example of the section under consideration, the dependence of the discharge depth of the electric energy storage system on the nominal energy intensity is shown. Based on the results of calculations, an evaluation was made of the options for passing train batches in the even and odd direction in comparison with the schedule of the performed train operation. The range of variation of the nominal values of power and energy intensity of the electric energy storage system is obtained. Comparison of the accumulation system parameters for single- and double-track sections of railways, including those with a predominance of passenger traffic, is carried out.

Keywords: traction power supply; energy storage system; single track section; DC; sectioning post; charging characteristic; state of charge

DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-4-216-224>

REFERENCES

1. Jiang H., Wei L., Fan X., Xu J., Shyy W., Zhao T. *A novel energy storage system incorporating electrically rechargeable liquid fuels as the storage medium*. Science Bulletin, 2019, Vol. 64, no. 4, pp. 270–280.
2. Yang H., Zhang Y., Ma Y., Zhou M., Yang X. *Reliability evaluation of power systems in the presence of energy storage system as demand management resource*. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 2019, Vol. 110, pp. 1–10.
3. Bychkova M. P. *Sistema nakopiteley elektroenergii dlya povysheniya energoeffektivnosti v metro* [System of energy storage devices for increasing energy efficiency in the metro]. Energosovet, 2011, no. 3 (16), pp. 74–76.
4. Radu P. V., Drazek Z. *Analysis of wayside energy storage devices for DC heavy rail transport*. MATEC Web of Conferences, 2018, Vol. 180, pp. 1–6. DOI:10.1051/matecconf/201818004001.
5. Tesla Powerpack. URL: <https://twitter.com/Tesla/status/1110712884286226432> (retrieved on 29.06.2019).
6. Shevlyugin M. V. *Povyshenie nadezhnosti elektrosnabzheniya sobstvennykh nuzhd tyagovykh podstantsiy metropolitena s pomoshch'yu nakopiteley energii* [Increasing the reliability of power supply for own needs of metro traction substations using energy storage units]. Elektrotehnika, 2020, no. 9, pp. 26–31.
7. Valinskiy O. S., Evstaf'ev A. M., Nikitin V. V. *Effektivnost' protsessov energoobmena v tyagovykh elektroprivodakh s bortovymi emkostnymi nakopitelyami energii* [Efficiency of energy exchange processes in traction electric drives with onboard capacitive energy storage devices]. Elektrotehnika, 2018, no. 10, pp. 10–14.
8. Fletcher D. I., Harrison R. F., Nallaperuma S. *TransEnergy — a tool for energy storage optimization, peak power and energy consumption reduction in DC electric railway systems*. Journal of Energy Storage, 2020, Vol. 30, pp. 1–10. DOI: 10.1016/j.est.2020.101425.
9. Chen Y., White R., Fella T., Hillmansen S., Weston P. *Multi-conductor model for AC railway train simulation*. IET Electrical Systems in Transportation, 2016, no. 6, pp. 67–75. DOI: 10.1049/iet-est.2013.0052.
10. Li Z., Hoshina S., Satake N., Nogi M. *Development of DC/DC Converter for Battery Energy Storage Supporting Railway DC Feeder Systems*. IEEE Transactions on Industry Applications, 2016, no. 52 (5), pp. 4218–4224. DOI: 10.1109/tia.2016.2582724.
11. Hesse H. C., Schimpe M., Kucevic D., Jossen A. *Lithium-Ion Battery Storage for the Grid — A Review of Stationary Battery Storage System Design Tailored for Applications in Modern Power Grids*. Energies, 2017, no. 10, pp. 2107. DOI: 10.3390/en10122107.
12. Chen T., Jin Y., Lv H., Yang A., Chen B., Liu M., Xie Y., Chen Q. *Applications of Lithium-Ion Batteries in Grid-Scale Energy Storage Systems*. Transactions of Tianjin University, 2020, no. 26, pp. 208–217. DOI: 10.1007/s12209-020-00236-w.
13. Rivera-Barrera J. P., Muñoz-Galeano N., Sarmiento-Maldonado H.O. *SoC Estimation for Lithium-ion Batteries: Review and*

- Future Challenges. *Electronics*, 2017, no. 6, pp. 102. DOI: 10.3390/electronics6040102.
14. Lee H., Jung S., Cho Y., Yoon D., Jang G. *Peak power reduction and energy efficiency improvement with the superconducting flywheel energy storage in electric railway system*. *Physica C: Superconductivity and its Applications*, 2013, Vol. 494, pp. 246–249. DOI: 10.1016/j.physc.2013.04.033.
 15. Fuwei N., Li J., Jing M., Limin J., Zhenwei Y. *Research and analysis of a flexible integrated development model of railway system and photovoltaic in China*. *Renewable Energy*, 2021, Vol. 175, pp. 853–867. DOI: 10.1016/j.renene.2021.04.119.
 16. Zhu T., Wills R., Lot R., Ruan H., Jiang Z. *Adaptive energy management of a battery-supercapacitor energy storage system for electric vehicles based on flexible perception and neural network fitting*. *Applied Energy*, 2021, Vol. 292, pp. 261–271. DOI: 10.1016/j.apenergy.2021.116932.
 17. Ovalle A., Pouget J., Bacha S., Gerbaud L., Vinot E., Soinier B. *Energy storage sizing methodology for mass-transit direct-current wayside support: Application to French railway company case study*. *Applied Energy*, 2018, Vol. 230, pp. 1673–1684. DOI: 10.1016/j.apenergy.2018.09.035.
 18. Ceraolo M., Lutzemberger G., Meli E., Pugi L., Rindi A., Pancari G. *Energy storage systems to exploit regenerative braking in DC railway systems: Different approaches to improve efficiency of modern high-speed trains*. *Journal of Energy Storage*, 2018, Vol. 16, pp. 269–279. DOI: 10.1016/j.est.2018.01.017.
 19. Capasso A., Lamedica R., Ruvio A., Ceraolo M., Lutzemberger G. *Modelling and simulation of electric urban transportation systems with energy storage*. 2016 IEEE 16th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC), Florence, June 7–10, 2016. [S. I.], 2016, pp. 425–437. DOI: 10.1109/eeeic.2016.7555480.
 20. Lepszy S. *Analysis of the storage capacity and charging and discharging power in energy storage systems based on historical data on the day-ahead energy market in Poland*. *Energy*, 2020, Vol. 213, pp. 189–198. DOI: 10.1016/j.energy.2020.118815.
 21. Mehrjerdi H., Hemmati R. *Modeling and Optimal Scheduling of Battery Energy Storage Systems in Electric Power Distribution Networks*. *Journal of Cleaner Production*, 2019, Vol. 316, pp. 355–367. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.06.195.
 22. Haupt L., Schöpf M., Wederhake L., Weibelzahl M. *The influence of electric vehicle charging strategies on the sizing of electrical energy storage systems in charging hub microgrids*. *Applied Energy*, 2020, Vol. 273, pp. 201–212. DOI: 10.1016/j.apener.2020.115231.
 23. Zhao W., Wu G., Wang C., Yu L., Li Y. *Energy transfer and utilization efficiency of regenerative braking with hybrid energy storage system*. *Journal of Power Sources*, 2019, Vol. 427, pp. 174–183.
 24. Barrero R., Tackoen X., Mierlo J. *Stationary or onboard energy storage systems for energy consumption reduction in a metro network*. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, 2010, Vol. 224 (3), pp. 207–225.
 25. Ebadi R., Sadeghi Yazdankhah A., Kazemzadeh R., Mohammadi-Ivatloo B. *Techno-economic evaluation of transportable battery energy storage in robust day-ahead scheduling of integrated power and railway transportation networks*. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 2021, Vol. 126, pp. 251–263. DOI: 10.1016/j.ijepes.2020.106606.
 26. Roch-Dupré D., Gonsalves T., Cucala A. P., Pecharromán R. R., López-López Á. J., Fernández-Cardador A. *Determining the optimum installation of energy storage systems in railway electrical infrastructures by means of swarm and evolutionary optimization algorithms*. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 2021, Vol. 124, pp. 311–319. DOI: 10.1016/j.ijepes.2020.106295.
 27. Evstaf'ev A. M. *Estimation of the energy intensity of an onboard energy storage device for traction rolling stock*. *Bulletin of scientific research results. PGUPS*, 2018, no. 2, pp. 7–15. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-energoemkosti-bortovogo-nakopitelya-energii-dlya-tyagovogo-podvizhnogo-sostava> (retrieved on 02.10.2019) (in Russ.).
 28. Shevlyugin M. V., Ermolenko D. V., Stadnikov A. N. *Experience of starting electric rolling stock using "storage" traction substations on the Moscow metro*. *Elektrotekhnika*, 2017, no. 11, pp. 75–80.
 29. Ryabtsev G. G., Zheltov K. S. *Efficiency indicators of capacitor energy storage for subway cars*. *Elektrotekhnika*, 2014, no. 8, pp. 47–50.
 30. Valinsky O. S., Titova T. S., Nikitin V. V., Evstaf'ev A. M. *Modeling Onboard Energy Storage Systems for Hybrid Traction Drives*. *Russian Electrical Engineering*, 2020, Vol. 91, no. 10, pp. 604–608. DOI: 10.3103/S1068371220100119.
 31. Buynosov A. P., Durandin M. G., Tutynin O. I. *Prospects for the use of electric energy storage units on multi-unit rolling stock*. *Herald of the Ural State University of Railway Transport*, 2020, no. 4 (48), pp. 35–45.
 32. Shevlyugin M. V., Golitsyna A. E., Belov M. N., Pletnev D. S. *Increasing Power Supply Reliability for Auxiliaries of Subway Traction Substations Using Energy Storage Devices*. *Russian Electrical Engineering*, 2020, Vol. 91, no. 9, pp. 552–556. DOI: 10.3103/S1068371220090114.
 33. Titova T. S., Evstaf'ev A. M. *Energy efficiency increase of locomotives with energy storage units*. *Proceedings of Saint Petersburg State Transport University*, 2017, Vol. 14, no. 2, pp. 200–210.
 34. Shevlyugin M. V., Korolev A. A., Golitsyna A. E., Pletnev D. S. *Electric Stock Digital Twin in a Subway Traction Power System*. *Russian Electrical Engineering*, 2019, Vol. 90, no. 9, pp. 647–652. DOI: 10.3103/S1068371219090098.
 35. Armeev D. V., Domakhin E. A., Zyryanov V. M., Kotin D. A. *Energy storage systems: Russian and foreign experience*. *Energy policy*, 2020, no. 6 (148), pp. 76–87.
 36. Nezevak V. L. *Simulation model of a traction power supply system for determining energy indicators in the operating conditions of energy storage systems*. *Modern technologies. System analysis. Modeling*, 2020, no. 3 (67), pp. 70–80. DOI: 10.26731/1813-9108.2020.3(67).70-80.
 37. Nezevak V., Shatokhin A. *Interaction's Simulation Modeling of Electric Rolling Stock and Electric Traction System*. 2019 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon). Coll. of works. [S. I.], 2019, pp. 410–416. DOI: 10.1109/URALCON.2019.8877672.
 38. Nezevak V., Cheremisin V., Shatokhin A. *Electric energy storage units' applicability assessment of different kinds in the conditions of Moscow central ring*. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2020, Vol. 1115, pp. 42–51. DOI: 10.1007/978-3-030-37916-2-5.

ABOUT THE AUTHOR

Vladislav L. NEZEVAK,

Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor, FGBOU VO "OmGUPS"

Received 08.06.2021

Accepted 21.06.2021

For citation: Nezevak V. L. Operating conditions of electric energy storage system in DC traction power supply for single-track sections of railways // ВНИИЖТ Scientific Journal. 2021. 80 (4): 216–224 (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-4-216-224>.

Влияние технического и технологического оснащения пункта технического обслуживания локомотивов на пропускную способность железнодорожной линии

М. И. МЕХЕДОВ, Н. В. КОРНИЕНКО

Акционерное общество «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (АО «ВНИИЖТ»),
Москва, 129626, Россия

Аннотация. Устойчивая работа железнодорожного транспорта имеет определяющее значение в развитии экономики страны. Железнодорожные станции сети ОАО «РЖД» выполняют значительный объем работы по обработке и пропуску поездопотока.

Крупные технические станции на сети ОАО «РЖД» в большинстве случаев располагаются на стыке железных дорог (железнодорожных полигонов), где происходит смена локомотивных бригад, локомотивов, стыкование различных видов тяги (линий, электрифицированных на постоянном и переменном токе).

С развитием полигонных технологий на сети ОАО «РЖД» возникает необходимость в оптимизации процесса управления тяговыми ресурсами для обеспечения стабильного продвижения поездопотока от места его зарождения до места погашения. На технических станциях, имеющих пункты оборота локомотивов, происходит их смена, а также техническое обслуживание (ТО-2) и экипировка.

В статье более подробно рассматривается один из элементов суточного бюджета использования локомотивов — нахождение локомотивов в одном из видов простоя — в пункте технического обслуживания локомотивов. В качестве примера массового обслуживания тяговых ресурсов приводится пункт технического обслуживания локомотивов станции Карымская, где стойла для выполнения ТО-2 являются одним из видов устройств локомотивного хозяйства, по которым определяется наличная пропускная способность участка обращения локомотивов. На основе анализа результатов работы пункта технического обслуживания локомотивов этой станции за 2017 г. разработана методика, которая позволяет, применяя в расчетах минимальный интервал подвода поездов к станции, определять рациональное количество стойл t_{cr} , необходимое для освоения перспективных объемов грузоперевозок и повышения пропускной способности железнодорожных линий.

Ключевые слова: железнодорожная линия; пропускная способность; техническая станция; управление тяговыми ресурсами; бюджет использования локомотивов; интервал прибытия поездов; участковая скорость; пункт технического обслуживания локомотивов

Введение. В последние годы на сети железных дорог получают свое развитие полигонные технологии, которые позволяют управлять парками вагонов, тяговыми ресурсами и процессом ремонта инфраструктуры на значительных по протяженности направлениях

от места зарождения груженого поездопотока до места его погашения.

В статье предлагается рассмотреть более подробно тяговые ресурсы как один из основных факторов, влияющих на пропускную способность железнодорожных полигонов.

Согласно [1] «пропускная способность железнодорожной линии (участка) — наибольшее число поездов (для однопутного участка — пар поездов) установленного веса, которое может быть пропущено в единицу времени (сутки, час) по этому участку при существующей технической вооруженности, принятой системе организации движения поездов и труда работников железных дорог».

Система эксплуатации локомотивов является важным фактором, определяющим расходы на перевозки грузов и влияющим на уровень пропускной способности железнодорожных линий, а также на требуемые капитальные вложения в подвижной состав. С удлинением участков обращения повышается эффективность использования подвижного состава, но вместе с тем усложняется система регулирования локомотивным парком.

Тяговые ресурсы как один из основных факторов, влияющих на пропускную способность железнодорожных полигонов. В [2] определены факторы, негативно влияющие на работу локомотивов при удлинении участков их обращения. К ним были отнесены: степень соответствия мощности тяги профилю пути и весу поезда на всем исследуемом направлении, необходимость дополнительной задержки поездов в пути следования для экипировки локомотивов без отцепки от составов на приемоотправочных путях, нормы пробега между техническими осмотрами и экипировками (если экипировки локомотивов можно еще производить без отцепки их от поездов непосредственно на приемоотправочных путях, то технические осмотры требуют обязательной отцепки локомотивов и пропуска их на тractionные пути), выявляющаяся необходимость иметь в пунктах оборота дополнительный резерв локомотивов при особых длинных участках обращения.

Стабильная работа железнодорожного направления, согласно выводам автора, может быть обеспечена за счет наличия оперативного резерва в пунктах оборота. Речь идет не «о резерве локомотивов, необходимом для покрытия суточной и месячной неравномерности движения... а о дополнительном резерве из-за возникающих трудностей оперативной регулировки локомотивным парком на удлиненных участках обращения» [2, с. 26].

В [3] автор считает, что в условиях суточной неравномерности движения расчет потребности в локомотивах целесообразно вести «аналитическим способом... при помощи которого можно установить средние значения расчетных элементов оборота с учетом изменений, которые вносят колебания как в размеры движения, так и в средние интервалы между поездами, а также других обстоятельств, воздействующих на использование локомотивов... Чтобы правильно учесть влияние различных факторов на величину парка, общую потребность в локомотивах целесообразно разделить на две составные части — основную и дополнительную. Под основной потребностью понимается минимальное число локомотивов, необходимое для обслуживания движения постоянного числа грузовых поездов, следующих с определенной частотой в идеальных условиях, в то время как дополнительная потребность возникает вследствие увеличения простоя локомотивов в пунктах оборота сверх технологических норм» [3, с. 61].

В [4] определена зависимость парка локомотивов от протяженности участков обращения и размеров движения. При работе локомотивов на удлиненных и разветвленных участках обращения из-за различных размеров движения внутри этих участков образуются так называемые накладные тяговые плечи, когда определенное количество тепловозов и электровозов эксплуатируются на внутренних малых кольцах. Среднее количество накладных тяговых плеч на удлиненных участках обращения в значительной степени зависит от числа пунктов пересечки, количество которых обычно возрастает по мере увеличения протяженности участков обращения.

Таким образом, в [4] сделан вывод, что с «удлинением участков обращения значительно усложняется схема работы локомотивов и тем самым затрудняется обеспечение своевременной пересылки локомотивов для вывоза поездов по пунктам оборота и пересечки, а также для постановки на профилактические осмотры и ремонты» [4, с. 16–17]. Из-за сокращения времени нахождения локомотивов на технических станциях уменьшается парк электровозов и тепловозов и одновременно растет дополнительный парк локомотивов, связанный с неточностью регулирования. Анализ представленного в указанной работе

экспериментального графика показал, что при неточном регулировании отсутствие дополнительного парка локомотивов по пунктам оборота вызывает значительное скопление невывезенных составов, что, в свою очередь, приводит к затруднениям в освоении плановых объемов перевозок.

В [5] и позднее в [6, 7] проблема дефицита локомотивов решается за счет ввода сквозных пунктов технического обслуживания локомотивов (ПТОЛ), т. е. пропуска какой-то определенной части локомотивов на незакрепленный участок, чем и компенсируется дефицит.

С развитием полигонных технологий на сети ОАО «РЖД» возникает потребность в оптимизации процесса управления тяговыми ресурсами. На технических станциях, имеющих пункты оборота локомотивов, происходит их смена, техническое обслуживание (ТО-2) и экипировка.

Определение потребного количества стойл для выполнения ТО-2. Во многих ранее проведенных исследованиях рассматривался один из элементов суточного бюджета использования локомотивов — нахождение локомотивов в одном из видов простоя — в ПТОЛ, поскольку одним из устройств локомотивного хозяйства, по которому определяется наличная пропускная способность участка обращения локомотивов как для электротяги, так и для теплотяги, являются стойла для выполнения ТО-2.

В соответствии с [8], а также [9] «расчет числа мест экипировки и ТО-2 локомотивов выполняется по формуле

$$n = \frac{M_{\text{эк}}(t_{\text{эк}} + t_{\text{yc}})}{T_{\text{эк}}} \varphi, \quad (1)$$

где $M_{\text{эк}}$ — число локомотивов, поступающих на экипировку и техническое обслуживание в течение суток; $t_{\text{эк}}$ — продолжительность занятия экипировочной позиции одним локомотивом, мин; t_{yc} — время установки локомотива на позицию, мин; $T_{\text{эк}}$ — суточный фонд рабочего времени позиции ($T_{\text{эк}} = 1440$ мин); φ — коэффициент неравномерности поступления локомотивов на экипировочную позицию, учитывающий одновременность подхода их на экипировку (зависит от графика движения поездов и принимается в пределах 1,2–1,5)» [8, с. 38–39].

В [10] необходимое число стойл для экипировки и технического обслуживания определяется по формуле

$$m_{\text{эк}} = \frac{N_{\text{л}} t_{\text{эк}}^{\text{зан}}}{1440} K_{\text{н}}, \quad (2)$$

где $N_{\text{л}}$ — число локомотивов, поступающих на экипировку за сутки. В это число включаются локомотивы от прибывающих в разборку поездов и локомотивы,

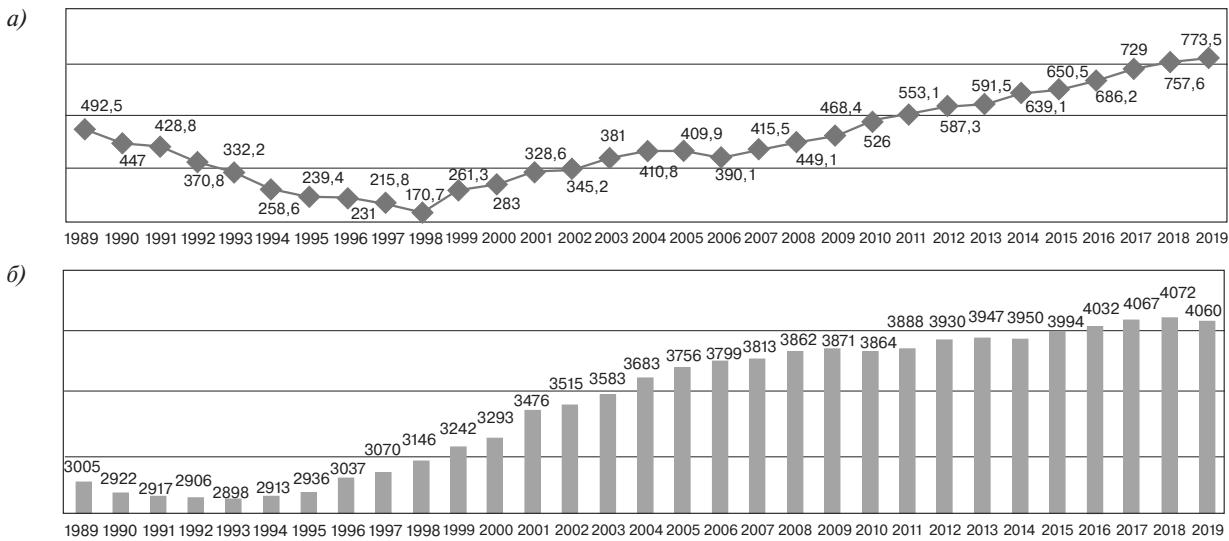


Рис. 1. Динамика грузооборота (а) и среднего веса поезда (б) на Забайкальской железной дороге
Fig. 1. Dynamics of freight turnover (a) and average train weight (b) on the Trans-Baikal railway

выходящие из текущего ремонта и ТО-3; $t_{\text{эк}}^{\text{зан}}$ — продолжительность экипировки и ТО-2 локомотива с учетом времени на его постановку и вывод, $t_{\text{эк}}^{\text{зан}} = 1\text{ч}$; $K_{\text{н}}$ — коэффициент неравномерности поступления локомотивов на экипировку, $K_{\text{н}} = 1,2$.

В [11] величина, характеризующая суточную потребность в устройствах, обеспечивающих заданные размеры движения, определяется как

$$\varphi = \frac{\sum_{i=1}^R M_{\text{сур}_i}^{\text{г}} T_i^{\text{г}} \alpha_{\text{н}}}{m\Phi}, \quad (3)$$

где $i = 1, 2, \dots, R$ — серия локомотивов, обслуживаемых устройством; $M_{\text{сур}_i}^{\text{г}}$ — количество локомотивов i -й серии, поступающих для обслуживания на соответствующее устройство; $T_i^{\text{г}}$ — время занятия позиции рассматриваемого устройства обслуживанием локомотива i -й серии, ч; $\alpha_{\text{н}}$ — коэффициент, учитывающий неравномерность постановки локомотива на обслуживание (устанавливается по результатам обработки статистических данных, с допустимой погрешностью может быть принят 1,2–1,5); m — количество позиций для обслуживания локомотивов, оборудованных на одном пути; Φ — суточный фонд времени работы позиций, занятых выполнением обслуживания локомотивов (при круглосуточной работе равен 24 ч), ч.

Таким образом, в различные временные периоды были рассмотрены методологические подходы по определению необходимого количества стойл, в которых учитывался среднесуточный подход локомотивов для проведения ТО-2, продолжительность занятия экипировочной позиции.

В расчетах в обязательном порядке присутствует коэффициент неравномерности постановки локомо-

тива на обслуживание (поступления на экипировку), который с допустимой погрешностью принимается равным 1,2–1,5 и лишь учитывает одновременность подхода локомотивов на экипировку на основе статистических данных за определенный временной промежуток, но не позволяет точно определить рациональные интервалы прибытия поездов.

Предлагаемая методика по определению количества стойл $m_{\text{ср}}$, необходимого для стабильного пропуска локомотивов, а соответственно, и поездов через станцию, которая выражается функциональной зависимостью между временем занятия стойла локомотивом и минимальным интервалом прибытия поездов на станцию, рассматривается в первом приближении и предполагает более полное раскрытие в последующих статьях.

Пропускная способность ПТОЛ как лимитирующее элемента в организации работы локомотивного парка на примере станции Карымская. Согласно статистическим данным за период с 1989 по 2019 г. (в частности, по Забайкальской железной дороге), прослеживается динамика роста среднесуточного грузооборота, а также среднего веса поезда (рис. 1).

Анализ фактического выполнения участковой скорости на участке Чита–Карымская Забайкальской железной дороги по итогам 2017 г. показал, что ее минимальное значение составило 19,2 км/ч (рис. 2).

Станция Карымская является станцией стыкования участка обращения локомотивов и определена как станция проведения ТО-2.

Время ожидания локомотивов по станции Карымская в среднем составляет 60 % от времени простоя транзитного поезда на станционных путях четного направления (рис. 3).

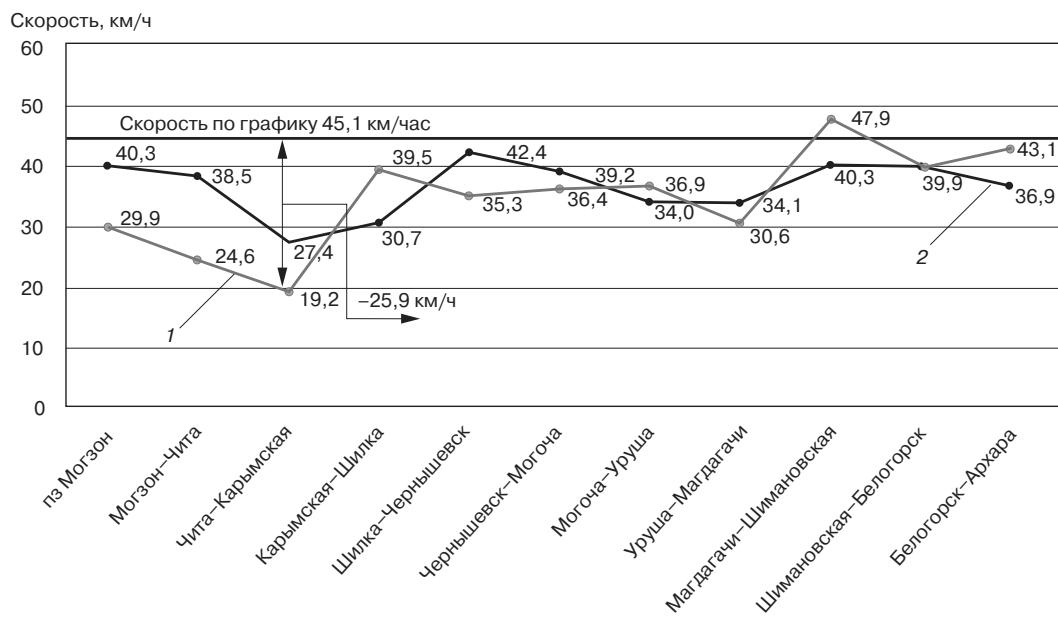


Рис. 2. Среднесуточное выполнение участковой скорости по поездоучасткам главного хода Забайкальской железной дороги по итогам 2017 г.:

1 — четное направление; 2 — нечетное направление

Fig. 2. Average daily performance of section speed on train sections of the main course of the Trans-Baikal Railway according to the results of 2017:

1 — even direction; 2 — odd direction

Одним из лимитирующих элементов в части «ожидание локомотива», существенно влияющим на баланс локомотивов, участковую скорость, и, следовательно, пропускную способность железнодорожной линии, является пропускная способность корпусов ПТОЛ при проведении ТО-2.

Рассмотрим более подробно этот элемент простоя транзитных поездов.

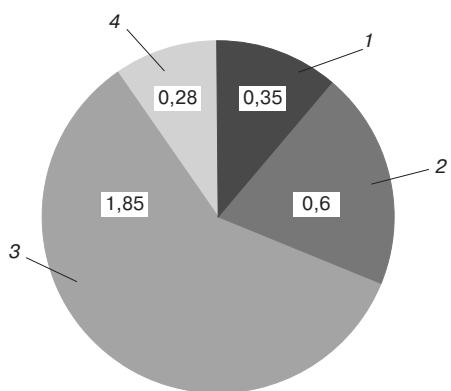


Рис. 3. Время нахождения транзитных поездов на станции Карымская в мае 2017 г.:

1 — ожидание обработки; 2 — ожидание локомотива; 3 — техническая обработка составов; 4 — ожидание отправления

Fig. 3. Time spent by transit trains at the Karymskaya station in May 2017:

1 — waiting for processing; 2 — waiting for the locomotive; 3 — technical processing of the trains; 4 — waiting for departure

Анализируя ключевые факторы, влияющие на стабильный пропуск поездов, можно сделать вывод, что основная доля в простое транзитных поездов приходится на позицию «Ожидание локомотива».

ПТОЛ станции Карымская состоит из трех корпусов.

В корпусе № 1 расположены три стойла (по одному стойлу на каждой из канав) для технического обслуживания локомотивов серий ВЛ80^Р, ВЛ85.

В корпусе № 2 расположены три стойла (по одному стойлу на каждой из канав) для устранения внеплановых неисправностей, проведения ТО-2 маневровым и хозяйственным тепловозам.

В корпусе № 3 расположены четыре стойла (по два стойла на каждой из канав) для технического обслуживания локомотивов серий ВЛ80^С, 3ЭС5К.

Время, установленное на проведение ТО-2 одного локомотива согласно технологии работы, составляет 1,5 ч, при этом 1 ч — время на проведение ТО-2 и 0,5 ч — время следования локомотива от контрольного поста до захода в ПТОЛ для проведения технологического обслуживания («от КП до ТО-2»).

Пропускная способность ПТОЛ $M_{\text{ПТОЛ}}$ зависит от количества ремонтных стойл и времени занятия ремонтного стойла при проведении технологических операций в объеме ТО-2.

Данная зависимость выражается как

$$M_{\text{ПТОЛ}} = \frac{1440 m_{\text{ct}}}{t_{\text{ct}}^{\text{зан}}}, \quad (4)$$

где 1440 — суточный фонд рабочего времени позиции, мин; m_{ct} — количество ремонтных стойл на ПТОЛ, ед.; $t_{\text{ct}}^{\text{зан}}$ — время занятия локомотивом стойла при проведении ТО-2, мин.

Рассчитаем пропускную способность ПТОЛ:

$$\text{для корпуса № 1: } M_{\text{ПТОЛ}} = \frac{1440 \cdot 3}{60} = 72 \text{ локомотива;}$$

$$\text{для корпуса № 3: } M_{\text{ПТОЛ}} = \frac{1440 \cdot 4}{60} = 96 \text{ локомотивов.}$$

Для корпуса № 2 необходимость в расчетах отсутствует, так как он специализирован под проведение внеплановых ремонтов электровозов.

Согласно приведенным расчетам пропускная способность основных корпусов составляет 72 локомотива в корпусе № 1 и 96 локомотивов в корпусе № 3, при этом резерв пропускной способности в корпусе № 1 составляет 10–17%, а в корпусе № 3 — 25–38%.

На рис. 4 представлены диаграммы распределения времени оборота «от КП до ТО-2» в процентном соотношении по итогам 2017 г. По данным статистики, 78,8% электровозов ожидали освобождения стойла более 0,5 ч, у 41,6% локомотивов — более 1 ч. Средний простой электровозов в рассматриваемый период составил 1 ч.

Условный график работы технической станции. Для оценки влияния технико-технологических параметров ПТОЛ на стабильность пропуска поездов через станцию рассмотрим условный график работы технической станции (рис. 5).

Для каждого из направлений на станции специализировано по три пути, а на ПТОЛ — по одному стойлу.

Технологическое время оборота локомотива составляет 50 мин, при этом 30 мин заложено на проведение ТО-2.

Установленные размеры движения — 72 поезда в сутки, технологическая стоянка поезда принимается равной 50 мин (заность пути с учетом времени на прием и отправление поездов — 60 мин).

Пропускная способность условного ПТОЛ составит

$$M_{\text{ПТОЛ}} = \frac{1440 \cdot 1}{30} = 48 \text{ локомотивов.}$$

Пропускная способность приемоотправочных путей определяется по формуле

$$N_{\text{поп}} = \frac{1440 n_{\text{поп}}}{t_{\text{зан}}^{\text{ст}}} = \frac{1440 \cdot 3}{60} = 72 \text{ поезда,} \quad (5)$$

где $n_{\text{поп}}$ — количество приемоотправочных путей; $t_{\text{зан}}^{\text{ст}}$ — продолжительность занятия станционных путей, мин.

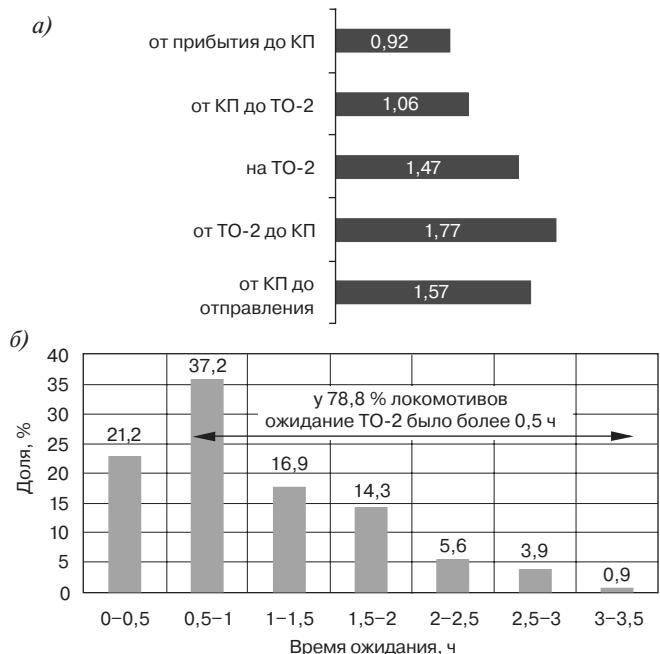


Рис. 4. Распределение оборота локомотива по показателям (а) и показателем «от КП до ТО-2» в зависимости от времени ожидания (б)
Fig. 4. Distribution of locomotive turnover by indicators (a) and “from KP to TO-2” indicator depending on the waiting time (b)

При этом время оборота локомотива складывается из трех элементов:

$$t_{\text{об}} = t_{\text{приб до ТО-2}} + t_{\text{ТО-2}} + t_{\text{от ТО-2 до отпр}}, \quad (6)$$

где $t_{\text{приб до ТО-2}}$ — время от прибытия локомотива с поездом до постановки на ТО-2 («от прибытия до ТО-2»), мин; $t_{\text{ТО-2}}$ — время на проведение ТО-2, мин; $t_{\text{от ТО-2 до отпр}}$ — время от окончания ТО-2 до отправления локомотива с поездом, мин.

Для приведенного примера время $t_{\text{приб до ТО-2}}$ равно 10 мин, время $t_{\text{ТО-2}}$ — 30 мин, время $t_{\text{от ТО-2 до отпр}}$ — 10 мин.

Обратимся к условному графику. Локомотив от первого поезда № 2002 отцепляется и заходит в корпус ПТОЛ, проходит ТО-2, подводится под поезд № 2001 и отправляется со станции без задержек. Оборот локомотива № 1 и время стоянки поезда № 2001 составили 50 мин. Поезд № 2004 без задержек прибывает на путь № 2, локомотив № 2 отцепляется от поезда, заходит на тяговую территорию и ожидает подачи под ТО-2 10 мин, проходит ТО-2, подводится под поезд № 2003, который был задержан также на 10 мин в ожидании локомотива, и его стоянка составила 60 мин. Задержка локомотива № 3 из-за ожидания освобождения ремонтного стойла составила 20 мин с задержкой поезда № 2005 на 20 мин. Все следующие локомотивы и поезда задержаны по данной причине на 30 мин. Начиная с поездов № 2009 и № 2010 допускается ожидание

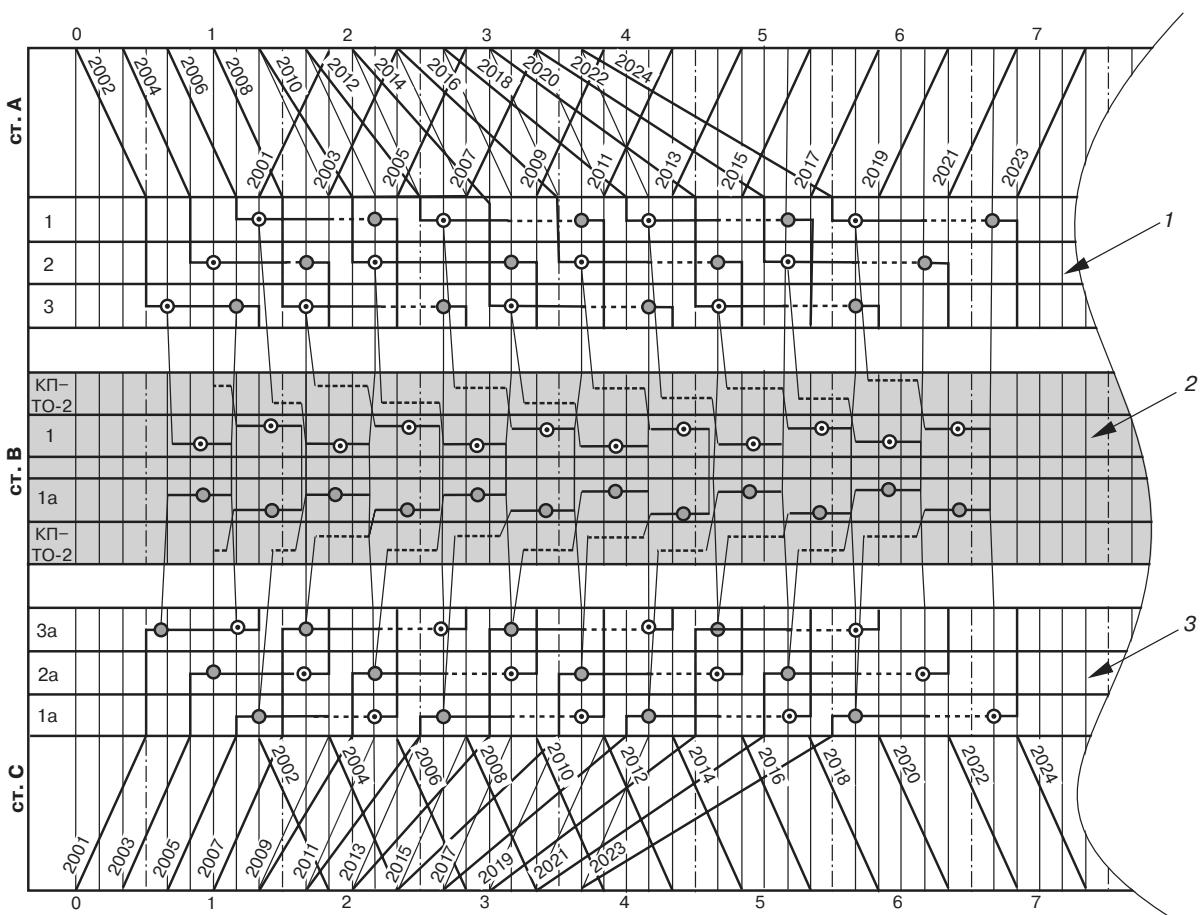


Рис. 5. Условный график работы технической станции:

1 — четный парк; 2 — тяговая территория; 3 — нечетный парк;

— выполнение технологических операций; ----- — ожидание технологических операций

Fig. 5. Conditional work schedule of the technical station:

1 – even park; 2 – traction area; 3 – odd park;

— performance of technological operations; ----- waiting for technological operations

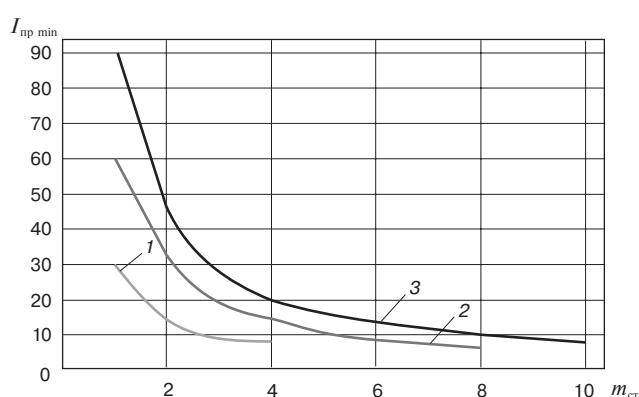


Рис. 6. Номограмма для определения минимального интервала прибытия поездов на станции смены локомотивов $I_{np\ min}$ в зависимости от количества стоял m_{cr} и длительности проведения ТО-2 (30, 60 и 90 мин — кривые 1, 2 и 3 соответственно)

Fig. 6. Nomogram for determining the minimum interval of trains arrival at the locomotive change station $I_{np\min}$ depending on the number of stalls m_{cr} and the duration of TO-2 (30, 60 and 90 minutes — curves 1, 2 and 3, respectively)

поездами приема на станцию из-за занятости приемоотправочных путей

Следовательно, оборот локомотива на условной станции увеличивается и определяется как

$$t_{-5} \equiv t_{-w_5} + t_{w_2} + t_{-w_2} + t_{-w_3} + \dots + t_{-w_r}, \quad (7)$$

где $t_{\text{доп}}$ — время, связанное с нетехнологическими потерями (ожиданием технологических операций), мин.

Функциональная зависимость между количеством стойл, временем занятия их локомотивами и минимальным интервалом прибытия поездов. На рис. 6 приведена номограмма расчета минимального интервала прибытия поездов на станцию смены локомотивов в зависимости от количества стойл и длительности проведения ТО-2.

Для локомотивов восточного участка минимальный интервал прибытия четных поездов составит

$$I_{\text{пп min}} = \frac{t_{\text{ст}}^{\text{зан}}}{m} = \frac{60}{4} = 15 \text{ мин.} \quad (8)$$

Для локомотивов западного участка минимальный интервал прибытия нечетных поездов составит

$$I_{\text{пп min}} = \frac{t_{\text{ст}}^{\text{зан}}}{m_{\text{ст}}} = \frac{60}{3} = 20 \text{ мин.} \quad (9)$$

Таким образом, на работу железнодорожных станций, полигонов существенно влияет технико-технологическое оснащение ПТОЛ. Представленная в статье методика расчета в дальнейшем будет расширена для вариантов (сценариев) технологии эксплуатации локомотивов. Варианты повышения пропускной способности ПТОЛ в периоды пиковой нагрузки за счет определения баланса между потерями поездо-часов из-за ожидания локомотивами освобождения стойл для проведения ТО-2 и величиной капитальных затрат на сооружение дополнительной стойловой позиции (позиций), а также затратами на содержание дополнительных бригад ремонтного персонала предполагается рассмотреть в будущих публикациях.

Полученную функциональную зависимость между количеством стойл, временем их занятия и минимальным интервалом прибытия поездов можно варьировать параметрами технического оснащения и технологией работы ПТОЛ и, как следствие, выбирать рациональные интервалы прибытия поездов на станцию.

Для ускорения обработки локомотивов на ПТОЛ следует ликвидировать или максимально сократить ожидание начала осмотра за счет повышения пропускной способности пункта путем увеличения количества стойл при минимальном фиксированном времени их занятия.

Количество стойл, необходимое для стабильного пропуска локомотивов, можно определить следующей зависимостью:

$$m_{\text{ст}} = \sum_{i=1}^n \frac{t_{\text{ст}}^{\text{зан}}}{I_{\text{пп min}}}. \quad (10)$$

Выводы. На станциях стыкования колец обращения локомотивов одним из ключевых элементов, влияющих на пропускную способность станции и в целом железнодорожного полигона, является ПТОЛ. Для обеспечения устойчивого пропуска грузового поездопотока необходимо менять подходы к определению достаточного количества стойл для проведения локомотивам технического обслуживания в объеме ТО-2.

Для цитирования: Мехедов М.И., Корниенко Н.В. Влияние технического и технологического оснащения пункта технического обслуживания локомотивов на пропускную способность железнодорожной линии // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2021. Т. 80. № 4. С. 225–232. DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-4-225-232>.

Предложенная методика позволяет, применяя в расчетах минимальный интервал подвода поездов к станции, определять рациональное количество стойл ПТОЛ, необходимое для освоения перспективных объемов грузоперевозок и повышения пропускной способности железнодорожных линий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инструкция по расчету наличной пропускной способности железных дорог [Электронный ресурс]: утв. ОАО «РЖД» от 10 ноября 2010 г. № 128. URL: http://www.consultant.ru/law/zheleznodorozhnyj_transport (дата обращения: 09.04.2021 г.).
2. Тихонов К.К. Выбор оптимальной длины участков обращения локомотивов // Труды МИИТ. М.: МИИТ, 1963. Вып. 168. С. 5–93.
3. Угрюмов А.К. Неравномерность движения поездов. М.: Транспорт, 1968. 112 с.
4. Некрашевич В.И., Бархатный В.Д., Крюков Н.Д. Выбор границ участков обращения локомотивов и нормирование контингента локомотивных бригад. М.: Транспорт, 1973. 127 с.
5. Айзинбунд С.Я., Кельперис П.И. Эксплуатация локомотивов. М.: Транспорт, 1980. 248 с.
6. Некрашевич В.И., Апатцев В.И. Управление эксплуатацией локомотивов: учеб. пособие. 2-е изд., перераб. и доп. М.: МИИТ, 2009. 296 с.
7. Курдяяцев В.А. Управление движением на железнодорожном транспорте: учеб. пособие для вузов ж.-д. транспорта. М.: Маршрут, 2003. 200 с.
8. Сычев Е.И., Иванов-Толмачев И.А. Реконструкция узловой участковой станции: учеб. пособие / Министерство путей сообщения Российской Федерации. М.: МИИТ, 2002. 100 с.
9. Правдин Н.В., Шубко В.Г. Железнодорожные станции и узлы (задачи, примеры, расчеты): учеб. пособие для вузов ж.-д. транспорта. М.: Маршрут, 2007. 501 с.
10. Апатцев В.И., Болотный В.Я. Проектирование участковых станций: учеб. пособие. М.: РГОТУПС, 2003. 382 с.
11. Пропускная и перерабатывающая способность сооружений и устройств железнодорожного транспорта: учеб.-метод. пособие / Н.Я. Негрей [и др.]; Министерство образования Республики Беларусь, Белорусский гос. ун-т транспорта. Гомель: БелГУТ, 2013. 183 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

МЕХЕДОВ Михаил Иванович,
канд. техн. наук, заместитель генерального директора —
директор научного центра «Цифровые модели перевозок
и технологии энергосбережения» (НЦ «ЦМПЭ»), АО «ВНИИЖТ»

КОРНИЕНКО Наталья Владимировна,
ведущий технолог, НЦ «ЦМПЭ», АО «ВНИИЖТ»

Статья поступила в редакцию 14.05.2021 г., принята к публикации 01.07.2021 г.

Influence of technical and technological equipment of a locomotive maintenance point on the capacity of a railway line

M. I. MEKHEDOV, N. V. KORNIENKO

Joint Stock Company Railway Research Institute (JSC "VNIIZHT"), Moscow, 129626, Russia

Abstract. Stable operation of railway transport is of decisive importance in the development of the country's economy. Railway stations of the Russian Railways network perform a significant amount of work on processing and handling train traffic.

Large technical stations on the Russian Railways network in most cases are located at the junction of railways (railway polygons), where locomotive crews and locomotives changes take place as well as various types of traction (electrified lines with direct and alternating current).

With the development of polygon technologies on the Russian Railways network, it becomes necessary to optimize the traction resource management process to ensure the stable operation of train traffic from its origin to the point of its destination. At technical stations with locomotive turnover points, they are changed, as well as maintenance (TO-2) and equipment.

The article discusses in more detail one of the elements of the daily budget for the use of locomotives — finding locomotives in one of the types of downtime — at the locomotive maintenance point. As an example of the queuing of traction resources, the point of maintenance of locomotives of the Karymskaya station is given, where the stalls for performing TO-2 are one of the types of devices of the locomotive economy, according to which the available capacity of the locomotive circulation section is determined. Based on the analysis of the results of the operation of the locomotive maintenance point of the Karymskaya station for 2017, a method has been developed that allows, using in the calculations the minimum interval for the supply of trains to the station, to determine the rational number of stalls m_c , necessary for the development of promising volumes of freight transportation and increasing the capacity of railway lines.

Keywords: railway line; capacity; technical station; traction resource management; locomotive use budget; train arrival interval; local speed; locomotive maintenance point

DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-4-225-232>

REFERENCES

1. *Instructions for calculating the available capacity of railways.* Approved by the JSC Russian Railways dated November 10, 2010 No. 128. URL: http://www.consultant.ru/law/zheleznodorozhnyj_transport (retrieved on 09.04.2021) (in Russ.).
2. Tikhonov K. K. *Vybor optimal'noy dliny uchastkov obrashcheniya lokomotivov* [Choice of the optimal length of locomotive circulation sections]. Trudy MIIT [Proceedings of the MIIT]. Moscow, MIIT Publ., 1963, no. 168, pp. 5–93.
3. Ugryumov A. K. *Neravnomernost' dvizheniya poezdov* [Inequality in train scheduling]. Moscow, Transport Publ., 1968. 112 p.

E-mail: Kornienko.Natalia@vniizht.ru (N. V. Kornienko)

4. Nekrashevich V. I., Barkhatny V. D., Kryukov N. D. *Vybor granits uchastkov obrashcheniya lokomotivov i normirovanie kontingenta lokomotivnykh brigad* [Selection of the boundaries of locomotive circulation areas and rationing of the contingent of locomotive brigades]. Moscow, Transport Publ., 1973, 127 p.

5. Ayzinbud S. Ya., Kel'peris P. I. *Ekspluatatsiya lokomotivov* [Operation of locomotives]. Moscow, Transport Publ., 1980, 248 p.

6. Nekrashevich V. I., Apattsev V. I. *Upravlenie ekspluatatsiey lokomotivov. Ucheb. posobie* [Management of operation of locomotives. Textbook]. 2-e izd. pererab. i dop [2nd edition, revised and amended]. Moscow, MIIT Publ., 2009, 296 p.

7. Kudryavtsev V. A. *Upravlenie dvizheniem na zheleznodorozhnom transporte. Ucheb. posobie dlya vuzov zh.-d. transporta* [Traffic management in railway transport. Textbook for universities of railway transport]. Moscow, Marshrut Publ., 2003, 200 p.

8. Sychev E. I., Ivanov-Tolmachev I. A. *Rekonstruktsiya uzlovoy uchastkovoy stantsii. Ucheb. posobie* [Reconstruction of the junction station. Textbook]. Ministerstvo putey soobshcheniya Rossiiyiskoy Federatsii [Ministry of Railways of the Russian Federation]. Moscow, MIIT Publ., 2002, 100 p.

9. Pravdin N. V., Shubko V. G. *Zheleznodorozhnye stantsii i uzly (zadachi, primery, raschety). Ucheb. posobie dlya vuzov zh.-d. transporta* [Railway stations and junctions (tasks, examples, calculations). Textbook for universities of railway transport]. Moscow, Marshrut Publ., 2007, 501 p.

10. Apattsev V. I., Bolotny V. Ya. *Proektirovaniye uchastkovykh stantsiy. Ucheb. posobie* [Designing of zonal stations. Textbook]. Moscow, RGOTUPS Publ., 2003, 382 p.

11. Negrey V. Ya., Podkopaev V. A., Filatov E. A., Mogila V. S., Baykov K. R. *Propusknaya i pererabatyvayushchaya sposobnost' sooruzheniy i ustroystv zheleznodorozhnoy transporta. Ucheb.-metod. posobie* [Capacity and handling performance of structures and devices of railway transport. Textbook]. Ministerstvo obrazovaniya Respubliki Belarus', Belorusskiy gos. un-t transporta [Ministry of Education of the Republic of Belarus, Belarusian State University of Transport]. Gomel', BelGUT Publ., 2013, 183 p.

ABOUT THE AUTHORS

Mikhail I. MEKHEDOV,

Cand. Sci. (Eng.), Deputy General Director — Director of the Scientific Center "Digital Transportation Models and Energy Saving Technologies" (SC "TsMPE"), JSC "VNIIZHT"

Natal'ya V. KORNIENKO,

Leading Process Manager, SC "TsMPE", JSC "VNIIZHT"

Received 14.05.2021

Accepted 01.07.2021

For citation: Mekhedov M. I., Kornienko N. V. Influence of technical and technological equipment of a locomotive maintenance point on the capacity of a railway line // VNIIZHT Scientific Journal. 2021. 80 (4): 225–232 (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-4-225-232>.

Оценка долгосрочной перспективности структуры грузовых железнодорожных перевозок

Д. А. МАЧЕРЕТ^{1, 2}

¹ Акционерное общество «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (АО «ВНИИЖТ»), Москва, 129626, Россия

² Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет транспорта» (ФГАОУ ВО «РУТ» (МИИТ)), Москва, 127994, Россия

Аннотация. Важнейшим бизнесом отечественной железнодорожной отрасли являются грузовые перевозки, которые решающим образом влияют на финансово-экономическую устойчивость и эффективность работы российских железных дорог. Успешная деятельность в сфере грузовых железнодорожных перевозок определяется как объемами, так и структурой этих перевозок. В долгосрочной перспективе существует риск сокращения грузовой базы железных дорог в связи с глобальной парадигмой декарбонизации экономики, а также реализации «экономики замкнутого цикла», предполагающей непрерывный цикл переработки материалов с близкой к 100%-му уровню утилизацией завершившей свой жизненный цикл продукции и использованием соответствующих материалов для производства новых изделий. Сокращение потребления угля, нефти и нефтепродуктов в ходе декарбонизации приведет и к соответствующему сокращению объемов их транспортировки железнодорожным транспортом, а реализация «экономики замкнутого цикла» — к сокращению транспортировки неуглеводородного сырья, также занимающего весомую долю в железнодорожных перевозках. С учетом отмеченных тенденций в статье проведено экспертное категорирование перевозимых железнодорожным транспортом грузов по уровню долгосрочной перспективности. Все грузы разделены на четыре категории: неперспективные, низкорисковые, перспективные и высокорисковые. Исходя из предложенного категорирования с использованием ретроспективных данных о породовой погрузке грузов на железнодорожном транспорте выявлено существенное изменение структуры погрузки с точки зрения ее долгосрочной перспективности. Для обобщенной оценки уровня долгосрочной перспективности структуры погрузки предложен новый показатель — индикатор долгосрочной перспективности погрузки. Выполнен его ретроспективный анализ. Результатам анализа дана качественная оценка на основе разработанной шкалы зональных значений этого индикатора. Обоснована необходимость решения задачи своевременного замещения грузов, объемы перевозок которых будут в перспективе снижаться вследствие структурных изменений, грузами, обладающими более высоким уровнем долгосрочной перспективности. Предложена целевая структура погрузки грузов на сети железных дорог и обоснован временной горизонт, на котором желательно ее достижение. Определены направления развития исследований по данной тематике.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт; погрузка грузов; долгосрочные структурные изменения; категорирование грузов; структура перевозок; долгосрочная конкурентоспособность железнодорожного транспорта

E-mail: macheret.dmitry@vniizht.ru (Д. А. Мачерет)

Введение. Грузовые перевозки — важнейший бизнес отечественной железнодорожной отрасли. По данным финансовой отчетности ОАО «РЖД», формируемой по российским стандартам бухгалтерского учета, доходы от грузовых перевозок в 2020 г. составили свыше 82 % от общих доходов компании, а в абсолютном выражении — почти 1,5 трлн руб. [1]. Прибыль от грузовых перевозок превысила (с учетом убыточности ряда видов деятельности компании) общую прибыль ОАО «РЖД» от продаж. Следовательно, именно грузовые перевозки, прежде всего, определяют финансово-экономическую устойчивость и эффективность российских железных дорог. В этой сфере наиболее развит и не входящий в холдинг «РЖД» железнодорожный бизнес, в первую очередь — операторские и вагоноремонтные компании.

Экономическое значение структуры грузовых перевозок. Успешное ведение бизнеса в сфере грузовых железнодорожных перевозок определяется как объемами, так и структурой этих перевозок, поскольку их доходность существенно различается по родам грузов [2, 3]. Поэтому структура грузовых перевозок в экономическом аспекте традиционно анализируется с позиций их удельной доходности в расчете на 1 т·км. Именно исходя из этой характеристики грузы были разделены на высокодоходные, низкодоходные и среднедоходные [4]. Следует отметить, что структура железнодорожных грузовых перевозок по уровню доходности имеет тенденцию к ухудшению: доля низкодоходных перевозок растет, а высокодоходных — снижается. Это одна из причин замедленного (по сравнению с индексацией тарифов) повышения доходности грузовых перевозок, что является долгосрочной экономической проблемой российских железных дорог [5, 6]. Эта проблема также вероятна и в среднесрочной перспективе [7].

Долгосрочные тенденции. В долгосрочной перспективе возможно сокращение грузовой базы железных дорог, под которой понимается «совокупность товарной продукции, произведенной отраслями экономики, которая по физическим и химическим свойствам и коммерческим параметрам

может быть перевезена магистральным железнодорожным транспортом» [8, с. 71]. Другими словами, к железным дорогам тяготеют грузы, обладающие определенными характеристиками, которые в большей степени соответствуют физическим и экономическим условиям железнодорожной перевозки. Традиционно «железнодорожными» являются массовые грузы (сырец, полуфабрикаты, готовая продукция низких переделов), перевозимые на значительные расстояния. Важнейшим из них для многих железнодорожных систем является уголь. Он занимает наибольшую долю и в перевозках, и в грузообороте российских железных дорог, причем эта доля имеет долгосрочную тенденцию к увеличению [9, 10].

На втором месте в объемах грузовых перевозок и грузообороте и на первом месте по величине генерируемых доходов (вследствие высокой удельной доходности) находятся нефтеналивные грузы – нефть и нефтепродукты [10]. В совокупности уголь и нефтеналивные грузы формируют свыше 45% и погрузки, и доходов от грузовых перевозок ОАО «РЖД». И именно для этих грузов наиболее существенны риски сокращения спроса на перевозки в связи с глобальной парадигмой декарбонизации экономики [11].

Прогнозы свидетельствуют о сокращении мирового потребления в долгосрочной перспективе (к 2050 г.) как нефти, так и, в еще большей степени, угля. Причем если в сценарии постепенной декарбонизации предполагается снижение потребления энергии, вырабатываемой из угля, на 22%, а из нефти почти на 10%, то в более радикальном сценарии данные показатели снизятся соответственно в 6,5 раза и в 2 раза [12]. Хотя в качестве наиболее вероятного рассматривается первый сценарий, нельзя исключить и более динамичного хода декарбонизации.

Сокращение потребления угля, нефти и нефтепродуктов в ходе декарбонизации, естественно, приведет и к соответствующему сокращению объемов их транспортировки, в том числе железнодорожным транспортом. Помимо декарбонизации, существенное влияние на объемы и структуру железнодорожных перевозок может оказать реализация «экономики замкнутого цикла», предполагающей непрерывный цикл переработки материалов с близкой к 100%-му уровню утилизацией завершившей свой жизненный цикл продукции и использованием соответствующих материалов для производства новых изделий [13]. Это приведет к сокращению транспортировки неуглеводородного сырья, в частности руды, также занимающей весомую долю в железнодорожных перевозках. В то же время можно прогнозировать рост перевозок вторсырья, например металломолома. Подробнее влияние «экономики замкнутого цикла» на железнодорожные перевозки и другие аспекты работы отрасли рассмотрено в работах [14, 15].

Продолжение динамичного экономического роста, которое прогнозируется на долгосрочную перспективу [16], будет означать увеличение спроса на перевозки готовой продукции при абсолютно или относительно меньшем спросе на перевозки сырья. Это, в свою очередь, будет способствовать росту контейнерных перевозок. Данная тенденция уже в полной мере проявляется и на российских железных дорогах, а 2020 г. стал рекордным как по динамике, так и по достигнутому объему контейнерных перевозок [17].

Категорирование грузов по уровню долгосрочной перспективности. С учетом отмеченных тенденций можно предложить экспертное категорирование перевозимых железнодорожным транспортом грузов по уровню долгосрочной перспективности (табл. 1).

К неперспективным отнесены грузы, перевозки которых в долгосрочной перспективе будут сокращаться в связи с целенаправленной декарбонизацией мировой экономики; к низкоперспективным – грузы, перевозки которых могут быть сокращены в рамках «экономики замкнутого цикла». К перспективным отнесены грузы, доля которых в общем объеме железнодорожных перевозок в долгосрочной перспективе может быть стабильной, а при эффективной маркетинговой политике – даже растущей. К высокоперспективным отнесены грузы, абсолютные объемы и доли которых могут повышаться: продукция химической промышленности; грузы, связанные с обеспечением потребностей в продовольствии, спрос на которое будет увеличиваться как в связи с ростом численности населения в мире, который продолжится и в долгосрочной перспективе [18], так и в связи с объективно необходимым ростом подушевого потребления продовольствия во многих регионах мира; контейнеризованные грузы как наиболее эффективный в современных условиях способ перевозки готовой продукции, обладающей высокой ценностью и требующей срочной и надежной доставки «от двери до двери» [19]; различные виды готовой продукции, относимой к категории «прочих» грузов, перевозки которых в будущем также целесообразно максимально контейнеризировать.

Предлагаемое категорирование выполнено на основе укрупненной номенклатуры грузов. Применение детализированной номенклатуры может сделать его более точным, но для наглядной апробации методического подхода к оценке перспективности структуры грузовых перевозок предпочтителен именно укрупненный подход.

Ретроспективный анализ. Исходя из предложенного категорирования с использованием ретроспективных данных о породовой погрузке грузов на железнодорожном транспорте [20, 21] выявлено существенное изменение структуры погрузки с точки зрения ее долгосрочной перспективности (табл. 2). В целом за последние 20 лет доля неперспективных и низкопер-

спективных грузов возросла, а перспективных — снизилась. Примечательно, что доля высокоперспективных грузов после многолетнего снижения в 2020 г. практически вернулась к уровню 2000 г. Это произошло за счет увеличения перевозок зерна и удобрений и, самое главное — за счет высокой динамики контейнерных перевозок [17], меры по повышению эффективности которых были предметом специальных научных исследований [19, 22].

Следует отметить, что по ряду перспективных и высокоперспективных грузов (черные металлы и лом, строительные грузы и цемент, лесные грузы и др.) тенденция снижения их доли в погрузке на железнодорожном транспорте сохраняется. В исследованиях [23, 24] показано, что формирование этой тенденции было связано с межвидовой конкуренцией на транспортном рынке и «уходом» части объемов перевозок указанных грузов на автотранспорт. Поэтому для улучшения перспективности структуры грузовых железнодорожных перевозок целесообразна разработка и реализация адресных программ повышения клиентоориентированности, сфокусированных на отправителях тех грузов, увеличение доли которых представляется стратегически необходимым, и учитывающих их специфические требования к предоставлению перевозочной и сопутствующих услуг.

Количественная и качественная оценка долгосрочной перспективности структуры грузовых перевозок. Уровень долгосрочной перспективности структуры погрузки можно характеризовать с помощью индикатора долгосрочной перспективности погрузки $I_{\text{длп}}$:

$$I_{\text{длп}} = \frac{\sum dP_i B_i}{100\%},$$

где dP_i — доля i -го груза в погрузке, %; B_i — балльная оценка долгосрочной перспективности i -го груза (из табл. 1).

Ретроспективная оценка индикатора долгосрочной перспективности погрузки (табл. 3) свидетельствует о том, что тенденция его снижения, наблюдавшаяся в период 2000–2015 гг., затем была переломлена и в 2020 г. значение индикатора превысило уровень 2010 г.

Использование индикатора долгосрочной перспективности погрузки позволяет получить ее обобщенную количественную характеристику. Однако в экономических исследованиях ключевое значение имеют качественные характеристики [25]. Для качественной характеристики экономических явлений, отражаемых количественными индикаторами, целесообразно использовать зонирование их значений [26]. Шкала зональных значений индикатора долгосрочной перспективности погрузки представлена в табл. 4.

Таблица 1

Категорирование перевозимых железнодорожным транспортом грузов по уровню долгосрочной перспективности

Table 1

Categorization of freights transported by rail by the level of long-term prospects

Категория грузов	Балльная оценка уровня перспективности	Грузы
Неперспективные	1	Уголь Нефть и нефтепродукты
Низкоперспективные	2	Руда железная и марганцевая Руда цветная и серное сырье Промсырье
Перспективные	3	Черные металлы Лом черных металлов Строительные грузы Цемент Лесные грузы
Высокоперспективные	4	Химикаты и сода Химические и минеральные удобрения Зерно Грузы в контейнерах Прочие

Таблица 2

Изменение структуры погрузки грузов на сети железных дорог в долгосрочной ретроспективе, %

Table 2

Changes in the structure of freight loading on the railway network in long-term retrospect, %

Грузы	2000	2005	2010	2015	2020
Уголь	23,1	21,9	23,7	26,6	28,4
Нефть и нефтепродукты	14,7	17,1	21,0	20,7	16,8
Итого неперспективные	37,8	39,0	44,7	47,3	45,2
Руда железная и марганцевая	8,6	8,0	8,5	9,0	9,6
Руда цветная и серное сырье	2,0	1,8	2,1	1,7	1,6
Промсырье	2,5	2,6	3,0	2,9	2,7
Итого низкоперспективные	13,1	12,4	13,6	13,6	13,9
Черные металлы	5,9	5,7	6,0	5,9	5,3
Лом черных металлов	1,7	2,1	1,7	1,2	1,2
Строительные грузы	16,1	16,3	11,8	10,8	10,6
Цемент	2,1	2,7	2,8	2,4	2,0
Лесные грузы	4,5	5,0	3,4	3,3	3,3
Итого перспективные	30,3	31,8	25,7	23,6	22,4
Химикаты и сода	2,6	2,5	2,4	2,1	2,0
Химические и минеральные удобрения	3,4	3,4	3,8	4,2	5,0
Зерно	1,4	1,4	1,2	1,5	2,2
Грузы в контейнерах	0,9	1,2	1,5	1,9	3,4
Прочие	10,4	8,4	7,1	6,0	5,9
Итого высокоперспективные	18,7	16,9	16,0	15,7	18,5
Всего	100	100	100	100	100

Таблица 3

Ретроспективная оценка индикатора долгосрочной перспективности погрузки $I_{\text{длн}}$ на сети железных дорог, баллы

Table 3

Retrospective evaluation of the indicator of long-term prospects of loading $I_{\text{длн}}$ on the railway network, points

Категория грузов	2000	2005	2010	2015	2020
Неперспективные	0,378	0,390	0,447	0,473	0,452
Низкоперспективные	0,262	0,248	0,272	0,272	0,278
Перспективные	0,909	0,954	0,771	0,708	0,672
Высокоперспективные	0,748	0,676	0,640	0,628	0,740
Всего	2,297	2,268	2,130	2,081	2,142

Таблица 4

Шкала зональных значений индикатора долгосрочной перспективности погрузки

Table 4

Scale of zonal values of the indicator of long-term prospects of loading

Диапазон значений индикатора долгосрочной перспективности погрузки, баллы	Качественная характеристика
От 1 до 1,5	Неперспективная структура погрузки
От 1,5 до 2,5	Низкоперспективная структура погрузки
От 2,5 до 3,5	Перспективная структура погрузки
От 3,5 до 4	Высокоперспективная структура погрузки

Таблица 5

Характеристики целевой структуры погрузки грузов на сети железных дорог

Table 5

Characteristics of the target structure of freight loading on the railway network

Категория грузов	Доля, %	Индикатор долгосрочной перспективности погрузки, баллы
Неперспективные	30	0,3
Низкоперспективные	10	0,2
Перспективные	30	0,9
Высокоперспективные	30	1,2
Всего	100	2,6

Исходя из данной шкалы можно сделать вывод, что индикатор долгосрочной перспективности погрузки на протяжении двух десятилетий оставался в зоне низкоперспективной структуры погрузки. При этом, как следует из табл. 2, если в 2000 г. неперспек-

тивные и низкоперспективные грузы в структуре погрузки составляли около половины, то затем их доля выросла примерно до 60 %.

Задачи по улучшению долгосрочной перспективности структуры грузовых перевозок. Для обеспечения долгосрочной конкурентоспособности железнодорожного транспорта на рынке грузовых перевозок и успешного замещения грузов, спрос на которые будет снижаться вследствие структурных изменений в глобальной экономике, целесообразно обеспечить последовательное увеличение доли перспективных и высокоперспективных грузов в структуре погрузки, с тем чтобы в целевой структуре они значимо превалировали над перевозками неперспективных и низкоперспективных грузов. Представляется, что нынешнее соотношение этих двух групп грузов, составляющее примерно 40:60, должно быть «перевернуто», т. е. составлять 60:40. Вариант соответствующей целевой структуры погрузки представлен в табл. 5.

По сравнению с существующей структурой он предполагает наибольшее сокращение доли неперспективных грузов (более чем 15 процентных пунктов) и умеренное сокращение доли низкоперспективных грузов (менее чем на 4 пункта). В свою очередь, доля перспективных грузов должна возрасти более чем на 7 пунктов, а прирост доли высокоперспективных грузов должен быть еще динамичнее и превысить 11 пунктов. При этом значение индикатора долгосрочной перспективности погрузки составит 2,6, что согласно предложенной шкале (табл. 4) соответствует диапазону перспективных значений.

Для того чтобы рост перспективности структуры погрузки на железнодорожном транспорте не отставал от глобальных изменений структуры производства и перевозки товаров, контуры которых на период до 2050 г. были обозначены выше, желательным является достижение целевой структуры погрузки к 2040 г. Равномерное, последовательное движение от существующей структуры погрузки к целевой позволит индикатору долгосрочной перспективности погрузки к 2027 г. выйти на уровень 2000 г. Однако это не будет просто возвратом к старой структуре — она будет принципиально отличаться, прежде всего за счет кардинального роста контейнерных перевозок. Это станет основой для дальнейшего роста уровня перспективности грузовых перевозок, с выходом индикатора долгосрочной перспективности погрузки в зону значений, соответствующих перспективной структуре погрузки, примерно в 2036 г. Тем самым будет достигнуто качественное изменение структуры погрузки на железнодорожном транспорте, что станет основой обеспечения

долгосрочной конкурентоспособности отрасли на рынке грузовых перевозок.

Для этого потребуется реализация на российских железных дорогах инновационных технико-экономических решений, соответствующих глобальным трендам развития железнодорожной системы [27, 28] и транспортной отрасли в целом и учитывающих специфические требования отечественных грузоотправителей. При этом повысится доля железнодорожного транспорта в стоимостной структуре рынка перевозок, которая в настоящее время является заниженной относительно его доли в физической структуре [29].

Заключение. Долгосрочные структурные изменения в глобальной экономике создают риски для сохранения позиций железнодорожного транспорта на рынке грузовых перевозок и обеспечения необходимого уровня доходных поступлений от их реализации. Для нивелирования этих рисков необходимо своеевременное замещение грузов, объемы перевозок которых будут снижаться вследствие структурных изменений, грузами, обладающими более высоким уровнем долгосрочной перспективности. Решение данной задачи требует количественной и качественной оценки уровня долгосрочной перспективности структуры грузовых железнодорожных перевозок, мониторинга его изменений и целенаправленных мер по повышению этого уровня. Рассмотренный в статье методический подход к оценке долгосрочной перспективности грузовых железнодорожных перевозок может стать для этого научной основой. При развитии исследований в данном направлении целесообразно использовать детализированную номенклатуру грузов и уточнить отнесение конкретных грузов к той или иной категории. Возможно и уточнение балльных оценок уровня перспективности различных категорий грузов на основе агрегирования мнений различных экспертов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Финансовая отчетность ОАО «РЖД» за 2020 год по РСБУ [Электронный ресурс]. URL: <https://company.rzd.ru/ru/9471> (дата обращения: 04.05.2021 г.).
2. Хусаинов Ф. И. Влияние структуры погрузки и грузооборота на доходность грузовых перевозок ОАО «РЖД» // Транспорт Российской Федерации. 2018. № 3 (76). С. 23–32.
3. Хусаинов Ф. И. Анализ доходности грузовых перевозок ОАО «РЖД» // Экономика железных дорог. 2018. № 7. С. 36–48.
4. Рышков А. В. Исследование экономической конъюнктуры железнодорожного транспорта (методология, анализ, оценки): дис. ... д-ра экон. наук: 08.00.05. М., 2009. 333 с.
5. Лапидус Б. М. О вкладе ОАО «РЖД» в формирование ВВП страны и экономических задачах компаний в условиях тарифных ограничений // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2014. № 1. С. 3–7.
6. Лапидус Б. М., Мачерет Д. А. Современные проблемы развития и реформирования железнодорожного транспорта // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2015. № 6. С. 3–8.
7. Мачерет Д. А., Валеев Н. А. Перспективы роста экономической эффективности ОАО «РЖД» // Транспорт Российской Федерации. 2019. № 4 (83). С. 13–17.
8. Рышков А. В. Грузовая база магистрального железнодорожного транспорта: сущность и методология анализа // Наука и техника транспорта. 2008. № 3. С. 71–82.
9. Лапидус Б. М. Операющее развитие железнодорожного транспорта — выбор времени // Бюллетень Объединенного ученого совета ОАО «РЖД». 2018. № 5–6. С. 1–16.
10. Хусаинов Ф. И., Ожерельева М. В. Перевозки угля и нефтеналивных грузов железнодорожным транспортом: текущее состояние и перспективы // Транспорт Российской Федерации. 2019. № 4 (83). С. 22–27.
11. Лапидус Б. М., Мачерет Д. А. Влияние экологической парадигмы на долгосрочное развитие железнодорожного транспорта // Экономика железных дорог. 2016. № 9. С. 12–24.
12. BP Energy Outlook 2020 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2020.pdf> (дата обращения: 04.05.2021 г.).
13. Marsh P. The New Industrial Revolution. Consumers, Globalization and the End of Mass Production. New Haven, London: Yale University Press, 2012. 320 р.
14. Мачерет Д. А., Измайкова А. В. «Экологический императив» и инновационное развитие транспорта // Мир транспорта. 2016. Т. 14. № 5 (66). С. 20–31.
15. Мачерет Д. А., Курдяевцева А. В. Железные дороги и промышленное развитие // Энергия: экономика, техника, экология. 2017. № 12. С. 25–30.
16. OECD: The Long View: Scenarios for the World Economy to 2060 [Электронный ресурс]. URL: https://www.oecd-ilibrary.org/economics/the-long-view_b4f4e03e-en (дата обращения: 04.05.2021 г.).
17. Об итогах производственно-финансовой деятельности ОАО «РЖД» за 2020 г. и приоритетных целевых задачах на 2021 г.: доклад генерального директора — председателя правления ОАО «РЖД» на итоговом заседании правления ОАО «РЖД» // Железнодорожный транспорт. 2021. № 3. С. 7–16.
18. Вишневский А. Г. Демографическая история и демографическая теория. М.: Изд. дом Высшей школы экономики, 2019. 368 с.
19. Мачерет Д. А., Дубровина В. И. О повышении эффективности железнодорожных перевозок контейнеропригодных грузов // Экономика железных дорог. 2011. № 12. С. 22–30.
20. Хусаинов Ф. И. Экономическая статистика железнодорожного транспорта: очерки. М.: Наука, 2016. 100 с.
21. Объем погрузки основных видов грузов на железнодорожном транспорте [Электронный ресурс]. URL: <https://rosstat.gov.ru> (дата обращения: 04.05.2021 г.).
22. Мачерет Д. А., Дубровина В. И. Методология оценки и пути повышения конкурентоспособности и экономической эффективности железнодорожных перевозок контейнеропригодных грузов // Проблемы железнодорожного транспорта. Задачи и пути их решения: сб. тр. ученых ОАО «ВНИИЖТ» / под ред. Б. М. Лапидуса, Г. В. Гогричани. М.: Интекст, 2012. С. 10–19.
23. Лукьянова О. В., Хусаинов Ф. И. Перспективы конкуренции железнодорожного и автомобильного транспорта // Бюллетень транспортной информации. 2013. № 11. С. 3–14.
24. Лукьянова О. В., Хусаинов Ф. И. О конкуренции автомобильного и железнодорожного транспорта на рынке грузовых перевозок // Вектор транспорта. 2014. № 2. С. 28–43.
25. Мачерет Д. А. Методологические проблемы экономических исследований на железнодорожном транспорте // Экономика железных дорог. 2015. № 3. С. 12–26.
26. Валеев Н. А. Управление эксплуатационными затратами железнодорожных компаний // Экономика железных дорог. 2017. № 2. С. 26–36.

27. Global Vision for Railway Development / B.M. Lapidus [et al.]. Paris: UIC, 2019. 52 p.
28. Лапидус Б. М. Будущее транспорта. Мировые тренды с проекцией на Россию: монография. М.: Прометей, 2020. 226 с.
29. Лапидус Б. М., Мачерет Д. А., Рышков А. В. Методологические основы экономики товародвижения и перспективы сегментации транспортного рынка // Экономика железных дорог. 2020. № 5. С. 12–21.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

МАЧЕРЕТ Дмитрий Александрович,

д-р экон. наук, профессор, первый заместитель председателя Объединенного ученого совета ОАО «РЖД», АО «ВНИИЖТ»; профессор, ФГАОУ ВО «РУТ» (МИИТ)

Статья поступила в редакцию 07.05.2021 г., принята к публикации 21.06.2021 г.

Для цитирования: Мачерет Д. А. Оценка долгосрочной перспективности структуры грузовых железнодорожных перевозок // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2021. Т. 80. № 4. С. 233–239. DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-4-233-239>.

Evaluation of long-term prospects of the structure of freight rail transportation

D. A. MACHERET^{1, 2}

¹Joint Stock Company Railway Research Institute (JSC "VNIIZHT"), Moscow, 129626, Russia

²Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Russian University of Transport" (FGAOU VO "RUT" (MIIT)), Moscow, 127994, Russia

Abstract. The most important business of the domestic railway industry is freight transportation, which decisively affects the financial and economic stability and efficiency of the Russian railways. Successful activities in the field of rail freight transport are determined by both the volume and the structure of these transports. In the long term perspective, there is a risk of a reduction in the freight base of railways due to the global paradigm of decarbonization of the economy, as well as the implementation of a "circular economy", which assumes a continuous cycle of material processing with close to 100% utilization of products that have completed their life cycle and the use of appropriate materials for the production of new products. Reducing the consumption of coal, oil and petroleum products in the course of decarbonization will lead to a corresponding reduction in the volume of their transportation by rail, and the implementation of the "closed cycle economy" — to a reduction in the transportation of non-hydrocarbon raw materials, which also occupies a significant share in rail transportation. Taking into account the noted trends, the article provides an expert categorization of goods transported by rail by the level of long-term prospects. All freights are divided into four categories: non-promising, low-promising, promising and highly promising. Based on the proposed categorization with the use of retrospective data on rock loading of freights on railway transport, a significant change in the structure of loading was revealed in terms of its long-term prospects. For a generalized evaluation of the level of long-term prospects of the loading structure, a new indicator is proposed — an indicator of long-term prospects of loading. Its retrospective analysis was carried out. The results of the analysis are given a qualitative evaluation based on the developed scale of zonal values of this indicator. The necessity of solving the problem of timely replacement of freights, the traffic volumes of which will decrease in the future due to structural changes, with freights with a higher level of long-term prospects, has been substantiated. The target structure of freight loading on the railway network is proposed and the time horizon on which it is desirable to achieve it is substantiated. The directions for the development of research on this topic have been determined.

Keywords: railway transport; freight loading; long-term structural changes; categorization of freights; structure of transportation; long-term competitiveness of rail transport

DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-4-233-239>

REFERENCES

1. *Finansovaya otchetnost' OAO "RZhD" za 2020 god po RSBU* [Financial statements of the JSC Russian Railways for 2020 according to RAS]. URL: <https://company.rzd.ru/ru/9471> (retrieved on 04.05.2021) (in Russ.).
2. Khusainov F.I. *Vliyanie struktury pogruzki i gruzooborota na dokhodnost' gruzovykh perevozok OAO "RZhD"* [Influence of the structure of loading and freight turnover on the profitability of freight traffic of the JSC Russian Railways]. Transport of the Russian Federation, 2018, no. 3 (76), pp. 23–32.
3. Khusainov F.I. *Analiz dokhodnosti gruzovykh perevozok OAO "RZhD"* [Analysis of the profitability of freight traffic of the JSC Russian Railways]. Railway Economics, 2018, no. 7, pp. 36–48.
4. Ryshkov A.V. *Issledovanie ekonomicheskoy kon'yunktury zheleznodorozhного transporta (metodologiya, analiz, otsenki)*. Dis. ... d-ra ekon. nauk [Research of the economic conjuncture of railway transport (methodology, analysis, assessment)]. Dr. econ. sci. diss.]. Moscow, 2009, 333 p.
5. Lapidus B.M. *O vklade OAO "RZhD" v formirovaniye VVP strany i ekonomicheskikh zadachakh kompanii v usloviyakh tariffnykh ogranicenii* [On the contribution of the JSC Russian Railways to the formation of the country's GDP and the economic objectives of the company in the conditions of tariff restrictions]. Vestnik VNIIZhT [Vestnik of the Railway Research Institute], 2014, no. 1, pp. 3–7.
6. Lapidus B.M., Macheret D.A. *Sovremennye problemy razvitiya i reformirovaniya zheleznodorozhного transporta* [Modern problems of development and reforming of railway transport]. Vestnik VNIIZhT [Vestnik of the Railway Research Institute], 2015, no. 6, pp. 3–8.
7. Macheret D.A., Valeev N.A. *Perspektivy rosta ekonomicheskoy effektivnosti OAO "RZhD"* [Prospects for the growth of economic efficiency of the JSC Russian Railways]. Transport of the Russian Federation, 2019, no. 4 (83), pp. 13–17.
8. Ryshkov A.V. *Gruzovaya baza magistral'nogo zheleznodorozhного transporta: sushchnost' i metodologiya analiza* [Freight base of main railway transport: essence and methodology of analysis]. Science and Technology in Transport, 2008, no. 3, pp. 71–82.

9. Lapidus B. M. *Operezhayushchee razvitiye zhelezno-dorozhnogo transporta — vybor vremeni* [Advanced development of railway transport — modern choice]. Byulleten' Ob'edinenennogo uchenogo soveta OAO "RZhD" [Bulletin of the Joint Scientific Council of the JSC Russian Railways], 2018, no. 5–6, pp. 1–16.
10. Khusainov F. I., Ozerel'eva M. V. *Perevozki uglya i nefte-naivnykh gruzov zhelezno-dorozhnym transportom: tekushchee sostoyanie i perspektivy* [Transportation of coal and oil freight by rail: current state and prospects]. Transport of the Russian Federation, 2019, no. 4 (83), pp. 22–27.
11. Lapidus B. M., Macheret D. A. *Vliyanie ekologicheskoy paradigm na dolgosrochnoe razvitiye zhelezno-dorozhnogo transporta* [The influence of the ecological paradigm on long-term development of railway transport]. Railway Economics, 2016, no. 9, pp. 12–24.
12. BP Energy Outlook 2020. URL: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2020.pdf> (retrieved on 04.05.2021).
13. Marsh P. *The New Industrial Revolution. Consumers, Globalization and the End of Mass Production*. New Haven, London, Yale University Press, 2012, 320 p.
14. Macheret D. A., Izmaykova A. V. "Ekologicheskiy imperativ" i innovatsionnoe razvitiye transporta ["Environmental imperative" and innovative development of transport]. World of Transport and Transportation, 2016, Vol. 14, no. 5 (66), pp. 20–31.
15. Macheret D. A., Kudryavtseva A. V. *Zheleznye dorogi i promyshlennoe razvitiye* [Railways and industrial development]. Energy: economics, technology, ecology, 2017, no. 12, pp. 25–30.
16. OECD: The Long View: Scenarios for the World Economy to 2060. URL: https://www.oecd-ilibrary.org/economics/the-long-view_b4f4e03e-en (retrieved on 04.05.2021).
17. Ob itogakh proizvodstvenno-finansovoy deyatel'nosti OAO "RZhD" za 2020 g. i prioritetnykh tselevykh zadachakh na 2021 g. Doklad general'nogo direktora — predsedatelya pravleniya OAO "RZhD" na itogovom zasedanii pravleniya OAO "RZhD" [On the results of production and financial activities of the JSC Russian Railways for 2020 and priority targets for 2021. Report of the General Director — Chairman of the Management Board of the JSC Russian Railways at the final meeting of the Board of the JSC Russian Railways]. Zhelezno-dorozhnyy transport, 2021, no. 3, pp. 7–16.
18. Vishnevskiy A. G. *Demograficheskaya istoriya i demograficheskaya teoriya* [Demographic history and demographic theory]. Moscow, Izd. dom Vysshay shkoly ekonomiki [Higher School of Economics Publishing House], 2019, 368 p.
19. Macheret D. A., Dubrovina V. I. *O povyshenii effektivnosti zhelezno-dorozhnykh perevozok konteyneroprigodnykh gruzov* [On increasing the efficiency of railway transportation of containerized freight]. Railway Economics, 2011, no. 12, pp. 22–30.
20. Khusainov F. I. *Ekonomiceskaya statistika zhelezno-dorozhnogo transporta. Ocherki* [Economic statistics of railway transport. Essays]. Moscow, Nauka Publ., 2016, 100 p.
21. Ob "em pogruzki osnovnykh vidov gruzov na zhelezno-dorozhnom transporte [The volume of loading the main types of freight on railway transport]. URL: <https://rosstat.gov.ru> (retrieved on 04.05.2021) (in Russ.).
22. Macheret D. A., Dubrovina V. I., Lapidus B. M., Gogrichiani G. V. *Metodologiya otsenki i puti povysheniya konkurentospособности i ekonomiceskoy effektivnosti zhelezno-dorozhnykh perevozok konteyneroprigodnykh gruzov* [Evaluation methodology and ways to improve the competitiveness and economic efficiency of railway transportation of containerized freight]. Problemy zhelezno-dorozhnykh perevozok konteyneroprigodnykh gruzov [Problems of railway transport. Tasks and ways to solve them. Coll. of works of scientists of the JSC "VNIIZhT"]. Moscow, Intext Publ., 2012, pp. 10–19.
23. Luk'yanova O. V., Khusainov F. I. *Perspektivy konkurentnosti zhelezno-dorozhnykh i avtomobil'nogo transporta* [Prospects for the competition of railway and motor transport]. Byulleten' transportnoy informatsii [Bulletin of transport information], 2013, no. 11, pp. 3–14.
24. Luk'yanova O. V., Khusainov F. I. *O konkurentnosti avtomobil'nogo i zhelezno-dorozhnykh transporta na rynke gruzovykh perevozok* [On the competition of automobile and railway transport in the freight transport market]. Vektor transporta, 2014, no. 2, pp. 28–43.
25. Macheret D. A. *Metodologicheskie problemy ekonomicheskikh issledovaniy na zhelezno-dorozhnom transporte* [Methodological problems of economic research in railway transport]. Railway Economics, 2015, no. 3, pp. 12–26.
26. Valeev N. A. *Upravlenie ekspluatatsionnymi zatrataami zhelezno-dorozhnykh kompaniy* [Management of operating costs of railway companies]. Railway Economics, 2017, no. 2, pp. 26–36.
27. Lapidus B., Zhurkowski A., Wishniewski Y., Schut D. *Global Vision for Railway Development*. Paris, UIC Publ., 2019, 52 p.
28. Lapidus B. M. *Budushchchee transporta. Mirovye trendy s proektsiyey na Rossiyu. Monografiya* [The future of transport. World trends with a projection on Russia. Monograph]. Moscow, Prometei Publ., 2020, 226 p.
29. Lapidus B. M., Macheret D. A., Ryshkov A. V. *Metodologicheskie osnovy ekonomiki tovarodvizheniya i perspektivy segmentatsii transportnogo rynka* [Methodological foundations of the economy of commodity circulation and the prospects for segmentation of the transport market]. Railway Economics, 2020, no. 5, pp. 12–21.

ABOUT THE AUTHOR

Dmitriy A. MACHERET,

Dr. Sci. (Econ.), Professor, First Deputy Chairman of the Joint Scientific Council of the JSC "RZD", JSC "VNIIZhT"; Professor, FGAOU VO "RUT" (MIIT)

Received 07.05.2021

Accepted 21.06.2021

E-mail: macheret.dmitry@vniizht.ru (D. A. Macheret)

For citation: Macheret D. A. Evaluation of long-term prospects of the structure of freight rail transportation // VNIIZhT Scientific Journal. 2021. 80 (4): 233–239 (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-4-233-239>.

Научный центр «Экспресс» АО «ВНИИЖТ»: история и современность

Е. А. ЗУБКОВА, Т. А. КАРПЕЕВА

Акционерное общество «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (АО «ВНИИЖТ»), Москва, 129626, Россия

Аннотация. В статье отражены важнейшие направления работы ученых и сотрудников научного центра «Экспресс» и их вклад в становление и развитие информационных технологий начиная со времени основания в 1959 г. отделения вычислительной техники Всесоюзного научно-исследовательского института железнодорожного транспорта и до настоящего времени.

Теоретические основы применения транспортной кибернетики в народном хозяйстве страны были созданы членом-корреспондентом Академии наук СССР А. П. Петровым, который одним из первых начал применять математические методы и вычислительную технику при решении транспортных задач и возглавил в институте разработки по данному направлению. Практическую работу по созданию первой отечественной автоматизированной системы продажи билетов на поезд, получившей название «Экспресс», возглавил Б. Е. Марчук.

За прошедшее время система «Экспресс» из локальной системы продажи билетов Киевского вокзала Москвы трансформировалась в мощную многофункциональную международную систему управления пассажирскими перевозками, взаимодействующую с системами резервирования билетов европейских стран.

Теоретические и практические разработки, осуществляемые научным центром, имеют своим результатом внедрение новых информационных технологий в холдинге «РЖД» и в железнодорожных администрациях государств – участников Содружества.

В настоящее время основными направлениями деятельности сотрудников научного центра является создание автоматизированной системы управления «Экспресс» нового поколения» (АСУ «Экспресс» НП) и системы международной интеграции пассажирских перевозок Express International.

Ключевые слова: ученые-кибернетики; ВНИИЖТ; автоматизированные системы; информационные технологии; управление пассажирскими перевозками; теоретические основы; методические рекомендации; практические разработки

Введение. В 1959 г. в Центральном научно-исследовательском институте Министерства путей сообщения (ЦНИИ МПС, в настоящее время – АО «ВНИИЖТ») под руководством А. П. Петрова было создано отделение вычислительной техники. Он сумел эффективно организовать совместную работу инженеров-железнодорожников, математиков, специалистов по электронике и связи при решении актуальных задач управления перевозками.

В 1964 г. в отделении были развернуты работы по созданию первой на железнодорожном транспорте СССР отечественной автоматизированной системы

продажи билетов. Главным конструктором этого проекта был назначен высококвалифицированный специалист в области вычислительной техники Б. Е. Марчук. 29 апреля 1972 г. на Киевском вокзале в Москве с использованием электронно-вычислительной машины был продан первый билет на поезд. Эта дата считается днем рождения системы «Экспресс», 50-летие которой будет отмечаться в 2022 г.

Достигнутые результаты и накопленный опыт эксплуатации дали возможность перейти к созданию на базе электронно-вычислительной техники типовой автоматизированной системы «Экспресс-2», которая позволяла не только производить оформление билетов и бронирование мест, но и решать вопросы формирования финансовой и аналитической отчетности для управления продажей билетов на сети железных дорог.

Требовалось, чтобы система работала в реальном времени с большим количеством абонентов. В те годы это было сложнейшей технической и технологической задачей, с которой тем не менее специалисты подразделения успешно справились. В 1982 г. система «Экспресс-2» была введена в эксплуатацию на Московском железнодорожном узле.

Развитие и внедрение новых информационных технологий позволили перейти от уровня резервирования и продажи билетов к уровню управления пассажирскими перевозками. Этот уровень стал возможен в системе «Экспресс-3», введенной в действие в 2001 г. Автоматизированная система управления (АСУ) «Экспресс-3» представляет собой современный программно-аппаратный комплекс, построенный на базе высокопроизводительных электронно-вычислительных машин с широко развитой сетью продажи билетов. Ее усовершенствованная версия полностью отвечает требованиям нормативных документов и действующих технологий работы пассажирских комплексов Российской Федерации, других стран СНГ и Балтии. Она успешно взаимодействует с аналогичными системами Европы через международную сеть передачи данных «Гермес».

Отвечая потребностям времени, в 2018 г. сотрудники научного центра «Экспресс» приступили к соз-

■ E-mail: karpeeva.tatyana@vniizht.ru (Т. А. Карпеева)

данию системы «Экспресс» нового поколения (АСУ «Экспресс» НП). Это интеллектуальная, в первую очередь клиентоориентированная система, позволяющая учитывать и возрастающие потребности участников транспортного рынка, и изменяющиеся условия внешней среды, в том числе глобальные макроэкономические изменения и изменения структуры рынка пассажирских перевозок.

Для сохранения единого информационного пространства в рамках государств—участников Содружества в 2020 г. было положено начало разработке межгосударственного ядра системы международной интеграции пассажирских перевозок Express International.

Создание теоретических основ автоматизированных систем на железнодорожном транспорте. Разработка и внедрение системы продажи билетов «Экспресс». Коллектив научного центра «Экспресс» уже на протяжении 62 лет в составе ВНИИЖТ осуществляет разработку и решение актуальных проблем в области применения информационных технологий на железнодорожном транспорте, результаты которых претворяются в практической работе. В течение этого времени отделение вычислительной техники преобразовалось в отделение пассажирских перевозок и АСУ, а затем в комплексное отделение «Пассажирские перевозки и АСУ "Экспресс"».

Многие идеи сотрудников научного центра увидели свет на страницах журнала «Вестник ВНИИЖТ» [1, 2, 3]. Результаты разработок коллектива за последние 20 лет широко отражены в сборнике научных трудов ВНИИЖТ [4].

Теоретические основы применения транспортной кибернетики в народном хозяйстве страны были созданы первым заведующим отделением вычислительной техники членом-корреспондентом Академии наук СССР А. П. Петровым (фото 1). Проработав почти 20 лет в этой должности, А. П. Петров передал руководство отделением Б. Е. Марчуку.

Проанализировав лучшие мировые практики своего времени и объединив усилия разработчиков ряда организаций и предприятий (МПС, Минрадиопрома, Минприбора и стран — членов СЭВ), Б. Е. Марчук (фото 2, 3) организовал полный цикл работ: конструирование, изготовление и внедрение отечественной автоматизированной системы продажи билетов, бронирования мест и управления пассажирскими перевозками «Экспресс».

Вокруг главного конструктора собралась сплоченная команда энтузиастов, включающая также специалистов Ереванского научно-исследовательского института математических машин (ЕрНИИММ), Проектно-конструкторского бюро Департамента сигнализации, централизации и блокировки Министерства путей сообщения СССР (ПКБ ЦШ МПС)

Фото 1. Заведующий отделением вычислительной техники член-корреспондент Академии наук СССР А. П. Петров (1910–1982)

Photo 1. Head of the Department of computer science Corresponding Member of the USSR Academy of Sciences A. P. Petrov (1910–1982)



Фото 2. Заслуженный конструктор СССР Б. Е. Марчук
Photo 2. Honored Design Engineer of the USSR B. E. Marchuk



Фото 3. Группа сотрудников отделения вычислительной техники под руководством Б. Е. Марчука за подготовкой материалов по кодированию поездов для системы «Экспресс» (Б. Е. Марчук в центре)

Photo 3. Group of employees of the Department of computer science under the leadership of B. E. Marchuk preparing materials for coding trains for the “Express” system (B. E. Marchuk in the center)

и целый ряд квалифицированных специалистов различных организаций. Государственные испытания системы были проведены в марте—апреле 1972 г. в Ереване, а 29 апреля 1972 г. в Москве на Киевском

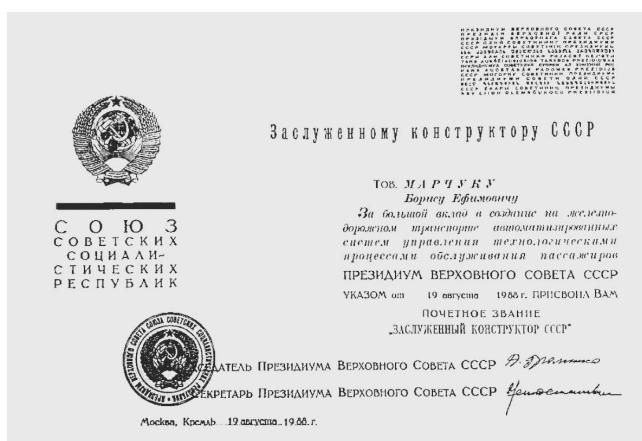


Фото 4. Удостоверение о присвоении Б. Е. Марчуку звания «Заслуженный конструктор СССР»

Photo 4. Certificate of awarding B. E. Marchuk the title of "Honored Design Engineer of the USSR"

вокзале с помощью электронно-вычислительной машины был уже продан первый билет пассажиру. Внедрение системы «Экспресс» позволило сократить время обслуживания одного пассажира с 20 до 5 мин, ликвидировать возможность двойной продажи мест, значительно уменьшить очереди в билетные кассы. Для нашей страны это был революционный технологический прорыв, позволивший на долгие годы задать вектор развития систем автоматизации технологических процессов на транспорте [5, 6].

Создание типовой автоматизированной системы для управления продажей билетов и бронирования мест на сети железных дорог «Экспресс-2». Достигнутые результаты и накопленный опыт эксплуатации дали возможность перейти к созданию на базе электронно-вычислительной техники типовой автоматизированной системы для управления продажей билетов и бронирования мест на сети железных дорог «Экспресс-2». Разработчикам удалось решить невероятно сложную по тем временам задачу — созданная ими система была способна работать в реальном времени с большим количеством абонентов одновременно. В 1982 г. система «Экспресс-2» была введена в эксплуатацию на Московском железнодорожном узле.

Система «Экспресс-2» включала в себя совокупность административных, технологических, программных и технических средств. К 1989 г. система работала уже на 15 железных дорогах Советского Союза, а с 1992 г. начала взаимодействовать с аналогичными европейскими системами электронного резервирования мест, входящими в европейскую железнодорожную сеть передачи данных [7, 8, 9]. Указом Президиума Верховного Совета СССР Б. Е. Марчуку в 1988 г. было присвоено звание заслуженного конструктора СССР (фото 4).

Образование на территории бывшего Советского Союза независимых государств привело к созданию межгосударственной автоматизированной системы управления пассажирскими перевозками, функционирующей в едином информационном пространстве и образующей единую информационную сеть по обслуживанию пассажиров. В 1994 г. система «Экспресс-2» была внедрена уже в странах СНГ и Балтии. В течение многих лет рабочей группой по эксплуатации АСУ «Экспресс» стран СНГ и Балтии руководил Б. Е. Марчук. В настоящее время ее возглавляет главный конструктор института канд. техн. наук М. П. Березка.

АСУ «Экспресс-3» — информационный ресурс ОАО «РЖД» в области управления пассажирским комплексом. Генеральной стратегией создания системы «Экспресс-3», введенной в эксплуатацию в 2001 г., стал переход от уровня резервирования и продажи билетов к уровню управления пассажирскими перевозками [10, 11]. Система предусматривала внедрение новых информационных технологий, полную автоматизацию всех основных технологических процессов пассажирского комплекса, включая расширение каналов сбыта услуг пассажирам от билетных касс до сети Интернет, информационно-справочное обслуживание пассажиров, продажу услуг по перевозке багажа и грузобагажа, эксплуатацию, дислокацию и ремонт парка пассажирских вагонов, финансовую и статистическую отчетность, прогноз и планирование, расширение спектра сервисных услуг, управление бизнес-процессами и маркетинг [1, 2, 3, 11].

В 2008 г. комплексное отделение «Пассажирские перевозки и АСУ «Экспресс» возглавил один из основных разработчиков системы «Экспресс», видный специалист в области цифровых технологий, эффективный управленец А. В. Комиссаров (фото 5).

Важным направлением отделения становится разработка на базе АСУ «Экспресс» новых информационных технологий сбыта и учета услуг по обслуживанию пассажиров в рамках электронной коммерции [12].

Вступление в силу приказа Министерства транспорта Российской Федерации от 31 августа 2011 г. № 228 «Об установлении формы электронного проездного документа (билета) на железнодорожном транспорте» позволило запустить процесс разработки технологии полномасштабного применения электронного билета. До выхода этого приказа понятия «электронный билет» в нормативных актах не было.

Проведение глубокой модернизации системы «Экспресс-3» осуществлялось в течение 2012–2014 гг.

В рамках решения поставленных задач были модернизированы существующие и созданы новые программно-технические комплексы, обеспечивающие оформление и учет электронных билетов.

Внедрение технологии электронного билета на железнодорожном транспорте привело к изменениям во всех компонентах системы сбыта и учета пассажирских перевозок. Данные изменения коснулись организации оформления проездных документов с использованием различных каналов сбыта (в том числе в билетных кассах, через веб-ресурсы, ТТС, платежные терминалы, мобильные устройства и т. д.), включая унификацию применяемых технических и программных решений, принципов предоставления справочной информации клиентам через сеть Интернет, реализации новых форм взаимодействия с клиентами (различные формы программ лояльности), системы учета денежных средств и натуральных показателей от продажи электронных билетов, организации посадки пассажиров в поезд, организации возврата и переоформления проездных документов, системы контроля за деятельностью билетных кассиров, работой терминалов самообслуживания, системы информирования о совершенных поездках [13, 14, 15]. В настоящее время более 70 % реализации продаж осуществляется через электронные каналы сбыта.

В 2011 г. коллектив подразделения пополнился группой программистов из Научно-исследовательского и проектно-конструкторского института информатизации, автоматизации и связи (НИИАС) под руководством канд. техн. наук М. П. Березки (фото 6), что позволило намного эффективнее организовать процесс разработки новых технологий АСУ «Экспресс», в составе комплекса обработки заказов реального времени, аналитической базы данных и системного программного обеспечения для автоматизации бизнес-процессов управления пассажирскими перевозками [16].

В 2016 г. комплексное отделение «Пассажирские перевозки и АСУ «Экспресс» было преобразовано в научный центр «Экспресс». Деятельность научного центра организуется в соответствии с принципами проектного управления, включающего планирование и контроль портфеля проектов, формирование сводной отчетности по проектам, комплексное управление процессами разработки и поставки заказчику конечных результатов работ и услуг. Реализация проектного управления осуществляется путем создания проектного офиса, проектных команд, состоящих из представителей функциональных структур научного центра, принимающих участие в реализации проекта (фото 7).

Основной целью управления проектами является рациональное использование трудовых и материальных ресурсов, мотивация работников на конечный результат, их стимулирование в зависимости от личного вклада, контроль основных этапов и параметров проекта. Научный центр работает в тесном контакте с компаниями холдинга ОАО «РЖД», перевозчиками, администрациями железных дорог стран



Фото 5. Директор научного центра «Экспресс»
А. В. Комиссаров
Photo 5. Director of the scientific center “Express”
A. V. Komissarov



Фото 6. Руководитель рабочей группы по эксплуатации АСУ «Экспресс» стран СНГ и Балтии, главный конструктор института канд. техн. наук М. П. Березка
Photo 6. Head of the working group for the operation of the ACS “Express” of the CIS and Baltic countries, Chief Design Engineer of the institute Cand. Tech. Sci. M. P. Berezko

СНГ и Балтии, и другими зарубежными партнерами (фото 8), что позволяет иметь партнерские деловые отношения со значительной базой клиентов.

В 2018 г. коллектив научного центра пополнился высококвалифицированными программистами из Санкт-Петербурга, имеющими многолетний опыт работы по автоматизации бизнес-процессов формирования финансовой и статистической отчетности и взаиморасчетов.

Направления научных исследований и разработок центра на современном этапе. Начиная с 2018 г. сотрудники научного центра «Экспресс» приступили



Фото 7. Отдел управления проектами.

Слева направо: А. А. Льон, А. В. Соколовский, Р. В. Самусев, Е. А. Мартынова (заместитель директора научного центра, начальник отдела), М. С. Габанова, Н. В. Афонина, Т. А. Карпееева, Т. И. Осипова

Photo 7. Department of the project management.

From left to right: A. A. L'on, A. V. Sokolovskiy, R. V. Samusev, E. A. Martynova (Deputy Director of the scientific center, Head of the department), M. S. Gabanova, N. V. Afonina, T. A. Karpeeva, T. I. Osipova



Фото 8. Встреча с президентом ОАО «РЖД» О. В. Белозеровым. Слева направо: А. С. Бабенко, А. В. Комиссаров, В. А. Гапанович, О. В. Белозеров, А. Г. Соловьева, В. В. Степов (генеральный директор АО «ВНИИЖТ»), К. П. Шенфельд (исполнительный директор АО «ВНИИЖТ»)

Photo 8. Meeting with O. V. Belozero, President of the JSC Russian Railways.

From left to right: A. S. Babenko, A. V. Komissarov, V. A. Gapanovich, O. V. Belozero, A. G. Solov'eva, V. V. Stepov (General Director of the JSC "VNIIZHT"), K. P. Shenfeld (Executive Director of the JSC "VNIIZHT")

к созданию АСУ «Экспресс» НП, носящей интеллектуальный характер и учитывающей как возрастающие потребности участников транспортного рынка, так и изменяющиеся условия внешней среды, включая глобальные макроэкономические изменения и изменения структуры рынка пассажирских перевозок [17, 18, 19].

АСУ «Экспресс» НП строится по модульному принципу. Модули, обеспечивающие функционирование одного или нескольких бизнес-процессов пас-

ажирского комплекса, объединены в подсистемы. В создаваемой системе будет реализовано не менее шести подсистем, каждая из которых должна отвечать за определенный набор бизнес-функций пассажирского комплекса.

К настоящему времени проведены работы, которые позволили создать в рамках новой системы базу данных с информацией для аналитики по пассажирским перевозкам. Заканчивается создание базы данных первичных документов и финансовой отчетности. Данная подсистема получила название КОДУПП (комплекс обработки данных для управления пассажирскими перевозками). При этом все операции по продаже услуг и финансовому учету в настоящее время загружаются в КОДУПП из «Экспресс-3».

В подсистему БРП (банк ресурсов и правил) в настоящее время загружена вся нормативно-справочная информация системы, в том числе тарифы, с целью обеспечения ее доступности для внешних пользователей. По всем видам информации обеспечена возможность синхронизации новых подсистем с «Экспресс-3» для осуществления бесшовного перехода к новой системе.

В 2020 г. в составе «Экспресс» НП разработан модуль «Интегратор». Его цель — обеспечение единой точки входа для всех пользователей транзакционной системы, обеспечивающей продажу проездных и перевозочных документов, услуг и формирование справочной информации для всех каналов сбыта: касс, сайтов, автоматов самообслуживания и др.

Важной функцией «Интегратора» должно стать объединение группы проездных, перевозочных документов и услуг, связанных с поездкой одного или нескольких пассажиров, что позволит обеспечить информационное сопровождение пассажиров на всех этапах поездки, даст возможность применения сквозных тарифов и обеспечит развитие множества других цифровых сервисов для пассажиров.

В настоящее время весьма сложным и трудоемким процессом является ввод и корректировка в «Экспресс-3» нормативно-справочной информации о маршрутах и расписаниях движения поездов ввиду большого количества изменений в расписаниях и необходимости их отслеживания в системе.

Для решения этой проблемы разработана первая очередь модуля УНП (управление назначением поездов), в котором обеспечено поддержание поездной модели в тесном взаимодействии с подсистемой разработки графиков движения поездов главного вычислительного центра АО «РЖД». Для получения максимального эффекта от этой разработки, несмотря на значительные технические сложности, на 2022 г. запланирована реализация загрузки маршрутов и расписаний поездов из УНП «Экспресс» НП в аналитическую базу данных и комплекс обработки заказов реального времени «Экспресс-3». В течение переходного



Фото 9. Коллектив научного центра «Экспресс»
Photo 9. Team of the scientific center “Express”

периода управление маршрутами и расписаниями будет возможно как через УНП «Экспресс-3», так и через существующий в «Экспресс-3» АРМ «Маршрут».

В рамках совместного проекта железнодорожных администраций стран СНГ и Балтии с 2020 г. выполняются работы по созданию системы международной интеграции пассажирских перевозок Express International, что позволит выработать единые подходы к созданию Международной интеллектуальной системы «Экспресс-3» нового поколения на полигоне стран Содружества для возможности обеспечения единого информационного пространства и производственной деятельности основных бизнес-процессов пассажирского комплекса на базе «Экспресс» НП.

Целевая функциональная модель системы международной интеграции пассажирских перевозок Express International состоит из двух основных взаимодействующих частей — национальных ядер системы для каждой железнодорожной администрации и межгосударственного ядра. Межгосударственное ядро (в целевом состоянии) системы Express International создается для решения задач межгосударственного уровня.

Сегодня научный центр «Экспресс» включает в себя четыре лаборатории с офисами в Москве и Санкт-Петербурге, в которых работают в общей сложности 90 сотрудников (фото 9): «Информационные технологии по обслуживанию пассажиров» (фото 10), «Эксплуатация и ремонт парка пассажирских вагонов и маркетинговые процессы» (фото 11), «Центр компетенций по стандартизации и сертификации периферийного оборудования автоматизированных



Фото 10. Лаборатория «Информационные технологии по обслуживанию пассажиров».

Сидят (слева направо): Е. В. Успенская, Т. В. Гнисюк, Л. В. Корзун, М. В. Толмачева, Н. Э. Магура, А. В. Комисаров (директор научного центра), Т. Д. Чистикова, С. П. Кузякова, Г. А. Антонова, М. И. Бобренкова, Е. Ю. Льон, В. А. Добычина, С. В. Шемонаева, С. Н. Королева.

Стоят (слева направо): Н. Г. Соловьева, О. В. Минаева, Е. М. Самусева, Т. А. Карпеева, Е. А. Зубкова (заместитель директора научного центра), Г. М. Турсуматова, В. М. Гехт (заведующий лабораторией), Т. П. Дудина

Photo 10. Laboratory “Information Technologies for Passenger Service”.

Sitting (from left to right): E. V. Uspenskaya, T. V. Gnisyuk, L. V. Korzun, M. V. Tolmacheva, N. E. Magura, A. V. Komissarov (Director of the scientific center), T. D. Chistyakova, S. P. Kuzyakova, G. A. Antonova, M. I. Bobrenkova, E. Yu. L'on, V. A. Dobychina, S. V. Shemonaeva, S. N. Koroleva. Standing (from left to right): N. G. Solov'eva, O. V. Minaeva, E. M. Samuseva, T. A. Karpeeva, E. A. Zubkova (Deputy Director of the scientific center), G. M. Tursumatova, V. M. Gekht (Head of the laboratory), T. P. Dudina



Фото 11. Лаборатория «Эксплуатация и ремонт парка пассажирских вагонов и маркетинговые процессы». Слева направо: Р. Ю. Захаров, А. А. Веселова, М. А. Скворцов, А. П. Рубинская, М. А. Евгеньева, С. Б. Елизаров, Н. Б. Караванова (заведующая лабораторией), К. В. Суржин, С. С. Морозов, Н. В. Деркач, Е. А. Веселова, Ю. А. Иоффе

Photo 11. Laboratory “Operation and Repair of the Passenger Car Fleet and Marketing Processes”.
From left to right: R. Yu. Zakharov, A. A. Veselova, M. A. Skvortsov, A. P. Rubinskaya, M. A. Evgen'eva, S. B. Elizarov, N. B. Karavanova (Head of the laboratory), K. V. Surzhin, S. S. Morozov, N. V. Derkach, E. A. Veselova, Yu. A. Ioffe

систем» (фото 12) и «Программные продукты АСУ «Экспресс», которая имеет офис в Москве и Санкт-Петербурге (фото 13).

За значительный вклад в развитие информационных технологий пассажирского комплекса многие работни-



Фото 13. Лаборатория «Программные продукты АСУ “Экспресс”». Первый ряд (слева направо): М. П. Березка (главный конструктор канд. техн. наук), И. А. Попова, Л. А. Шурупова, Е. П. Ширман, В. И. Коникова, И. Б. Гумина (заведующая лабораторией), М. Б. Добровинская, Е. Ю. Прокопова, Л. Ф. Шабаршенкова. Второй ряд (слева направо): Т. Н. Крутовская, В. Я. Юдин, К. С. Ширман, А. Н. Булгаков, А. Т. Сунгатуллина, А. Н. Королев, Е. Н. Лысенко

Photo 13. Laboratory “Software Products of ACS “Express””.
First row (from left to right): M. P. Berezka (Chief Design Engineer Cand. Tech. Sci.), I. A. Popova, L. A. Shurupova, E. P. Shirman, V. I. Konikova, I. B. Gumina (Head of the laboratory), M. B. Dobrovinskaya, E. Yu. Prokopova, L. F. Shabarshenkova. Second row (from left to right): T. N. Krutovskaya, V. Ya. Yudin, K. S. Shirman, A. N. Bulgakov, A. T. Sungatullina, A. N. Korolev, E. N. Lysenko

ки научного центра «Экспресс» отмечены правитель-

ственными наградами, поощрениями ОАО «РЖД», мэ-

рии Москвы и руководства АО «ВНИИЖТ» (фото 14).
Звание «Почетный железнодорожник» имеют 15 со-
трудников подразделения.



Фото 12. Лаборатория «Центр компетенций по стандартизации и сертификации периферийного оборудования автоматизированных систем».

Сидят (слева направо): Н. И. Сивинцева, С. О. Седукова, О. В. Реванченкова, М. А. Артиухина, Н. Н. Борткевич. Стоят (слева направо): К. Ю. Караванов, А. И. Седуков, В. А. Сулимов

Photo 12. Laboratory “Competence Center for Standardization and Certification of Peripheral Equipment of Automated Systems”.

Sitting (from left to right): N. I. Sivintseva, S. O. Sedukova, O. V. Revanchenkova, M. A. Artyukhina, N. N. Bortkevich. Standing (from left to right): K. Yu. Karavanov, A. I. Sedukov, V. A. Sulimov



Фото 14. Сотрудники научного центра «Экспресс»

АО «ВНИИЖТ» с многолетним стажем работы.

Слева направо: Г. А. Антонова, Н. Н. Красильникова, Е. А. Зубкова, А. В. Комиссаров, Т. Д. Чистякова, Т. В. Гнисюк, Н. Э. Магура, С. П. Кузякова, М. В. Толмачева

Photo 14. Employees of the scientific center “Express” of the JSC “VNIIZHT” with many years of work experience.

From left to right: G. A. Antonova, N. N. Krasilnikova, E. A. Zubkova, A. V. Komissarov, T. D. Chistyakova, T. V. Gnisyuk, N. E. Magura, S. P. Kuzyakova, M. V. Tolmacheva

Заключение. На протяжении 62-летней истории существования научного центра «Экспресс» его коллективом решаются актуальные задачи в области применения информационных технологий на железнодорожном транспорте и автоматизации бизнес-процессов пассажирского комплекса. Сегодня АСУ «Экспресс» является основным информационным ресурсом холдинга «РЖД» в области управления пассажирским комплексом.

Коллектив научного центра всегда открыт для много-планового и широкого информационного партнерства с коллегами, чья деятельностьозвучна тем же целям и задачам, которые мы ставим перед собой по развитию информационных технологий пассажирского комплекса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Марчук Б. Е., Красильникова Н. Н., Макарова Е. А. Стратегия и приоритетные направления развития системы управления пассажирскими железнодорожными перевозками // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2002. № 5. С. 4–9.
2. Марчук Б. Е. Стратегия управления пассажирскими перевозками российских железных дорог на базе системы «Экспресс-3» // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2003. № 6. С. 3–7.
3. Технология оформления проездных документов в системе «Экспресс-3» в соответствии с концепцией новой структуры тарифов / Н. Н. Красильникова [и др.] // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2004. № 6. С. 16–21.
4. АСУ «Экспресс» — автоматизированная система управления пассажирскими перевозками на железнодорожном транспорте / под ред. А. В. Комиссарова. 2-е изд. М.: РАС, 2019. 168 с. (Труды АО «ВНИИЖТ»).
5. Прогрессивная организация, техника и технология пассажирских перевозок: сб. науч. тр. / под ред. Б. Е. Марчука. М.: Транспорт, 1984. 150 с.
6. Опыт разработки, эксплуатации и перспективы развития «Экспресса»: материалы науч.-практ. конф. / под ред. Б. Е. Марчука. М.: Транспорт, 1997. 134 с.
7. Повышение эффективности пассажирских перевозок: сб. науч. тр. / под ред. Б. Е. Марчука. М.: Транспорт, 1986. 103 с.
8. Борткевич А. И. Автоматизированная система коммутации сообщений NETWORK // Проблемы информатизации на железнодорожном транспорте: сб. науч. тр. М.: Транспорт, 1992. С. 76–83.
9. Березка М. П., Родин И. В., Рыжик Б. З. Развитие математического и программного обеспечения АСУ «Экспресс-2» // Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте. 1994. № 2. С. 19–20.
10. Марчук Б. Е., Родин И. В., Комиссаров А. В. На пути к «Экспрессу-3» // Железнодорожный транспорт/Connect! Мир связи (совместный выпуск). 1999. № 9. С. 64–67.
11. Марчук Б. Е. Проблемы управления пассажирским комплексом и их решение на базе АСУ «Экспресс-3» // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2007. № 5. С. 3–8.
12. Комиссаров А. В., Макарова Е. А. Комплексная система планирования пассажирских перевозок на базе АСУ «Экспресс» // Информационные технологии на железнодорожном транспорте: сб. материалов XVI Междунар. конф. (Санкт-Петербург, 11–13 октября 2011 г.). СПб.: ПГУПС, 2011. С. 61–64.
13. Толмачева М. В. Реализация информационной технологии электронного билета ОАО «РЖД» на базе АСУ «Экспресс-3» [Электронный ресурс] // Вестник АСУ «Экспресс-3»: информационный бюллетень. 2012. Вып. 3. С. 6–7. URL: http://www.vniizht.ru/files/3_3.pdf (дата обращения: 22.12.2020 г.).
14. Бабенко А. С. Использование клиентоориентированных подходов для повышения качества обслуживания пассажиров [Электронный ресурс] // Вестник АСУ «Экспресс-3»: информационный бюллетень. 2017. Вып. 13. С. 14–16. URL: http://www.vniizht.ru/files/3_9.pdf (дата обращения: 22.12.2020 г.).
15. Мартынова Е. А. Увеличение глубины продажи документов и модернизация программно-технологического комплекса «Экспресс-3» [Электронный ресурс] // Вестник АСУ «Экспресс-3»: информационный бюллетень. 2017. Вып. 13. С. 11–12. URL: http://www.vniizht.ru/files/vestnik_asu_ekspress3_13.pdf (дата обращения: 22.12.2020 г.).
16. Березка М. П., Родин И. В. Внедрение и развитие системы управления пассажирскими перевозками «Экспресс-3» // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2013. № 4. С. 25–29.
17. Комиссаров А. В. Перспективы развития электронных технологий в АСУ «Экспресс-3» [Электронный ресурс] // Вестник АСУ «Экспресс-3»: информационный бюллетень. 2012. Вып. 5. С. 17. URL: http://www.vniizht.ru/files/3_5.pdf (дата обращения: 19.11.2019 г.).
18. Комиссаров А. В., Березка М. П. От «Экспресс-3» к «Экспресс-НП» // Автоматика, связь, информатика. 2021. № 1. С. 47–49.
19. Комиссаров А. В. АСУ «Экспресс-НП» — интеллектуальная система нового поколения // Железнодорожный транспорт. 2021. № 5. С. 9–13.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

ЗУБКОВА Елена Александровна,
заместитель директора, НЦ «Экспресс», АО «ВНИИЖТ»

КАРПЕЕВА Татьяна Алексеевна,
ведущий инженер, НЦ «Экспресс», АО «ВНИИЖТ»

Статья поступила в редакцию 16.07.2021 г., принята к публикации 28.07.2021 г.

Для цитирования: Зубкова Е. А., Карпеева Т. А. Научный центр «Экспресс» АО «ВНИИЖТ»: история и современность // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2021. Т. 80. № 4. С. 240–248. DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-4-240-248>.

Scientific center “Express” of the JSC “VNIIZHT”: history and modernity

E. A. ZUBKOVA, T. A. KARPEEVA

Joint Stock Company Railway Research Institute (JSC “VNIIZHT”), Moscow, 129626, Russia

Abstract. The article reflects the most important areas of work of scientists and employees of the scientific center “Express” and their contribution to the formation and development of infor-

mation technology since the founding in 1959 of the Department of computer science of the All-Union Scientific Research Institute of Railway Transport and up to the present.

Theoretical foundations of the application of transport cybernetics in the national economy of the country were created by Corresponding Member of the Academy of Sciences of the USSR A. P. Petrov, who was one of the first to use mathematical methods and computing technology in solving transport problems and headed the development in this direction at the institute. The practical work on the creation of the first domestic automated system for selling tickets for trains, called "Express", was headed by B. E. Marchuk.

Since then, the "Express" system has transformed from a local ticketing system at the Kievsky railway terminal in Moscow into a powerful multifunctional international passenger traffic management system that interacts with the ticket reservation systems of European countries.

Theoretical and practical developments carried out by the scientific center have resulted in the introduction of new information technologies in the Russian Railways holding and in the railway administrations of the member states of the Commonwealth.

At present, the main activities of the staff of the scientific center are the creation of automated control system "Express" of a new generation (ACS "Express" NP) and the system of international integration of passenger transportation Express International.

Keywords: cybernetic scientists; VNIIZHT; automated systems; information technology; management of passenger traffic; theoretical basis; guidelines; practical developments

DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-4-240-248>

REFERENCES

- Marchuk B. E., Krasil'nikova N. N., Makarova E. A. *Strategiya i prioritetnye napravleniya razvitiya sistemy upravleniya passazhirskimi zheleznychnymi perevozkami* [Strategy and priority directions of development of the passenger railway transportation management system]. Vestnik VNIIZhT [Vestnik of the Railway Research Institute], 2002, no. 5, pp. 4–9.
- Marchuk B. E. *Strategiya upravleniya passazhirskimi perevozkami rossiyskikh zheleznykh dorog na baze sistemy "Ekspress-3"* [Strategy for managing passenger transportation of Russian railways based on the "Express-3" system]. Vestnik VNIIZhT [Vestnik of the Railway Research Institute], 2003, no. 6, pp. 3–7.
- Krasil'nikova N. N., Makarova E. A., Berezka M. P., Magura N. E., Stasenkova E. I. *Tekhnologiya oformleniya proezdnykh dokumentov v sisteme "Ekspress-3" v sootvetstvii s kontseptsiyey novoy struktury tarifov* [Technology of registration of travel documents in the "Express-3" system in accordance with the concept of a new structure of tariffs]. Vestnik VNIIZhT [Vestnik of the Railway Research Institute], 2004, no. 6, pp. 16–21.
- Komissarov A. V. *ASU "Ekspress" — avtomatizirovannaya sistema upravleniya passazhirskimi perevozkami na zheleznychnom transporte* [ACS "Express" — automated control system for passenger traffic on railway transport]. 2-e izd. [2nd edition]. Moscow, RAS Publ., 2019, 168 p.
- Marchuk B. E. *Progressivnaya organizatsiya, tekhnika i tekhnologiya passazhirskikh perevozok. Sb. nauch. tr.* [Progressive organization, methods and technology of passenger transportation. Coll. of scientific papers]. Moscow, Transport Publ., 1984, 150 p.
- Marchuk B. E. *Opyt razrabotki, ekspluatatsii i perspektiv razvitiya "Ekspress". Materialy nauch.-prakt. konf.* [Experience in the development, operation and development prospects of "Express". Materials of the scientific and practical conf.]. Moscow, Transport Publ., 1997, 134 p.
- Marchuk B. E. *Povyshenie effektivnosti passazhirskikh perevozok. Sb. nauch. tr.* [Improving the efficiency of passenger traffic. Coll. of scientific papers]. Moscow, Transport Publ., 1986, 103 p.
- Bortkevich A. I. *Automated message switching system NETWORK*. Problems of informatization in railway transport. Coll. of scientific papers. Moscow, Transport Publ., 1992, pp. 76–83.
- Berezka M. P., Rodin I. V., Ryzhik B. Z. *Razvitiye matematicheskogo i programmnogo obespecheniya ASU "Ekspress-2"* [Development of mathematical and software for automated control system "Express-2"]. Avtomatika, telemekhanika i svyaz' na zheleznychnykh perevozkakh, 1994, no. 2, pp. 19–20.
- Marchuk B. E., Rodin I. V., Komissarov A. V. *On the way to "Express-3". Zheleznychnye perevozki/Connect!* Mir svyazi (sovremennoe vypusk) [Joint release], 1999, no. 9, pp. 64–67.
- Marchuk B. E. *Problems of control of the passenger complex and their solution based on the automated control system "Express-3".* Vestnik of the Railway Research Institute, 2007, no. 5, pp. 3–8.
- Komissarov A. V., Makarova E. A. *Complex system of planning passenger traffic on the basis of ACS "Express".* Information technologies in railway transport. Coll. of materials of the XVI Int. conf. (St. Petersburg, October 11–13, 2011). St. Petersburg, PGUPS Publ., 2011, pp. 61–64.
- Tolmacheva M. V. *Implementation of information technology of the electronic ticket of JSC Russian Railways on the basis of the automatic control system "Express-3".* Vestnik ASU "Ekspress-3". Informatsionnyy byulleten', 2012, no. 3, pp. 6–7. URL: http://www.vniizht.ru/files/3_3.pdf (retrieved on 22.12.2020) (in Russ.).
- Babenko A. S. *Using customer-oriented approaches to improve the quality of passenger service.* Vestnik ASU "Ekspress-3". Informatsionnyy byulleten', 2017, no. 13, pp. 14–16. URL: http://www.vniizht.ru/files/vestnik_asu_ekspress3_13.pdf (retrieved on 22.12.2020) (in Russ.).
- Martynova E. A. *Increasing the depth of sale of documents and modernization of the software and technological complex "Express-3".* Vestnik ASU "Ekspress-3". Informatsionnyy byulleten', 2017, no. 13, pp. 11–12. URL: http://www.vniizht.ru/files/vestnik_asu_ekspress3_13.pdf (retrieved on 22.12.2020) (in Russ.).
- Komissarov A. V. *Implementation and development of the passenger transportation management system "Express-3".* Vestnik of the Railway Research Institute, 2013, no. 4, pp. 25–29.
- Komissarov A. V. *Prospects for the development of electronic technologies in the ACS "Express-3".* Vestnik ASU "Ekspress-3". Informatsionnyy byulleten', 2012, no. 5, p. 17. URL: http://www.vniizht.ru/files/3_5.pdf (retrieved on 19.11.2019) (in Russ.).
- Komissarov A. V., Berezka M. P. *Ot "Ekspress-3" k "Ekspress-NP"* [From "Express-3" to "Express-NP"]. Automation, Communications, Informatics, 2021, no. 1, pp. 47–49.
- Komissarov A. V. *ASU "Ekspress-NP" — intellektual'naya sistema novogo pokoleniya* [ACS "Express-NP" — an intelligent system of a new generation]. Zheleznychnye perevozki, 2021, no. 5, pp. 9–13.

ABOUT THE AUTHORS

Elena A. ZUBKOVA,
Deputy Director, SC "Express", JSC "VNIIZHT"

Tat'yana A. KARPEEVA,
Leading Engineer, SC "Express", JSC "VNIIZHT"

Received 16.07.2021

Accepted 28.07.2021

For citation: Zubkova E. A., Karpheeva T. A. Scientific center "Express" of the JSC "VNIIZHT": history and modernity // VNIIZHT Scientific Journal. 2021. 80 (4): 240–248 (In Russ.). DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-4-240-248>.

Аспирантура АО «ВНИИЖТ»

объявляет приём
на обучение по программам подготовки
научно-педагогических кадров:

*Железнодорожный путь, изыскание и проектирование железных дорог;
Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация;
Управление процессами перевозок;
Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами
(на железнодорожном транспорте);
Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов;
Материаловедение (на железнодорожном транспорте);
Трение и износ в машинах;
Экономика и управление народным хозяйством (на железнодорожном
транспорте).*

Приём документов с 1 по 21 сентября 2021 г.

Вступительные испытания:

иностранный язык;
специальная дисциплина, соответствующая
направленности (профилю) программы.

Период проведения вступительных испытаний
с 4 по 22 октября 2021 г.

Подробная информация на странице аспирантуры
<https://www.vniizht.ru/aspirantura>
в разделе «Поступающим»



Адрес аспирантуры: г. Москва,
3-я Мытищинская ул., д. 10, каб. 304.
Тел. +7 (495) 602-82-30





МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ
САЛОН ПРОСТРАНСТВА 1520

PRO//ДВИЖЕНИЕ.ЭКСПО



Трансформация технологий и
новое экологическое мышление

ОРГАНИЗАТОР

26-29 АВГУСТА 2021

Москва, Щербинка

Гудок^{ИД}

издательский дом

www.railwayexpo.ru

