

Вестник**Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта**

Научно-технический журнал
 Периодичность: 6 номеров в год
 Издается с января 1942 г.
 ISSN 2223 – 9731, индекс 70116

Международный редакционный совет

В. В. Степов (председатель, канд. экон. наук, АО «ВНИИЖТ», Москва, Россия),
 В. Е. Фортов (д-р физ.-мат. наук, проф., академик РАН, Москва, Россия),
 Б. М. Лапидус (д-р экон. наук, проф., ОАО «РЖД», Москва, Россия),
 К. Эсвельд (проф. железнодорожной инженерии, Технологический университет Делфта, Зальтбommel, Нидерланды),
 И. Г. Горячева (д-р физ.-мат. наук, проф., академик РАН, Институт проблем механики им. А. Ю. Ишлинского РАН, Москва, Россия),
 С. Куммер (д-р экономики, проф., Венский экономический университет, Институт транспорта и логистики, Вена, Австрия),
 Н. А. Махутов (д-р техн. наук, проф., член-корреспондент РАН, Институт машиноведения им. А. А. Благонравова РАН, Москва, Россия),
 В. И. Колесников (д-р техн. наук, проф., академик РАН, РГУПС, Ростов-на-Дону, Россия),
 В. Ф. Ушкалов (д-р техн. наук, член-корреспондент НАН, Институт технической механики НАН, Днепр, Украина),
 К. П. Шенфельд (д-р техн. наук, АО «ВНИИЖТ», Москва, Россия),
 Г. С. Фокс-Рабинович (д-р техн. наук, Университет Макмастера, Гамильтон, Канада),
 Б. А. Лёвин (д-р техн. наук, проф., МИИТ, Москва, Россия),
 В. И. Сенько (д-р техн. наук, проф., Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Республика Беларусь),
 О. Н. Назаров (канд. техн. наук, ОАО «РЖД», Москва, Россия),
 Д. А. Мачерет (д-р экон. наук, проф., АО «ВНИИЖТ», Москва, Россия),
 Б. Е. Дынькин (д-р техн. наук, проф., РГУПС, Ростов-на-Дону, Россия),
 Е. Н. Розенберг (д-р техн. наук, проф., ОАО «НИИАС», Москва, Россия),
 А. В. Смольянинов (д-р техн. наук, проф., УРГУПС, Екатеринбург, Россия),
 Ли Сюэвей (д-р наук, проф., Пекин, Китайская Народная Республика)

Редакционная коллегия

А. Б. Косарев (председатель, д-р техн. наук, проф.),
 С. В. Фёдоров (д-р техн. наук, проф.),
 Ж. Е. Бедова (секретарь),
 С. М. Захаров (д-р техн. наук, проф.),
 Н. Ф. Сирина (д-р техн. наук, доцент),
 Д. В. Ермоленко (д-р техн. наук, доцент),
 Г. В. Гогричиани (д-р техн. наук),
 А. В. Котельников (д-р техн. наук, проф.),
 А. Я. Коган (д-р техн. наук, проф.),
 В. А. Ивницкий (д-р техн. наук, д-р физ.-мат. наук, проф.),
 В. А. Кучумов (д-р техн. наук, проф.),
 Е. А. Макарова (д-р экон. наук),
 Л. А. Мугинштейн (д-р техн. наук, проф.),
 Е. А. Шур (д-р техн. наук, проф.),
 Б. Э. Глюзберг (д-р техн. наук, проф.),
 О. Ф. Мирошниченко (д-р экон. наук, проф.)

Учредитель — АО «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта».

Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ). Статьи рецензируются.

© «Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта» («Вестник ВНИИЖТ»), Москва, 2017

Вестник

Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта

Вестник ВНИИЖТ | Том 76, 6/2017
 DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2017-76-6>

СОДЕРЖАНИЕ

Новая информационная технология**централизованного управления пассажирским вагонным парком**

А. В. Комиссаров, Е. А. Зубкова, Е. Г. Крохалева,
 М. А. Евгеньева, Н. Б. Караванова, А. А. Веселова,
 Р. Ю. Захаров, Ю. А. Иоффе, М. А. Скворцов 323–328

Методика расчета токораспределения

в тяговых сетях переменного тока
 А. Б. Косарев, Б. И. Косарев 329–335

Алюминиевые литейные антифрикционные сплавы с повышенной способностью к приспособляемости поверхностей трения

А. Е. Миронов, И. С. Гершман, Е. И. Гершман,
 С. М. Захаров, П. А. Подрабинник 336–340

Развитие системы управленческого учета затрат

вокзального комплекса железнодорожного транспорта
 О. Ф. Мирошниченко, А. Е. Огинская 341–347

Устройство для смазывания открытых узлов трения

А. Д. Петрушин, О. Л. Игнатъев, Д. В. Глазунов 348–353

Определение сил взаимодействия в системе

колесо — рельс на основании измерения напряжений в шейке рельса
 Ю. С. Ромен, О. А. Сулов, А. А. Баляева 354–361

Основные положения проектирования

земляного полотна высокоскоростных железнодорожных линий
 П. И. Дыдышко, С. В. Ольхина 362–370

Исследования сконструированных подрельсовых опор

М. Ю. Хвостик, М. А. Стародубцева 371–376

Применение функции временной регуляции

чувствительности при настройке условной чувствительности ультразвукового контроля

деталей подвижного состава железных дорог

эхо-импульсным методом

А. Н. Киреев, В. А. Витренко 377–382

Содержание журнала «Вестник ВНИИЖТ» за 2017 год 383–384

Свидетельство о регистрации
 ПИ № ФС77-35600 от 17.03.2009.
 Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов статей.
 Редакция не несет ответственности за содержание рекламных материалов.
 Адрес учредителя, издателя, редакции журнала «Вестник ВНИИЖТ»:
 129626, Москва, 3-я Мытищинская ул., 10.
 Тел. (499) 260-43-19.
 Цена свободная.

Главный редактор — Ж. Е. Бедова.
 Ответственный за выпуск — Е. Ю. Титов, канд. техн. наук.
 Подписано к печати 20.12.2017.
 Дата выхода в свет 29.12.2017.
 Формат бумаги 60×90 1/8. Офсетная печать.
 Усл. печ. л. 8. Тираж 600 экз. Заказ 1903.
 Верстка — ООО «ИПП «КУНА».
 Отпечатано в ООО «Типография Парадиз», 143090, Московская обл., г. Краснознаменск, ул. Парковая, д. 2а. Тел. (495) 775-24-10.

Vestnik VNIIZhT

Vestnik of the Railway Research Institute
Vol. 76, 6/2017

DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2017-76-6>

Contents

New information technology of centralized management of passenger car fleet

by A. V. Komissarov, E. A. Zubkova, E. G. Krokhalova, M. A. Evgen'eva, N. B. Karavanova, A. A. Veselova, R. Yu. Zakharov, Yu. A. Ioffe, M. A. Skvortsov 323–328

Calculation methodology of current distribution in traction networks of AC current

by A. B. Kosarev, B. I. Kosarev 329–335

Aluminum casting antifriction alloys with increased capacity to adaptability of friction surfaces

by A. E. Mironov, I. S. Gershman, E. I. Gershman, S. M. Zakharov, P. A. Podrabinnik 336–340

Development of the system of management accounting of costs of the railway transport complex

by O. F. Miroshnichenko, A. E. Oginskaya 341–347

Device for lubrication of open friction units

by A. D. Petrushin, O. L. Ignat'ev, D. V. Glazunov 348–353

Determining the force of interaction in a wheel – rail system based on measuring stresses in rails neck

by Yu. S. Romen, O. A. Suslov, A. A. Balyaeva 354–361

Basic provisions for the design of the roadbed for high-speed railway lines

by P. I. Dydyshko, S. V. Ol'khina 362–370

Studies of the constructed rail seat supports

by M. Yu. Khvostik, M. A. Starodubtseva 371–376

Application of DAC function at the setting of conditional sensitivity of ultrasonic control of rolling stock parts with echo-pulse method

by A. N. Kireev, V. A. Vitrenko 377–382

General contents of the magazine "Vestnik VNIIZhT" in 2017

..... 383–384

Editorial Board:

Alexander B. Kosarev
(Dr. Sci. (Eng.), Prof.),
Sergey V. Fedorov
(Dr. Sci. (Eng.), Prof.),
Sergey M. Zakharov
(Dr. Sci. (Eng.), Prof.),
Nina F. Sirina
(Dr. Sci. (Eng.), Associate Prof.),
Dmitriy V. Ermolenko
(Dr. Sci. (Eng.), Associate Prof.),

Georgy V. Gogrichiani
(Dr. Sci. (Eng.)),
Alexander V. Kotelnikov
(Dr. Sci. (Eng.), Prof.),
Alexander Ya. Kogan
(Dr. Sci. (Eng.), Prof.),
Victor A. Ivnitkiy
(Dr. Sci. (Eng.), Dr. Sci. (Phys. and Math.), Prof.),
Vladislav A. Kuchumov
(Dr. Sci. (Eng.), Prof.),

Elena A. Makarova
(Dr. Sci. (Econ.)),
Lev A. Muginshtein
(Dr. Sci. (Eng.), Prof.),
Evgeniy A. Shur
(Dr. Sci. (Eng.), Prof.),
Boris E. Glyuzberg
(Dr. Sci. (Eng.), Prof.),
Olga F. Miroshnichenko
(Dr. Sci. (Econ.), Prof.)

Scientific Editors — D. P. Markov, L. A. German, E. A. Makarova

Editor-in-Chief: Joan E. Bedova
Person responsible for the issue: E. Yu. Titov
E-mail: journal@vniizht.ru.
Layout & Design: OOO "IPP "KUNA".
Passed for printing 20.12.2017

Editorial office: 10, 3rd Mytischinskaya, 129626 Moscow, Russian Federation
Tel.: +7 (499) 260 4319.
Print: "Printing-office Paradiz LTD".
info@paradiz.ru. Format 60x90 1/8.
Circulation 600 copies

Vestnik VNIIZhT
is published six times per year
First published in 1942
ISSN 2223 – 9731

A peer reviewed scientific and technological journal

Publisher:

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

International Advisory Board:

Victor V. Stepov,

Cand. Sci. (Econ.), General Director of JSC "VNIIZhT",
Master's degree in business administration (MBA)
in Stockholm School of Economics, Moscow,
Russian Federation

Vladimir E. Fortov,

Dr. Sci. (Phys. and Math.), Professor, Academician of the
Russian Academy of Sciences (RAS), Director of United High
Temperature Institute of RAS, Moscow, Russian Federation

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

Coenraad Esveld,

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

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

Sebastian Kummer,

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

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

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

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

Konstantin P. Shenfeld,

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

Herman S. Fox-Rabinovich,

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

Boris A. Levin,

Dr. Sci. (Eng.), Professor, rector of the Moscow State
University of Railway Engineering (MIIT),
Moscow, 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 (Peking University, China)

Benjamin I. Senco,

Dr. Sci. (Eng.), Professor, rector of the Belorussian State
University of Transport, Gomel, Republic of Belarus

Oleg N. Nazarov,

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

Dmitriy A. Macheret,

Dr. Sci. (Econ.), Professor, JSC "VNIIZhT", Joint Research
Council of JSC RZD, 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

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 NIAC), Moscow, Russian Federation

Alexander V. Smolyaninov,

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

© JSC Railway Research Institute, Moscow 2017

Новая информационная технология централизованного управления пассажирским вагонным парком

**А. В. КОМИССАРОВ¹, Е. А. ЗУБКОВА¹, Е. Г. КРОХАЛЕВА², М. А. ЕВГЕНЬЕВА¹,
Н. Б. КАРАВАНОВА¹, А. А. ВЕСЕЛОВА¹, Р. Ю. ЗАХАРОВ¹, Ю. А. ИОФФЕ¹, М. А. СКВОРЦОВ¹**

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

² Акционерное общество «Федеральная пассажирская компания» (АО «ФПК»), Москва, 107078, Россия

Аннотация. Возрастающие требования потребителей к качеству предоставляемой информации, на основе которой осуществляются управляющие воздействия, а также быстрое совершенствование технических средств вынуждают разработчиков автоматизированных систем постоянно перерабатывать или создавать все более качественные продукты.

В статье приведен краткий анализ двадцатилетней работы линейных предприятий с подсистемой АСУПВ (АСУПВ ЛП), с помощью которой осуществляется ввод документов-первоисточников по вагонному парку, формирование составов поездов и слежение за содержанием парка пассажирских вагонов.

Назначением разрабатываемой новой системы АСУПВ ЛП-2 является обеспечение автоматизации технологических процессов централизованного управления пассажирским вагонным парком линейных предприятий для повышения результативности и эффективности работы отрасли, которая позволит оптимизировать работу пассажирских линейных предприятий, контролировать соблюдение технологических процессов, обеспечить доступность достоверной информации для заинтересованных пользователей.

Также в статье изложена основная цель новой информационной технологии — получение посредством однократной переработки первичных данных информации нового качества, на основе которой должны вырабатываться оптимальные управленческие решения. Рассмотрены основные задачи разрабатываемой системы.

Ключевые слова: пассажирский вагон; пассажирский поезд; линейное предприятие; уровень управления; безопасность движения

Введение. Краткий анализ двадцатилетней работы линейных предприятий (ЛП) и организаций ОАО «РЖД» в автоматизированной системе управления эксплуатацией и ремонтами парка пассажирских вагонов (АСУПВ) показал, что дальнейшее совершенствование информационной технологии, на основе которой вырабатываются оптимальные управляющие воздействия, требует нового подхода к организации вычислительного процесса на базе новых технических решений [1].

Существующая система разработана по принципу информационной интеграции объектов, кото-

рые условно разделены по выполняемым функциям управления на три уровня: линейный, региональный и сетевой.

Линейный уровень управления — это предприятия сети, на которых приписаны или обслуживаются пассажирские вагоны. ЛП являются поставщиками основной части информации об эксплуатации и ремонте парка пассажирских вагонов.

Региональный уровень управления — это организации, образованные по территориальному принципу управления, в подчинение которым попадают линейные предприятия, находящиеся на территории региона.

Сетевой уровень управления — это головная организация, осуществляющая управление всеми пассажирскими перевозками на сети железных дорог России.

В подсистеме АСУПВ линейного уровня (АСУПВ ЛП), работающей на ЛП (пассажирские вагонные депо, вагонные участки, пункты технического обслуживания, вагоноремонтные заводы), осуществляется ввод и корректировка информации об эксплуатации и ремонтах пассажирских вагонов на основе документов-первоисточников.

С линейного уровня поступает 99,9% информации. На основе этих данных в АСУПВ на разных уровнях управления функционируют аналитические комплексы задач, реализующие формирование оперативной и статистической отчетности по распределению и использованию пассажирского вагонного парка вагонов ОАО «РЖД» и вагонов государств — участников Содружества. Кроме этого, осуществляется планирование и анализ сроков проведения ремонтов и ТО-3 пассажирских вагонов, проводится анализ надежности и качества выполненных ремонтов пассажирских вагонов, анализ сроков службы пассажирских вагонов, осуществляется слежение за списанием и продажей вагонов.

Для удобства работы пользователей в АСУПВ создана информационно-справочная система, предоставляющая возможности самостоятельно генери-

■ E-mail: karavanova.nataliya@vniizht.ru (Н.Б. Караванова)

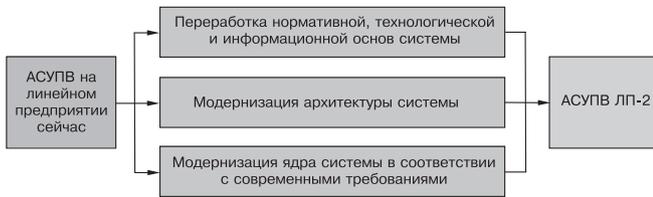


Рис. 1. Основные цели реинжиниринга автоматизируемых процессов

Fig. 1. The main objectives of reengineering automated processes

ровать справку любой структуры о вагонном парке и выдавать ее в необходимом виде.

Причины реинжиниринга. Информационная динамическая модель парка пассажирских вагонов Российской Федерации, созданная в АСУПВ, является источником данных для многих внешних автоматизированных систем и смежных предприятий ОАО «РЖД».

Однако в результате постоянного развития в АСУПВ стали выявляться факторы, которые потребовали реинжиниринга существующего программного обеспечения как процесса создания новых программных модулей путем революционного изменения уже имеющихся в эксплуатации программного обеспечения и информационной технологии [2] (рис. 1).

Основными факторами, требующими реинжиниринга программного обеспечения, стали следующие:

- Большое количество нормативных документов и основополагающих приказов, используемых при управлении вагонным парком, за годы работы системы было отменено или заменено принципиально новыми.
- Произошло существенное перераспределение парка пассажирских вагонов между группами собственников, претерпела изменения структура предприятий, что повлекло за собой модификацию программного обеспечения с целью учета особенностей и правил управления пассажирским парком каждого собственника.
- Решение задач управления вагонным парком ЛП потребовало получения в интерактивном режиме дан-

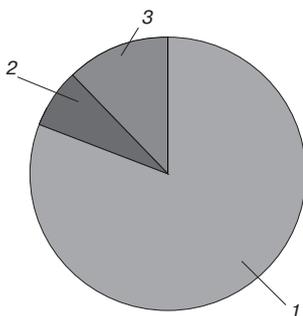


Рис. 2. Структура парка пассажирских вагонов по принадлежности собственникам: 1 — АО «ФПК»; 2 — ЦДМВ; 3 — собственники, не входящие в ОАО «РЖД»

Fig. 2. The structure of the fleet of passenger cars by ownership of the owners: 1 — JSC «FPK»; 2 — TsDMV; 3 — owners who are not members of the JSC «Russian Railways»

ных об операциях с вагонами, которые совершаются в других подразделениях, что поставило условие интеграции АСУПВ ЛП со смежными предприятиями, а также получения достоверной информации в режиме реального времени.

• За годы развития АСУПВ было написано много программ, часть из которых создавалась в старых операционных системах и не лишена недостатков [3, 4].

Анализ сбоев АСУПВ ЛП за последние два года показал следующую статистику:

- вероятность выхода из строя компьютера составляет 2 %;
- на сбой в работе жесткого диска приходится 28 %;
- на вирусные атаки приходится 4 %;
- случаи нарушения данных в результате ошибок пользователей и обслуживающего персонала составляют 65 %;
- остальные случаи составляют 1 %.

Среди основных источников ошибок, приводящих к недостоверности информации, можно выделить:

- некачественно составленные первичные документы;
- ошибки оператора при вводе информации;
- передача информации (ошибки в каналах связи);
- обработка информации (сбои, алгоритмические и программные ошибки);
- намеренные нерегламентированные действия пользователей для изменения информации (часто задним числом).

Некомпетентное, небрежное или невнимательное выполнение функциональных обязанностей сотрудниками приводит к уничтожению, нарушению целостности и конфиденциальности информации, а также компрометации механизмов защиты.

АСУПВ стала сложной для дальнейшего развития и модификации, а также для работы пользователей.

Потребовался новый подход к процессу автоматизации управления парком пассажирских вагонов [5, 6]. Это, в свою очередь, потребовало фундаментального переосмысления и радикального перепроектирования всех автоматизируемых процессов системы в целом для получения актуальных аналитических данных управленческим персоналом, осуществляющим пассажирские перевозки [7].

Предлагаемые решения. Весь пассажирский подвижной состав, эксплуатируемый на дорогах РФ, имеет своих собственников (рис. 2):

- Федеральная пассажирская компания (АО «ФПК»). Ей принадлежит 81 % всего пассажирского подвижного состава. Ввод и корректировку данных осуществляют как выделенные операторы, так и специалисты-пользователи. Всего (по данным на начало 2016 г.) документы-первоисточники в АСУПВ вводили со 122 рабочих мест 267 человек.

- Центральная дирекция моторвагонного подвижного состава (ЦДМВ) и другие компании и организации ОАО «РЖД». Им принадлежат около 7 % вагонов.

- Собственники, не входящие в ОАО «РЖД», в том числе министерства и ведомства, владеют 12 % пассажирских вагонов.

Некоторые собственники пассажирских вагонов имеют свои эксплуатационные предприятия, а собственники, которые их не имеют, отдают свои вагоны в управление на предприятия других собственников для ввода актуальной информации.

В 2016 г. перед разработчиками АСУПВ (НЦ «Экспресс» АО «ВНИИЖТ») была поставлена задача разработки новой системы управления ЛП (АСУПВ ЛП-2), ориентированной на эффективность использования пассажирского вагонного парка.

Комплексный подход к решению данной проблемы включает в себя составной частью процессы централизованного управления парком пассажирских вагонов, содержащие набор следующих функциональностей:

- оптимизация состава приписного парка пассажирских вагонов;
- снижение эксплуатационных затрат на содержание и ремонты пассажирских вагонов;
- контроль соблюдения технологических нормативов в процессе выполнения работ;
- снижение затрат на эксплуатацию подвижного состава, сокращение непроизводительных расходов;
- внедрение системы менеджмента качества выполненных работ и идентификация исполнителей технологических операций;
- внедрение системы слежения за качеством обслуживания пассажиров в поездах;
- внедрение системы анализа надежности и качества выполненных ремонтов пассажирских вагонов ремонтными предприятиями и заводами;
- обеспечение безопасности движения пассажирских поездов;
- автоматизация работы управленческого персонала по оценке динамики и структуры эксплуатационных показателей работы парка пассажирских вагонов;
- создание комфортных условий работы пользователей на всех уровнях управления за счет минимизации ручных операций по подготовке и анализу данных и системы логического контроля операций.

Информационной основой АСУПВ ЛП-2 служат паспортные данные пассажирских вагонов, техническая документация на пассажирский вагон, документы-первоисточники по пассажирскому вагонному хозяйству.

Вся исходная информация вводится на том ЛП, на котором вагон приписан, либо которое приняло его в управление. Документы, оформляемые на эксплуатацию, ремонты и техническое обслуживание, должны

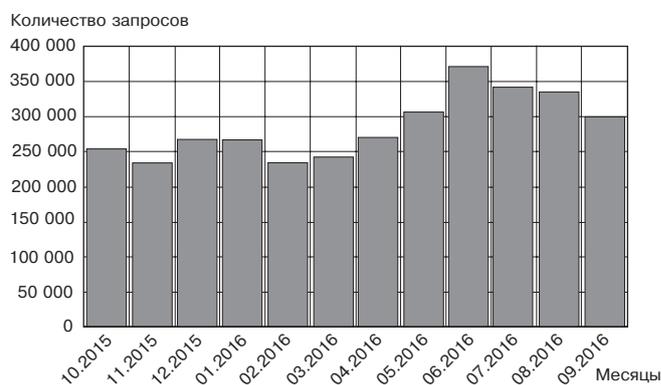


Рис. 3. Объемы передаваемой информации
Fig. 3. Volumes of transmitted information

вводиться на предприятиях, осуществляющих операции с вагоном.

Результаты деятельности пользователей ЛП автоматически передаются и сохраняются в единой базе данных АСУПВ и становятся доступными для работы пользователей всех уровней управления.

Основным требованием, которое должно быть заложено в разрабатываемую систему для обеспечения достоверности информации, является блокировка ошибочных действий пользователя.

База данных АСУПВ представляет собой надежное хранилище структурированных данных, снабженное специальным механизмом для их эффективного использования в интересах пользователей. При такой организации проще решаются проблемы защиты информации от преднамеренных угроз, поддержания актуальности и непротиворечивости данных.

Единая информационная объектно-ориентированная база данных АСУПВ представляет собой модель парка пассажирских вагонов РФ, в которую каждый месяц с ЛП поступает в среднем 250 000 запросов (рис. 3). Каждый запрос осуществляет корректировку данных в части изменений либо конструкционного устройства вагона, либо дислокации, либо вида его использования. Многообразие видов использования пассажирских вагонов приведено на рис. 4.

Обеспечение безопасности движения пассажирских поездов на инфраструктуре ОАО «РЖД» поддерживается требованием обязательного наличия каждого пассажирского вагона в базе данных АСУПВ, а при эксплуатации вагона проверяются его эксплуатационные ресурсы, подтверждающие или запрещающие постановку вагона в поезд.

Объектами управления АСУПВ ЛП-2 должны стать как пассажирский вагон локомотивной тяги любого типа и формы собственности, так и пассажирский поезд. Такой подход к управлению позволит оценивать использование вагонного парка за любой период времени, планировать назначение и отмену поездов с учетом оптимальной потребности, перерас-

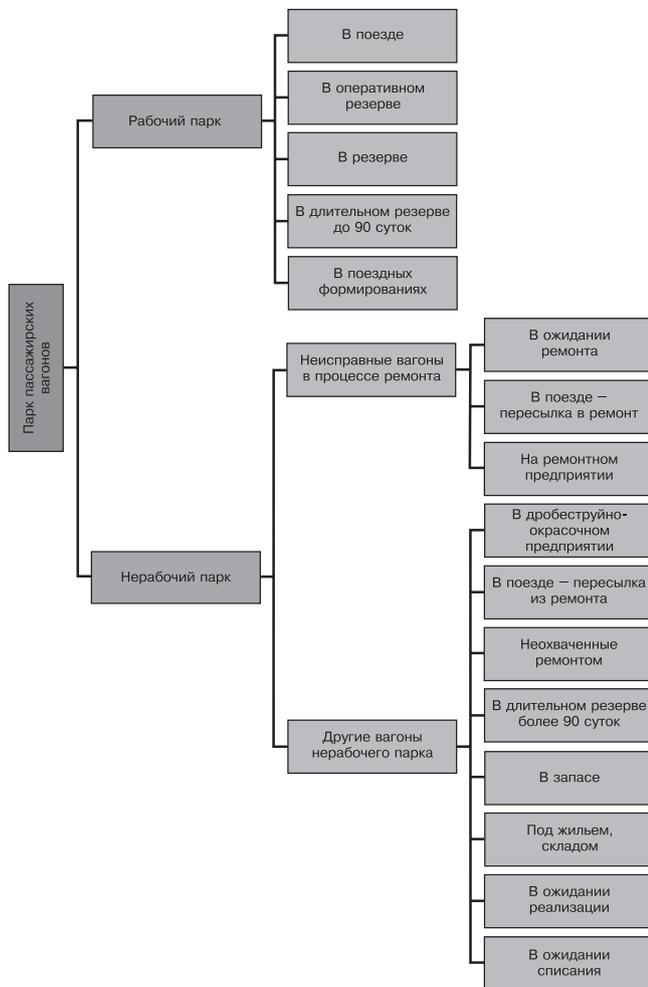


Рис. 4. Структура пассажирского парка по использованию
Fig. 4. Structure of the passenger fleet for use

пределять парк вагонов в зависимости от потребности, ремонтов и поставки новых вагонов.

Основные требования, заложенные в разрабатываемую систему, заключаются в следующем:

- АСУПВ ЛП-2 обеспечивает сбор, обработку и анализ информации о состоянии пассажирского вагона в виде документов, вводимых в систему однократно;
- система строится на распределенном учете документооборота, интегрированном отображении работы каждого вагона и выработке управляющих воздействий для оптимального управления;
- АСУПВ ЛП-2 разрабатывается как типовая система, т.е. работоспособная на всех ЛП сети, включая вагоноремонтные заводы;
- обеспечение безопасности движения пассажирских поездов, реализованное в настоящее время в АСУПВ ЛП, должно сохраняться в новом программном обеспечении АСУПВ ЛП-2;
- АСУПВ ЛП-2 в целом и все виды ее обеспечения должны быть приспособлены к модернизации, развитию и наращиванию;

– в АСУПВ ЛП-2 должны быть предусмотрены меры защиты от неправильных действий персонала, приводящие к аварийному состоянию системы, от случайных изменений и разрушения информации и программ, а также от несанкционированного вмешательства;

– в программном обеспечении должны быть определены права доступа в системе в соответствии со статусом пользователя, реализована процедура автоматического ведения журнала поступающих в систему запросов с указанием того, от кого поступил запрос, когда и на основании какого документа;

– режим работы пользователей должен осуществляться в соответствии с их должностными инструкциями, которые определяют права и обязанности лиц, участвующих в эксплуатации и использовании системы, а также указывают действия в аварийных ситуациях;

– в разрабатываемой системе необходимо реализовать стратегические цели централизованного управления пассажирскими перевозками.

Бизнес-задача управления эксплуатацией и ремонтами пассажирских вагонов [8] зависит от множества параметров, основными из которых являются:

- наличие необходимого и достаточного количества вагонов каждого типа и категорий, отвечающих запланированному объему перевозок;
- оптимальное закрепление вагонов за составами поездов с учетом заданных условий (срок службы, фирменность, технические требования, категория поезда);
- оптимальное распределение вагонного парка по направлениям движения поездов и наличие возможности перераспределения парка по регионам в случаях повышенного пассажиропотока;
- наличие гибкой системы планирования ремонтов вагонов для получения ремонтного фонда, основная часть которого по времени проведения ремонтов и технического обслуживания не должна выпадать на пиковые периоды перевозок пассажиров;
- наличие системы, позволяющей соотносить скорость старения парка вагонов с материальными затратами на воспроизводство парка, а также с наличием достаточного предложения со стороны заводов-изготовителей.

Основной целью создания АСУПВ ЛП-2 является переход от управления пассажирским вагонным парком на основе документов-первоисточников к созданию интеллектуального пассажирского вагонного предприятия с возможностями результативного и эффективного управления на основе предлагаемых системных решений [9, 10].

В основе разработки интеллектуального вагонного предприятия лежит требование предоставления механизма управления производственными процессами пассажирского вагонного предприятия на современной

программно-технической платформе. Это должно достигаться за счет распределенного ввода в местах зарождения документов-первоисточников, информационной увязки документов в соответствии с современными процессами управления парком и интеграционными процессами работы всех смежных предприятий, участвующих в управлении пассажирскими перевозками.

Желательным результатом разработки должно стать полное исключение ручного составления документов и отчетов по пассажирскому вагонному парку. С этой целью необходимо утверждение в ОАО «РЖД» электронного вида документов-первоисточников и отчетов с нанесением на них электронных цифровых подписей и возможностью передач по телекоммуникационным каналам связи.

Выводы. 1. Итогом создания интеллектуального пассажирского вагонного предприятия должна стать выработка рекомендаций и предложений, реализующих оптимальное управление эксплуатацией и ремонтами парка пассажирских вагонов с использованием информационных технологий.

2. Создание единого информационного пространства для обмена данными между удаленными подразделениями, возможность консолидации данных в центральной базе, поддержка в режиме реального времени централизованной управленческой системы — все это должно позволить принимать обоснованные решения по управлению парком пассажирских вагонов в целом и на каждом ЛП в отдельности.

3. Реализация данной стратегии даст возможность резко сократить непроизводительные расходы при управлении пассажирским вагонным парком и получить определенный экономический эффект.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Оптимизация управления эксплуатацией и ремонтом парка пассажирских вагонов / Б. Е. Марчук [и др.] // Железнодорожный транспорт. 2006. № 7. С. 48–52.
2. Ивницкий В. А., Поплавский А. А. Проблема перехода к информационно-управляющему режиму в системе оперативной организации перевозочного процесса // Вестник ВНИИЖТ. 2007. № 1. С. 15–21.
3. Веселова М. А. Методика оценки скорости увеличения пробега пассажирских вагонов в комплексе планирования ремон-

тов в АСУПВ на базе «Экспресс-3» // Вестник ВНИИЖТ. 2005. № 6. С. 12–15.

4. Теплышева Е. В., Веселова М. А., Мольвер Ю. Е. Автоматизация планирования ремонта пассажирских вагонов в АСУПВ на базе системы «Экспресс-2» // Автоматика, связь, информатика. 1999. № 9. С. 15.

5. Лapidус Б. М., Лapidус Л. В. Железнодорожный транспорт: философия будущего. М.: Прометей, 2015. 232 с.

6. Лернер А. Я. Начала кибернетики. М.: Наука, 1967. 400 с.

7. Карпушов В. М., Карпушов А. В., Кудряшов Р. Д. Концепция построения автоматизированной системы управления формированием составов и содержания парка пассажирских вагонов линейного предприятия в АСУПВ // Автоматика, связь, информатика. 1999. № 9. С. 12–14.

8. Тишкин Е. М. Автоматизация управления вагонным парком. М.: Интекст, 2000. 224 с.

9. Сотников Е. А., Ивницкий В. А., Ольшанский А. М. Принципы интеллектуализации оперативного управления перевозочным процессом железнодорожного транспорта общего пользования // Вестник ВНИИЖТ. 2014. № 2. С. 40–47.

10. Фримен Эр., Фримен Эл., Сьерра К., Бейтс Б. Паттерны проектирования. СПб.: Питер, 2011. 670 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

КОМИССАРОВ Андрей Васильевич, директор НЦ «Экспресс», АО «ВНИИЖТ»

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

КРОХАЛЕВА Елена Гениевна, заместитель начальника отдела «Управление вагонного хозяйства», АО «ФПК»

ЕВГЕНЬЕВА Мария Александровна, канд. техн. наук, заместитель начальника лаборатории, НЦ «Экспресс», АО «ВНИИЖТ»

КАРАВАНОВА Наталия Борисовна, начальник лаборатории, НЦ «Экспресс», АО «ВНИИЖТ»

ВЕСЕЛОВА Анна Александровна, главный технолог, НЦ «Экспресс», АО «ВНИИЖТ»

ЗАХАРОВ Роман Юрьевич, главный технолог, НЦ «Экспресс», АО «ВНИИЖТ»

ИОФФЕ Юрий Александрович, ведущий инженер, НЦ «Экспресс», АО «ВНИИЖТ»

СКВОРЦОВ Михаил Александрович, главный программист, НЦ «Экспресс», АО «ВНИИЖТ»

Статья поступила в редакцию 19.09.2017 г., принята к публикации 21.11.2017 г.

New information technology of centralized management of passenger car fleet

A. V. KOMISSAROV¹, E. A. ZUBKOVA¹, E. G. KROKHALEVA², M. A. EVGEN'EVA¹, N. B. KARAVANOVA¹, A. A. VESELOVA¹, R. Yu. ZAKHAROV¹, Yu. A. IOFFE¹, M. A. SKVORTSOV¹

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

² Joint Stock Company "Federal Passenger Company" (JSC "ФПК"), Moscow, 107078, Russia

Abstract. Steady requirements of consumers to the quality of the information provided, on the basis of which the control actions are carried out, as well as the acceleration of technical means related

to the development of automated systems, make it necessary to constantly process or create higher quality products. The requirement to improve the basic information solutions using modern

technical resources offered by industry was the reason for the rework of the existing business process for managing the fleet of passenger cars implemented in the automated system for managing operation and repair of the passenger car fleet (ASUPV).

The article gives a brief analysis of the 20-year work of the linear enterprises (LP) with the ASUPV — (ASUPV LP) subsystem, with the help of which the source documents are entered into the car park, trains are formed and the passenger car fleet maintenance is monitored. This subsystem is the main supplier of information for obtaining analytical data at all levels of passenger car fleet management.

The article also outlines the main goal of the new information technology — obtaining, through single processing of primary data, new quality information, on the basis of which optimal management solutions should be developed.

The purpose of the newly developed ASUPV LP-2 system is to automate the technological processes of centralized management of the passenger fleet of linear enterprises to improve performance and efficiency of the industry, which will allow optimizing the work of passenger line enterprises, monitoring compliance with technological processes and ensuring the availability of reliable information to interested users.

The article describes the main tasks of the developed system: ensuring the need for the necessary and sufficient number of passenger cars for the fulfillment of the transportation plan at the linear enterprise; creating of guaranteed traffic safety of the formed passenger trains; improving the quality of repairs and maintenance.

It is noted that the sources of increased complexity of managing the passenger car fleet are the constantly increasing complexity of business processes automated at the linear enterprise, which conflicts with the existing regulatory and technological base, as well as increasing requirements for the speed and accuracy of execution of all operations with cars.

It is also indicated that automatic monitoring of the input sequence of source documents and its information interconnection should be created in the developed system and a system of automated control and prevention of conscious violations performed by users should be developed in order to improve the performance of their own work. The system should control the user's actions as much as possible and check the information entered by the user for compliance with regulatory requirements.

Keywords: passenger car; passenger train; linear enterprise; management level; traffic safety

DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2017-76-6-323-328>

REFERENCES

1. Marchuk B. E., Krasil'nikova N. N., Rubinskaya A. P. *Optimizatsiya upravleniya ekspluatatsiy i remontom parka passazhirskikh vagonov* [Optimization of management of operation and repair of the passenger car fleet]. *Zheleznodorozhnyy transport*, 2006, no. 6, pp. 48–52.
2. Ivnitkiy V. A., Poplavskiy A. A. *Problema perekhoda k informatsionno-upravlyayushchemu rezhimu v sisteme operativnoy organizatsii perevoznogo protsesssa* [The problem of transition to information-control mode in the system of operational organization of the transportation process]. *Vestnik VNIIZhT* [Vestnik of the Railway Research Institute], 2007, no. 1, pp. 15–21.
3. Veselova M. A. *Metodika otsenki skorosti uvelicheniya probe-ga passazhirskikh vagonov v komplekse planirovaniya remontov v ASUPV na baze "Ekspress-3"* [The method for estimating the speed of increasing the mileage of passenger cars in the repair planning

complex in the ASUPV based on "Express-3"]. *Vestnik VNIIZhT* [Vestnik of the Railway Research Institute], 2005, no. 6, pp. 12–15.

4. Teplysheva E. V., Veselova M. A., Mol'ver Yu. E. *Avtomatizatsiya planirovaniya remonta passazhirskikh vagonov v ASUPV na baze sistemy "Ekspress-2"* [Automation of planning the repair of passenger cars in the ASUPV based on the "Express-2" system]. *Automation, communication and Informatics*, 1999, no. 9, p. 15.

5. Lapidus B. M., Lapidus L. V. *Zheleznodorozhnyy transport: filosofiya budushchego* [Railway transport: the philosophy of the future]. Moscow, Prometey Publ., 2015, 232 p.

6. Lerner A. Ya. *Nachala kibernetiki* [The beginnings of cybernetics]. Moscow, Nauka Publ., 1967, 400 p.

7. Karpushov V. M., Karpushov A. V., Kudryashov R. D. *Kontseptsiya postroeniya avtomatizirovannoy sistemy upravleniya formirovaniem sostavov i soderzhaniya parka passazhirskikh vagonov lineynogo predpriyatiya v ASUPV* [The concept of constructing an automated control system for the formation of trains and the content of a fleet of passenger cars of a linear enterprise in ASUPV]. *Automation, communication and Informatics*, 1999, no. 9, pp. 12–14.

8. Tishkin E. M. *Avtomatizatsiya upravleniya vagonnym parkom* [Automation of car fleet management]. Moscow, Intext Publ., 2000, 224 p.

9. Sotnikov E. A., Ivnitkiy V. A., Ol'shanskiy A. M. *Printsipy intellektualizatsii operativnogo upravleniya perevoznym protsessom zheleznodorozhnogo transporta obshchego pol'zovaniya* [Intellectualization concept of operating traffic management of public railway transport]. *Vestnik VNIIZhT* [Vestnik of the Railway Research Institute], 2014, no. 2, pp. 40–47.

10. Friman Er., Friman El., Sierra K., Bates B. *Patterny rpoektirovaniya* [Design Patterns]. St. Petersburg, Piter Publ., 2011, 610 p.

ABOUT THE AUTHORS

Andrey V. KOMISSAROV,
Director of Research Center "Express", JSC "VNIIZhT"

Elena A. ZUBKOVA,
Deputy Director of Research Center "Express", JSC "VNIIZhT"

Elena G. KROKHALEVA,
Deputy Head of the Department "Car fleet administration", JSC "FPK"

Maria A. EVGEN'EVA,
Cand. Sci. (Eng.), Deputy Head of the laboratory, Research Center "Express", JSC "VNIIZhT"

Natalia B. KARAVANOVA,
Head of Laboratory, Research Center "Express", JSC "VNIIZhT"

Anna A. VESELOVA,
Chief Process Engineer, Research Center "Express", JSC "VNIIZhT"

Roman Yu. ZAKHAROV,
Chief Process Engineer, Research Center "Express", JSC "VNIIZhT"

Yuriy A. IOFFE,
Leading Engineer, Research Center "Express", JSC "VNIIZhT"

Mikhail A. SKVORTSOV,
Chief Programmer, Research Center "Express", JSC "VNIIZhT"

Received 19.09.2017

Accepted 21.11.2017

E-mail: karavanova.nataliya@vniizht.ru (N. B. Karavanova)

Методика расчета токораспределения в тяговых сетях переменного тока

А. Б. КОСАРЕВ¹, Б. И. КОСАРЕВ²

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

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

Аннотация. В статье предложена методика расчета приведенного к напряжению 27,5 кВ эквивалентного сопротивления системы внешнего электроснабжения и силового тягового трансформатора.

Обоснована эквивалентная схема замещения системы тягового электроснабжения, позволяющая учесть падение напряжения на общем сопротивлении системы внешнего электроснабжения от тяговых токов рассматриваемой и соседних фидерных зон, транзитных токов в линии электропередачи продольного электроснабжения.

Ключевые слова: силовой тяговый трансформатор; система внешнего электроснабжения; тяговая сеть; короткое замыкание; ток; напряжение

Введение. Разработке системы тягового электроснабжения переменного тока посвящено в последнее время несколько публикаций [1, 2]. В них ставится задача о целесообразности учета сопротивлений системы внешнего электроснабжения и силовых тяговых трансформаторов при расчете токораспределения в тяговых сетях.

При всех достоинствах существующих методов расчета этих сопротивлений в опубликованных источниках имеются расхождения при определении параметров схемы замещения системы тягового электроснабжения [3, 4, 5, 6].

Ниже сделана попытка ответить на основные вопросы, касающиеся результатов расчета токораспределения в тяговых сетях переменного тока.

Методика расчета входного сопротивления системы внешнего электроснабжения и силового тягового трансформатора. Расчет напряжения (\dot{U}_3) на токоприемнике электровоза переменного тока целесообразно определять согласно выражению, вытекающему из теоремы об эквивалентном генераторе

$$\dot{U}_3 = \dot{U}_{xx} - \dot{I}_3 Z_{вх3},$$

где \dot{U}_{xx} — напряжение холостого хода на шинах тяговой подстанции.

Входное сопротивление ($Z_{вх3}$) относительно контактной сети и рельсового пути в месте нахождения электровоза с током \dot{I}_3 определяется из соотношения

$$Z_{вх3} = Z_{тс} + Z_{вх} + Z_{п},$$

где $Z_{тс}$ — сопротивление тяговой сети от тяговой подстанции до места нахождения электровоза (тока короткого замыкания); $Z_{вх}$ — входное сопротивление активного двухполюсника (ЭДС системы внешнего электроснабжения—силовой тяговый трансформатор—линия электропередачи продольного электроснабжения) относительно шин тяговой подстанции и рельсового пути в месте подключения трехэлементной отсасывающей цепи; $Z_{п}$ — переходное сопротивление, возникающее в месте короткого замыкания и моделирующее напряжение дуги.

Из теоремы об эквивалентном генераторе следует

$$Z_{вх} = \frac{\dot{U}_{кк}}{\dot{I}_к},$$

где $\dot{I}_к$ — ток короткого замыкания на шинах тяговой подстанции напряжением 27,5 кВ.

Отметим, что в ряде публикаций относительно $Z_{вх}$ имеются расхождения в его определении. Так, в руководящих указаниях по релейной защите систем тягового электроснабжения входное сопротивление $Z_{вх}$ рекомендуется рассчитывать согласно выражению [6]

$$Z_{вх} = 2U_n^2 \left[\frac{1}{S_c} + \frac{u_k \%}{100 S_n n} \right] = 2(Z_c + Z_T), \quad (1)$$

где $u_k \%$ — паспортное значение напряжения короткого замыкания; S_n — номинальная мощность силового тягового трансформатора; S_c — мощность короткого замыкания на вводе тяговой подстанции; U_n — номинальное напряжение на шинах вторичной (тяговой) обмотки силового тягового трансформатора; n — количество включенных на тяговой подстанции силовых тяговых трансформаторов; Z_c — сопротивление системы внешнего электроснабжения; Z_T — сопротивление силовых тяговых трансформаторов подстанции.

Отметим, что использование второго выражения формулы (1) для определения $Z_{вх}$ приводит к серьезным погрешностям, поскольку, как будет показано ниже, вместо коэффициента, равного 2, необходимо в формулу подставлять коэффициент, равный 2/3.

■ E-mail: kosarev.alexandr@vniizht.ru (А. Б. Косарев)

Справедливость формулы (1), по мнению авторов публикаций [1, 2], можно проверить, если вторичную обмотку трансформатора преобразовать в «звезду». Однако при таком преобразовании ток короткого замыкания протекает по двум фазам, хотя в реальной схеме, т. е. при соединении вторичной обмотки тягового трансформатора в «треугольник» сопротивлений, он распределяется по трем линейным проводам линии электропередачи продольного электроснабжения (ЛЭП).

В источниках [7, 8, 9] исследование работы ЛЭП и силовых трансформаторов при возникновении неполнофазных режимов рекомендуется проводить при помощи метода симметричных составляющих. Применительно к ЛЭП и силовым трансформаторам этот метод можно упростить, так как для токов прямой и обратной последовательностей активные и индуктивные сопротивления ЛЭП и обмоток трансформатора одинаковы [7].

Отметим, что при неучете токов намагничивания и при отсутствии составляющей тока нулевой последовательности, что имеет место при соединении вторичной (тяговой) обмотки силового трансформатора в «треугольник» сопротивлений, каждую фазу трансформатора можно рассматривать независимо — как однофазный трансформатор [7].

Прежде чем перейти к токораспределению \dot{I}_A , \dot{I}_B и \dot{I}_C в ЛЭП и обмотках трансформатора учтем, что фазные напряжения (ЭДС) внешнего электроснабжения в ряде случаев при незначительной мощности системы внешнего электроснабжения несимметричны и могут быть представлены ЭДС прямой ($\dot{E}_{A0_{np}}$, $\dot{E}_{B0_{np}}$, $\dot{E}_{C0_{np}}$), обратной ($\dot{E}_{A0_{обп}}$, $\dot{E}_{B0_{обп}}$, $\dot{E}_{C0_{обп}}$) и нулевой ($\dot{E}_{A0_n} = \dot{E}_{B0_n} = \dot{E}_{C0_n} = \dot{E}_{0_n}$) последовательностей. Укажем, что значение этих напряжений, их фазы не известны. Однако, как будет показано ниже, их определение для решения поставленной задачи (нахождения $Z_{вх}$) не понадобится. При соединении обмоток источника питания в «звезду» сопротивлений $\dot{E}_{0_n} = 0$.

Еще раз обратим внимание на то, что тяговая нагрузка переменного тока (ток короткого замыкания) создает несимметричную нагрузку для питающей ее трехфазной ЛЭП. Поэтому расчет системы тягового электроснабжения целесообразно выполнять методом симметричных составляющих. Представление системы тягового электроснабжения в виде однолинейной схемы замещения при расчете электромагнитных процессов в тяговых сетях, как это сделано в [1, 2], приводит к неконтролируемым погрешностям.

Определение входного сопротивления системы внешнего электроснабжения и тяговой подстанции выполним применительно к схеме, представленной на рис. 1 [9].

Переходя от источника тока к ЭДС при учете реального распределения тока по фазам вторичной обмотки силового тягового трансформатора, расчетная схема рис. 1 преобразуется в схему, приведенную на рис. 2.

На рис. 2 расчетные значения ЭДС, приведенные к фазному напряжению первичной обмотки силового тягового трансформатора, равны

$$\begin{aligned} \dot{E}_{ab} &= -\frac{1}{3}iZ_{2r}n; \quad \dot{E}_{bc} = \frac{2}{3}iZ_{2r}n; \\ \dot{E}_{ca} &= -\frac{1}{3}iZ_{2r}n, \sum_{i=1}^n X_i^2 \end{aligned} \quad (2)$$

где Z_{2r} — сопротивление одной фазы вторичной обмотки тягового трансформатора; n — коэффициент трансформации тягового трансформатора.

При линейном напряжении линии электропередачи продольного электроснабжения (ЛЭП) равны 110 кВ $n = \frac{110}{\sqrt{3} \cdot 27,5} = 2,31$.

Разложим \dot{E}_{ab} , \dot{E}_{bc} и \dot{E}_{ca} на симметричные составляющие источников ЭДС. Получим:

– напряжение нулевой последовательности

$$\dot{U}_{ab0} = \dot{U}_{bc0} = \dot{U}_{ca0} = 0;$$

– напряжение прямой последовательности фазы ab

$$\dot{E}_{ab_{np}} = \frac{1}{3}(\dot{E}_{ab} + a\dot{E}_{bc} + a^2\dot{E}_{ca}) = \frac{1}{3}iZ_{2r}ne^{+j120^\circ}$$

при $a = e^{+j120^\circ}$.

Напряжение обратной последовательности фазного напряжения вторичной обмотки

$$\dot{E}_{ab_{обп}} = \frac{1}{3}(\dot{E}_{ab} + a^2\dot{E}_{bc} + a\dot{E}_{ca}) = \frac{1}{3}iZ_{2r}ne^{-j120^\circ}.$$

Используя известное положение о распределении напряжений прямой и обратной последовательностей других фаз, а именно фаз bc и ca , запишем

$$\dot{E}_{bc_{np}} = \dot{E}_{ab_{np}} e^{-j120^\circ} = \frac{1}{3}iZ_{2r}n;$$

$$\dot{E}_{ca_{np}} = \dot{E}_{ab_{np}} e^{+j120^\circ} = \frac{1}{3}iZ_{2r}n;$$

$$\dot{E}_{bc_{обп}} = \dot{E}_{ab_{обп}} e^{+j120^\circ} = \frac{1}{3}iZ_{2r}n;$$

$$\dot{E}_{ca_{обп}} = \dot{E}_{ab_{обп}} e^{-j120^\circ} = \frac{1}{3}iZ_{2r}n.$$

Для нахождения линейного тока прямой последовательности в фазе A ($\dot{I}_{A_{np}}$) учтем следующее [8]. Влияние трансформации «звезда» — «треугольник» на фазовое положение векторов напряжения относительно нейтрали должно быть таким же, как и их влияние на положение векторов линейных токов. В противном случае не будут равны значения активной

и реактивной (обменной) мощностей с обеих сторон трансформатора. Поэтому для каждой трансформации с «треугольника» в «звезду» следует составляющую прямой последовательности сдвинуть на 90° против часовой стрелки. Подобным же образом составляющая обратной последовательности фазового положения, проходя трансформацию «треугольник» — «звезда», сдвигается по часовой стрелке на угол 90° . Тогда

$$\begin{aligned} \dot{I}_{A_{np}} &= \frac{\dot{E}_{A0_{np}}}{Z_3} - \frac{1}{3} j \frac{Z_{2T}}{Z_3} n e^{j120^\circ} e^{j90^\circ} = \\ &= \frac{\dot{E}_{A0_{np}}}{Z_3} + \frac{1}{3} j \frac{Z_{2T}}{Z_3} n e^{j30^\circ} \end{aligned} \quad (3)$$

при $Z_3 = Z_L + Z_{1T} + Z_{2T} n^2 = Z_L + Z_T$, где Z_L — сопротивление одной фазы ЛЭП от источника питания (районной подстанции) до тяговой подстанции; Z_{1T} — сопротивление первичной обмотки силового тягового трансформатора; Z_T — сопротивление одной фазы силового тягового трансформатора.

Известно, что $Z_T = 2Z_{1T} = 2Z_{2T} n^2$.

Аналогично токи прямой последовательности в фазах *B* и *C* равны

$$\begin{aligned} \dot{I}_{B_{np}} &= \dot{I}_{A_{np}} n e^{-j120^\circ} = \frac{\dot{E}_{B0_{np}}}{Z_3} + \frac{1}{3} j \frac{Z_{2T}}{Z_3} n e^{-j90^\circ}; \\ \dot{I}_{C_{np}} &= \dot{I}_{A_{np}} n e^{+j120^\circ} = \frac{\dot{E}_{C0_{np}}}{Z_3} - \frac{1}{3} j \frac{Z_{2T}}{Z_3} n e^{-j30^\circ}. \end{aligned}$$

Расчет токов обратной последовательности в фазе осуществляется по формуле:

$$\begin{aligned} \dot{I}_{A_{обп}} &= \frac{\dot{E}_{A0_{обп}}}{Z_3} - \frac{1}{3} j \frac{Z_{2T}}{Z_3} n e^{-j210^\circ} = \frac{\dot{E}_{A0_{обп}}}{Z_3} + \frac{1}{3} j \frac{Z_{2T}}{Z_3} n e^{-j30^\circ}; \\ \dot{I}_{B_{обп}} &= \dot{I}_{A_{обп}} n e^{+j120^\circ} = \frac{\dot{E}_{B0_{обп}}}{Z_3} + \frac{1}{3} j \frac{Z_{2T}}{Z_3} n e^{+j90^\circ}; \\ \dot{I}_{C_{обп}} &= \dot{I}_{A_{обп}} n e^{-j120^\circ} = \frac{\dot{E}_{C0_{обп}}}{Z_3} - \frac{1}{3} j \frac{Z_{2T}}{Z_3} n e^{+j30^\circ}. \end{aligned}$$

Окончательно можно записать выражения по определению токораспределения в линейных проводах

$$\begin{aligned} \dot{I}_A &= \dot{I}_{A_{np}} + \dot{I}_{A_{обп}} = \frac{\dot{E}_{A0}}{Z_3} + \frac{1}{\sqrt{3}} j \frac{Z_{2T}}{Z_3} n; \\ \dot{I}_B &= \dot{I}_{B_{np}} + \dot{I}_{B_{обп}} = \frac{\dot{E}_{B0}}{Z_3}; \\ \dot{I}_C &= \dot{I}_{C_{np}} + \dot{I}_{C_{обп}} = \frac{\dot{E}_{C0}}{Z_3} - \frac{1}{\sqrt{3}} j \frac{Z_{2T}}{Z_3} n \end{aligned} \quad (4)$$

при $\dot{E}_{A0} = \dot{E}_{A0_{np}} + \dot{E}_{A0_{обп}}$; $\dot{E}_{B0} = \dot{E}_{B0_{np}} + \dot{E}_{B0_{обп}}$;

$$\dot{E}_{C0} = \dot{E}_{C0_{np}} + \dot{E}_{C0_{обп}}.$$

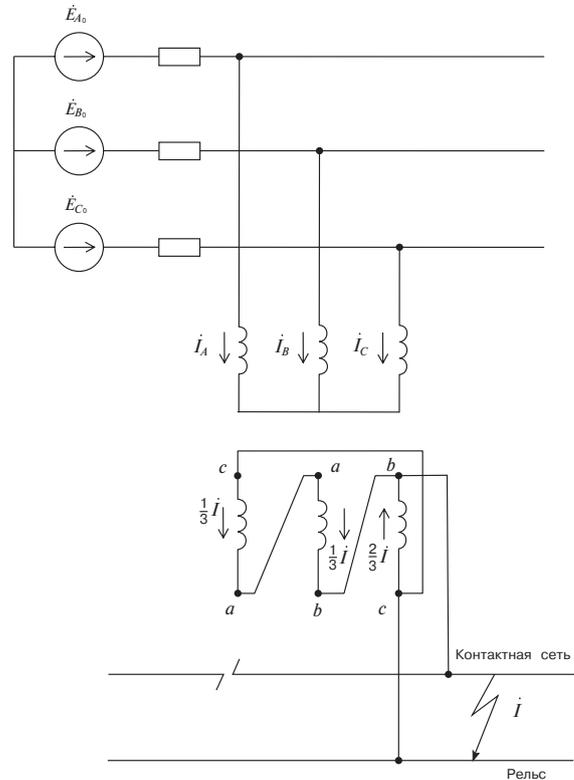


Рис. 1. Расчетная схема замещения системы внешнего электроснабжения и силового тягового трансформатора
Fig. 1. The calculated equivalent circuit of the external power supply system and a traction transformer

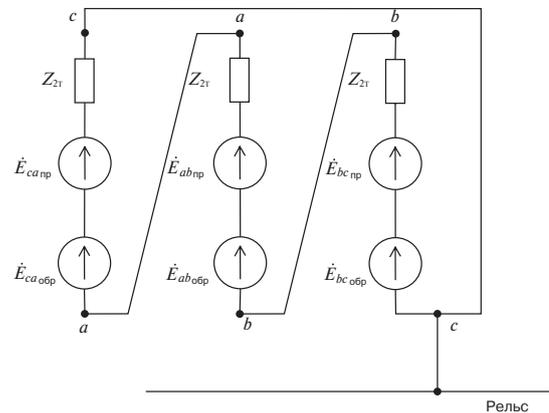


Рис. 2. Расчетная схема определения напряжений во вторичной обмотке силового тягового трансформатора
Fig. 2. The calculation scheme for determining stresses in the secondary winding of a power traction transformer

Для последующего нахождения $Z_{вх} = Z_{вх_{вс}}$ (входное сопротивление относительно зажима фазы *bc*) учтем следующее. Известно, что $\dot{I}_B = 2/3 \cdot \dot{I} / n$.

Тогда $\frac{\dot{E}_{B0}}{Z_3} = \frac{2 \dot{I}}{3 n}$. Откуда

$$Z_{вх_{вс}} = Z_{вх} = \frac{\dot{E}_{B0} n}{\dot{I}} = \frac{2}{3} Z_3 = \frac{2}{3} (Z_L + Z_T). \quad (5)$$

Остановимся на определении токов \dot{I}_A и \dot{I}_C . Из теории работы силового трансформатора [7] следует, что $\dot{I}_A = \dot{I}_C$. Кроме того, $\dot{I}_A + \dot{I}_C = -\dot{I}_B$.

Из выражений (4) найдем, что

$$\dot{I}_A + \dot{I}_C = \frac{\dot{U}_{A0}}{Z_3} + \frac{\dot{U}_{C0}}{Z_3} = -\frac{\dot{U}_{B0}}{Z_3} \text{ и } \dot{I}_A = \dot{I}_C = -\frac{\dot{U}_{B0}}{2Z_3}.$$

При расчетах токов короткого замыкания в тяговой сети выражение для определения $Z_{\text{вхвс}}$ имеет вид:

$$\begin{aligned} Z_{\text{вхвс}} &= \frac{2}{3}(Z_{\text{л}} + Z_{\text{т}}) = \frac{2}{3}\left(\frac{3U_{\text{н}}^2}{S_{\text{с}}} + \frac{3u_{\text{кз}}\%U_{\text{н}}^2}{S_{\text{н}}}\right) = \\ &= 2\left(\frac{U_{\text{н}}^2}{S_{\text{с}}} + \frac{u_{\text{кз}}\%U_{\text{н}}^2}{S_{\text{н}}}\right). \end{aligned} \quad (6)$$

Предлагаемая схема замещения и расчет системы тягового электроснабжения. В публикации [2] приведена, по мнению авторов, «...новая схема замещения для расчета токов короткого замыкания». Однако в [1, 2] не указан путь протекания тока короткого замыкания, возникающего при нарушении изоляции контактной сети. Поэтому ниже приведена схема из публикации [1] с указанием пути протекания тока ко-

роткого замыкания по элементам схемы замещения системы тягового электроснабжения (рис. 3).

В [2] отмечается, что расчет известной схемы замещения системы тягового электроснабжения имеет недостаток: отсутствует электрическая связь по ЛЭП между тяговыми подстанциями.

Справедливости ради следует указать, что учет электрической связи по ЛЭП между тяговыми подстанциями осуществлялся и ранее. Так, в [9] учет электрической связи между тяговыми трансформаторами выполнен с использованием метода симметричных составляющих как для определения уравнильных токов, так и для расчета энергетических соотношений в системе тягового и внешнего электроснабжения.

Отметим, что при разработке новой схемы замещения тяговой сети переменного тока необходимо, чтобы она отражала особенности работы тягового и внешнего электроснабжения. Так известно, что даже при отсутствии нагрузки на рассматриваемой фидерной зоне в тяговой сети протекают уравнильные токи. В предлагаемой расчетной системе публикации [1] эти токи не могут протекать. Кроме того, непонятно, каким образом происходит в предлагаемой схеме питание электроподвижного состава.

Полученное выражение для определения суммарного сопротивления системы внешнего электроснабжения позволяет выполнить расчеты по определению токораспределения, в том числе и при коротких замыканиях в тяговых сетях двухпутных участков при их двухстороннем питании.

Отметим, что в [1] для расчета тока короткого замыкания рекомендуется использовать схему замещения, представленную там же. Схема замещения тяговой сети (рис. 3) принципиально отличается от схемы, приведенной в [3, 4, 5]. Обратим внимание, что в [1] рельсовый путь на тяговой подстанции не подключен посредством отсасывающей линии к фазе силового тягового трансформатора (рис. 3), а это не допустимо. При отсутствии такого соединения в системе внешнего электроснабжения протекает ток нулевой последовательности, что при наличии силового трехфазного трансформатора быть не должно.

Укажем, на наш взгляд, причину нецелесообразности использования предложенной в [1, 2] расчетной схемы для определения тока короткого замыкания и исследования электромагнитных процессов в тяговых сетях.

Так, сведение неполнофазных режимов работы несимметричных систем электроснабжения к расчету однолинейной схемы электроснабжения обуславливает появление неконтролируемой погрешности. Это, в свою очередь, приводит к отказу в новой схеме замещения тяговой сети [1] соединения одной из фаз силового тягового трансформатора (чаще фазы С) с

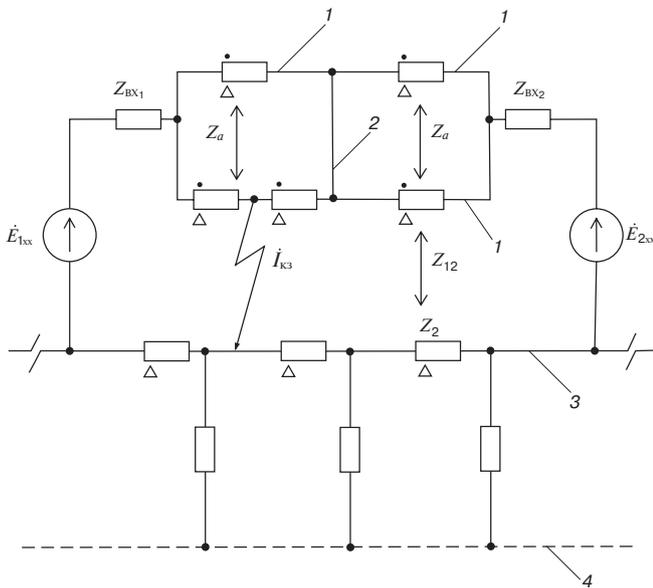


Рис. 3. Предлагаемая в публикации [1] схема замещения системы тягового электроснабжения: 1 — контактная сеть; 2 — пост секционирования; 3 — рельсовый путь; 4 — удаленная земля; Z_0, Z_{11}, Z_{12} — параметры Т-образной схемы замещения ЛЭП; r_n — переходное сопротивление «рельсы — земля»; $Z_{\text{кз}}$ — сопротивление контура «контактная сеть — земля»; Z_{12} — взаимоиндуктивное сопротивление между контактной сетью и рельсами; Z_2 — сопротивление контура «рельсы — земля»

Fig. 3. Offered in the publication [1] equivalent circuit of a traction power supply system: 1 — catenary network; 2 — sectioning point; 3 — railway track; 4 — remote earth; Z_0, Z_{11}, Z_{12} — parameters of the T-shaped equivalent circuit transmission line; r_n — transition resistance “rails — earth”; $Z_{\text{кз}}$ — resistance of the contour “contact network — earth”; Z_{12} — mutual inductive resistance between the contact network and rails; Z_2 — resistance of the “rails — earth” contour

рельсовым путем посредством трехэлементной цепи отсоса.

Представляется, что возможной схемой для нахождения токораспределения в тяговой сети, лишенной недостатков схемы, приведенной в [1, 2], является схема на рис. 4. Расчет этой схемы известен [5, 10], в том числе и при учете неоднородных по длине первичных параметров рельсового пути. Важно отметить, что наиболее сложно в этой схеме рассчитать напряжение холостого хода на шинах тяговой подстанции.

Пусть $\dot{E}_{1x} = \dot{U}_{1x}$ — напряжение холостого хода на вторичной стороне силового тягового трансформатора; $\dot{I}_{u1}, \dot{I}_{u2}$ — комплексные значения тяговых токов соседних фидерных зон, оказывающих влияние на энергетические процессы в системе внешнего и тягового электроснабжения; их фазы приведены в [9].

При отсутствии транзитных токов и нагрузки между тяговыми подстанциями

$$\begin{aligned} \dot{E}_{1x} &= \dot{E}_{bc} - \frac{2}{3} \dot{I}_{u1} Z_{T1} - \frac{1}{3} \dot{I}_{u2} Z_{\text{общ}}; \\ \dot{E}_{2x} &= \dot{E}_{bc} - \frac{2}{3} \dot{I}_{u2} Z_{T2} - \frac{1}{3} \dot{I}_{u1} Z_{\text{общ}}. \end{aligned}$$

Токи нагрузок тяговой подстанции 1 (\dot{I}_{n1}) и 2 (\dot{I}_{n2}) рассматриваемой фидерной зоны могут быть определены по известным формулам [3]. Так, i -й ток подстанций 1 и 2 тока i -го электровоза соответственно равен

$$\dot{I}_{i1} = \dot{I}_i \frac{l-l_i}{l}; \quad \dot{I}_{i2} = \dot{I}_i \frac{l_i}{l},$$

где l_i — расстояние от тяговой подстанции до места расположения i -го электровоза; l — расстояние между тяговыми подстанциями.

Токораспределение в контактной сети тока i -го электровоза определяется обратно пропорционально сопротивлениям $Z_{TC(i)}$. Формулы для их нахождения определены ниже.

Тогда

$$\begin{aligned} \dot{E}_{1x} &= \dot{E}_{bc} - \frac{2}{3} \dot{I}_{u1} Z_{T1} - \dot{I}_{n1} Z_{\text{вхвк}1} - \frac{1}{3} \dot{I}_{u2} Z_{\text{общ}} - \dot{I}_{n2} Z_{\text{общ}}; \\ \dot{E}_{2x} &= \dot{E}_{bc} - \frac{2}{3} \dot{I}_{u2} Z_{T2} - \dot{I}_{n2} Z_{\text{вхвк}2} - \frac{1}{3} \dot{I}_{u1} Z_{\text{общ}} - \dot{I}_{n1} Z_{\text{общ}}, \end{aligned}$$

где $Z_{\text{общ}}$ — общее сопротивление, по которому протекают токи \dot{I}_{n1} и \dot{I}_{n2} . Приблизительно это сопротивление равно приведенному к напряжению тяговой обмотки сопротивлению ЛЭП ($Z_{Л1}$) от районной подстанции до ближайшей к ней тяговой подстанции рассматриваемой фидерной зоны.

Транзитные токи ($\dot{I}_{TA}, \dot{I}_{TB}, \dot{I}_{TC}$), протекающие в системе внешнего электроснабжения, учитываются путем расчета падений напряжения на соответствующи-

щих участках ЛЭП от районной подстанции до тяговых подстанций рассматриваемой фидерной зоны. Тогда

$$\begin{aligned} \dot{E}_{1x} &= \dot{E}_{bc} - \frac{2}{3} \dot{I}_{u1} Z_{T1} - \dot{I}_{n1} Z_{\text{вхвк}1} - \frac{1}{3} \dot{I}_{u2} Z_{\text{общ}} - \\ &- \dot{I}_{n2} Z_{\text{общ}} - \dot{I}_{TB} Z_{Л1} n; \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \dot{E}_{2x} &= \dot{E}_{bc} - \frac{2}{3} \dot{I}_{u2} Z_{T2} - \dot{I}_{n2} Z_{\text{вхвк}2} - \frac{1}{3} \dot{I}_{u1} Z_{\text{общ}} - \\ &- \dot{I}_{n1} Z_{\text{общ}} - \dot{I}_{TB} Z_{Л2} n, \end{aligned} \quad (8)$$

где $Z_{Л2}$ — приведенное к напряжению тяговой обмотки сопротивление ЛЭП от районной подстанции до второй тяговой подстанции рассматриваемой фидерной зоны.

С учетом сказанного расчет токораспределения в тяговой сети может быть определен из схемы, представленной на рис. 4. Метод расчета аналогичной схемы известен [5, 10].

Так, токораспределение в схеме (рис. 4) определяется по формулам:

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{E}_{1x} Z_{TC1} - \dot{E}_{2x} Z_{Л1,II}}{Z_{TC1} Z_{TC1} - Z_{Л1,II}^2}; \quad \dot{I}_2 = \frac{\dot{E}_{2x} Z_{TC1} - \dot{E}_{1x} Z_{Л1,II}}{Z_{TC1} Z_{TC1} - Z_{Л1,II}^2} \quad (9)$$

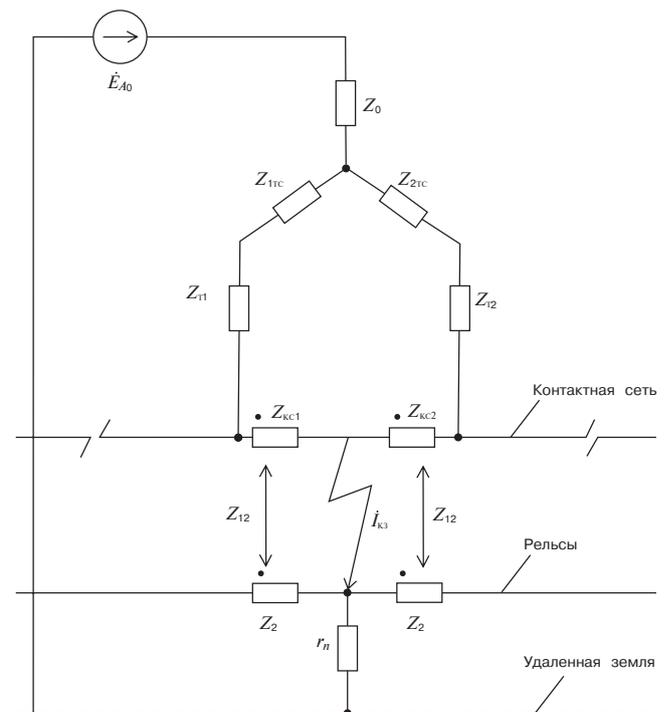


Рис. 4. Схема замещения тягового электроснабжения двухпутных участков при двухстороннем питании: 1 — контактная сеть; 2 — пост секционирования; 3 — рельсовый путь; 4 — удаленная земля;

r_n — переходное сопротивление «рельсы — земля»
Fig. 4. Equivalent circuit of the traction power supply of double-track sections in bilateral power: 1 — catenary network; 2 — post of sectioning; 3 — railway track; 4 — remote land; r_n — transition resistance “rails — earth”

С незначительной погрешностью при расчете токов $\dot{I}_{1,2}$ можно принять

$$Z_{тс(и)} = Z_{э(и)} - \frac{Z_{12}^2}{Z_2} I_{1(2)}; Z_{1,и} = Z_{э,и}$$

где Z_2 — сопротивление 1 км рельсового пути; Z_{12} — взаимное сопротивление между рельсовым путем и контактной сетью.

Входящие в формулы параметры $Z_{э(и)}$, $Z_{э,и}$ известны [10] и зависят от состояния выключателей тяговых подстанций и поста секционирования. Так, при включенных выключателях тяговых подстанций и поста секционирования эти параметры определяются из соотношений

$$Z_{э_1} = 0,5(Z_1 + Z_a)l_1 + Z_{вхвс1} + Z_{э,и1};$$

$$Z_{э_2} = 0,5(Z_1 + Z_a)l_2 + Z_{вхвс2} + Z_{э,и1};$$

$$Z_{э,и1} = (Z_1 - Z_a) \frac{l_n - l_1}{2l_n} l_1 + Z_{п1},$$

где $Z_{вхвс1}$, $Z_{вхвс2}$ — приведенные к напряжению тяговой обмотки сопротивления системы внешнего электроснабжения соответственно подстанций 1 и 2, тяговых трансформаторов (их определение дано выше); Z_1 — сопротивление 1 км контактной подвески одного пути; Z_a — взаимное индуктивное сопротивление 1 км между контактными подвесками двухпутного участка; l_n — расстояние от первой тяговой подстанции до поста секционирования; l_1 , l_2 — расстояния от тяговых подстанций 1 и 2 до места короткого замыкания.

Укажем, что входящие в формулы (9) первичные электрические параметры тяговой сети известны и их числовые значения приведены в соответствующих справочных изданиях.

Заключение. 1. Используя метод симметричных составляющих, приходим к выводу, что при расчетах внутреннего сопротивления тяговой подстанции, состоящего из сопротивлений ЛЭП и силового тягового трансформатора, необходимо использовать расчетные формулы, полученные при учете реального токораспределения во вторичной (тяговой) обмотке силового тягового трансформатора.

Предложена методика расчета приведенного к напряжению 27,5 кВ эквивалентного сопротивления системы внешнего электроснабжения и силового тягового трансформатора.

2. Показано, что расчеты входного сопротивления по известной методике отличаются от предложенной методики в три раза при условии определения сопротивления исходя из реальных параметров системы внешнего электроснабжения и тягового трансформатора.

3. Предложенная рядом специалистов схема замыкания тяговой сети для расчета токов короткого замыкания не отражает реальных соотношений по токораспределению в тяговых сетях.

Основная причина несоответствия предлагаемой схемы с существующей системой тягового электроснабжения определяется необоснованным переходом от несимметричной системы «трехфазная ЛЭП—трансформатор—система электроснабжения—однофазная тяговая сеть» к однолинейной схеме расчета. При расчете токораспределения по данной схеме отсутствует металлическая связь рельсового пути с одной из фаз (чаще фазы С) силового тягового трансформатора.

Отсутствие этой связи приводит к протеканию между районной и тяговой подстанциями тяговых токов, тока короткого замыкания по земле, что не допустимо.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Герман Л.А., Субханвердиев К.С. Расчеты токов короткого замыкания в тяговой сети переменного тока при учете внешнего электроснабжения // Электроника и электрооборудование транспорта. 2017. № 3. С. 17–23.
2. Анализ методов расчета токов короткого замыкания трансформатора при соединении обмоток по схеме Y/Δ-11 / А.С. Серебряков, Л.А. Герман, В.Л. Осокин, К.С. Субханвердиев // Электроника и электрооборудование транспорта. 2017. № 5. С. 19–25.
3. Марквардт К.Г. Электроснабжение электрифицированных железных дорог. М.: Транспорт, 1982. 528 с.
4. Фигурнов Е.П. Релейная защита. М.: Желдориздат, 2002. 720 с.
5. Косарев А.Б., Косарев Б.И., Сербиненко Д.В. Электромагнитные процессы в системах электроснабжения железных дорог переменного тока. М.: ВМГ-Принт, 2015. 348 с.
6. Руководящие указания по релейной защите систем электроснабжения. М.: Трансиздат, 2005. 216 с.
7. Петров Г.Н. Электрические машины. Часть 1. М.: Энергия, 1974. 240 с.
8. Вагнер К.Ф., Эванс Р.Д. Метод симметричных составляющих. Л.: ОНТИ НКПТ СССР, 1936. 410 с.
9. Караев Р.И., Волобринский С.Д., Ковалёв И.А. Электрические сети и системы. М.: Транспорт, 1988. 326 с.
10. Косарев А.Б., Косарев Б.И. Основы электромагнитной безопасности систем электроснабжения железнодорожного транспорта. М.: Интекст, 2008. 480 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

КОСАРЕВ Александр Борисович, д-р техн. наук, профессор, первый заместитель генерального директора АО «ВНИИЖТ»

КОСАРЕВ Борис Иванович, заслуженный деятель науки России, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО РУТ (МИИТ)

Статья поступила в редакцию 02.10.2017 г., принята к публикации 19.11.2017 г.

Calculation methodology of current distribution in traction networks of AC current

A. B. KOSAREV¹, B. I. KOSAREV²

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

² Federal State Budget Educational Institution of Higher Education "Moscow State University of Railway Engineering" (MIIT), Moscow, 127994, Russia

Abstract. Several publications have been devoted to the development of traction power supply for alternating current [1, 2]. They set the task of considering the resistance of the external power supply system and power traction transformers when calculating the current distribution in traction networks.

With all the merits of the existing methods for calculating these resistances, there are discrepancies in the published sources in determining the parameters of the equivalent circuit for the traction power supply system [3, 4, 5, 6].

In the present work, the authors propose a technique for calculating reduced to a voltage of 27.5 kV equivalent resistances of an external power supply system and a power traction transformer.

An equivalent circuit for replacing the traction power supply system is substantiated, allowing to take into account the voltage drop on the overall resistance of the external power supply system from the traction currents of the considered and adjacent feeder zones, as well as transit currents flowing through the power lines.

Using the method of symmetrical components it was obtained that when calculating the internal resistance of a traction substation consisting of the resistances of the longitudinal power supply line and the power traction transformer, it is necessary to use the calculated formulas obtained when taking into account the actual current distribution in the secondary (traction) winding of the power traction transformer.

It is shown that the traction network equivalent circuit for the calculation of short-circuit currents, given in [1, 2], does not reflect the real current distribution relationships in traction networks. The main reason for the inconsistency of the scheme proposed by a number of experts with the existing traction power supply system is determined by an unjustified transition from an asymmetric system "three-phase transmission line — transformer — power supply system — single-phase traction network" to a single-line calculation scheme. When calculating the current distribution according to this scheme, there is no metallic connection of the track with one of the phases (more often phase C) of the power traction transformer.

The absence of this connection leads to the flow of traction currents between the district and traction substations, short-circuit current on the ground, which is not permissible.

Keywords: power traction transformer; external power supply system; traction network; short circuit; current; voltage

DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2017-76-6-329-335>

REFERENCES

1. German L.A., Subkhanverdiev K.S. *Raschety tokov korotkogo замыкания в тяговом цепи переменного тока при учете*

vneshego электроснабжения [Calculations of short-circuit currents in a traction AC network when taken into account external power supply]. Electronics and electric equipment of transport, 2017, no. 3, pp. 17–23.

2. Serebryakov A.S., German L.A., Osokin V.L., Subkhanverdiev K.S. *Analiz metodov rascheta tokov korotkogo замыкания трансформатора при соединении обмоток по схеме Y/Δ-11* [Analysis of methods for calculating the short-circuit currents of a transformer when connecting windings according to the Y/Δ-11 scheme]. Electronics and electric equipment of transport, 2017, no. 5, pp. 19–25.

3. Markvardt K.G. *Elektrosnabzhenie elektrifitsirovannykh zheleznikh dorog* [Power supply of electrified railways]. Moscow, Transport Publ., 1982, 528 p.

4. Figurnov E.P. *Releynaya zashchita* [Protective relaying]. Moscow, Zheldorizdat Publ., 2002, 720 p.

5. Kosarev A.B., Kosarev B.I., Serbinenko D.V. *Elektromagnitnye protsessy v sistemakh электроснабжения железных дорог переменного тока* [Electromagnetic processes in AC railway power supply systems]. Moscow, VMG-Print Publ., 2015, 348 p.

6. *Rukovodyashchie ukazaniya po releynoy zashchite sistem tyagovogo электроснабжения* [Guidelines for the relay protection of traction power supply systems]. Moscow, Transizdat Publ., 2005, 216 p.

7. Petrov G.N. *Elektricheskie mashiny. Chast' 1* [Electric machines. Part 1]. Moscow, Energiya Publ., 1974, 240 p.

8. Vagner K.F., Evans R.D. *Metod simmetrichnykh sostavlyayushchikh* [Method of symmetric components]. Leningrad, ONTI NKTP SSSR Publ., 1936, 410 p.

9. Karaev R.I., Volobrinский S.D., Kovalev I.A. *Elektricheskie seti i sistemy* [Electric networks and systems]. Moscow, Transport Publ., 1988, 326 p.

10. Kosarev A.B., Kosarev B.I. *Osnovy elektromagnitnoy bezopasnosti sistem электроснабжения железнодорожного транспорта* [Fundamentals of electromagnetic safety of railroad power supply systems]. Moscow, Intext Publ., 2008, 480 p.

ABOUT THE AUTHORS

Alexander B. KOSAREV,

Dr. Sci. (Eng.), Professor, First Deputy General Director of JSC "VNIIZhT"

Boris I. KOSAREV,

Honored Scientist of Russia, Dr. Sci. (Eng.), Professor, MIIT

Received 02.10.2017

Accepted 19.11.2017

E-mail: kosarev.alexandr@vniizht.ru (A. B. Kosarev)

ВЫШЛИ В СВЕТ ТРУДЫ ВНИИЖТ

Косарев А.Б., Косарев Б.И., Сербиненко Д.В. Электромагнитные процессы в системах энергоснабжения железных дорог переменного тока. М.: VMG-Print, 2015. 349 с.

Изложены методы анализа электромагнитных процессов в современных системах тягового электроснабжения и их влияние на электроустановки и электрические сети магистральных железных дорог.

Обоснованы методы расчета нестационарных, в том числе и грозовых, режимов в сложных и неоднородных нелинейных цепях с переменной структурой при представлении элементов цепи в виде

линий с распределенными параметрами, носящими вероятностный характер.

Предназначена для научных работников, аспирантов. Может быть полезна инженерам-электрикам, а также студентам электротехнических специальностей высших транспортных учебных заведений.

По вопросам приобретения книги обращаться по адресу: 129626, г. Москва, 3-я Мытищинская ул., д. 10, редакционно-издательский отдел АО «ВНИИЖТ».

Тел.: (499) 260-43-20, e-mail: rio@vniizht.ru, www.vniizht.ru.

Алюминиевые литейные антифрикционные сплавы с повышенной способностью к приспособляемости поверхностей трения

А. Е. МИРОНОВ¹, И. С. ГЕРШМАН¹, Е. И. ГЕРШМАН¹, С. М. ЗАХАРОВ¹, П. А. ПОДРАБИННИК²

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

² Московский государственный технологический университет «СТАНКИН» (ФГБОУ ВО МГТУ «СТАНКИН»), Москва, 127994, Россия

Аннотация. Рассмотрена возможность замены бронзы при изготовлении монометаллических литых подшипников скольжения многокомпонентными алюминиевыми антифрикционными сплавами. Благодаря легированию алюминия оловом, свинцом, медью, цинком, кремнием, магнием и титаном удалось создать сплавы с повышенной способностью к приспособляемости поверхностей трения. По данным лабораторных испытаний, основные результаты которых приведены в статье, доказано, что алюминиевые сплавы по комплексу механических и триботехнических свойств близки или превосходят исследованную бронзу БрО4Ц4С17.

Ключевые слова: алюминиевые сплавы; бронза; легирование; триботехнические свойства; подшипники скольжения

Введение. Алюминиевые антифрикционные сплавы широко используются в подшипниках скольжения различного назначения. Наиболее распространены биметаллические подшипники скольжения, применяемые в двигателях внутреннего сгорания, состоящие из антифрикционного алюминиевого сплава, соединенного с помощью разных технологий со стальной основой [1]. Однако во многих случаях, особенно для толстостенных вкладышей подшипников, целесообразно использовать монометаллические вкладыши подшипников, изготавливаемые литейным способом [1].

Цель работы состояла в получении антифрикционных сплавов, обладающих высоким комплексом триботехнических и механических свойств.

В настоящее время появилось значительное количество научных публикаций, посвященных применению принципов неравновесной термодинамики в практике триботехнического материаловедения [2–6]. Основываясь на этих принципах, в АО «ВНИИЖТ» были проведены работы по созданию гаммы сложнелегированных алюминиевых антифрикционных сплавов, обладающих повышенной способностью к приспособляемости поверхностей трения и способных заменить литейные бронзы при изготовлении монометаллических подшипников скольжения [7].

Это дает возможность для конструкторов выбрать из гаммы предложенных сплавов те, которое лучше всего подходит к условиям работы данного узла трения.

Разработка новых сплавов. Разработка новых сплавов по критерию максимальной способности материала к приспособляемости поверхностей трения подразумевает получение материалов с высоким комплексом триботехнических и механических свойств. Именно такой результат был достигнут на новых алюминиевых литейных антифрикционных сплавах.

По комплексу своих механических и триботехнических свойств полученные сплавы во многом превосходят наиболее широко применяемую бронзу марки БрО4Ц4С17 (таблица), которая применялась для литых монометаллических подшипников скольжения на железнодорожном транспорте и была подробно исследована [1].

Из восьми предлагаемых новых сплавов пять превосходят бронзу по прочности на 7,5–25%, а три имеют прочность на 2,7–8,8% ниже значений литой бронзы БрО4Ц4С17.

По твердости только один сплав превосходит бронзу на 13,8%, а остальные мягче бронзы на 3,2–30%. По пластичности все новые сплавы уступают бронзе на 60–293%. По показателю ударной вязкости сплавы, представленные в таблице, уступают бронзе от 14 до 90%. В то же время для образцов с U-образным надрезом четыре новых сплава превосходят показатели бронзы от 12% до 3-х раз. Подобные диапазоны позволяют конструкторам выбирать материал, соответствующий механическим нагрузкам, воспринимаемым реальными деталями.

Лабораторные исследования. Для определения свойств новых сплавов был проведен комплекс лабораторных исследований. Общие методики испытаний изложены в работах [2, 3, 7, 8], а также в тексте статьи.

Сравнение сплавов проводилось по шести показателям, определенным в ходе лабораторных исследований: задиростойкость, прирабатываемость, износ сплавов, износ стального контртела, коэффициент

■ E-mail: zakharov.sergey@vniizht.ru (С. М. Захаров)

трения и температура поверхности стали при сравнительных испытаниях в одинаковых условиях для всех литых алюминиевых сплавов и бронзы БрО4Ц4С17.

Наиболее существенные повреждения антифрикционные материалы получают в ситуациях, приводящих к задиру [9]. Поэтому сплавы, способные воспринимать более высокую нагрузку без возникновения задира и схватывания, являются более предпочтительными для изготовления подшипников. В качестве критерия задиростойкости была принята нагрузка, при которой происходит резкий скачок момента трения, сопровождающийся ростом температуры в зоне трения. Во время испытаний частота вращения стального образца составляет 500 об/мин (линейная скорость 1,05 м/с). Количество подаваемой смазки остается постоянной, а нагрузка на образец, начиная с величины 304 Н, повышается ступенчато через каждые 10 мин. Испытания проводились при комнатной температуре. Полученные результаты показали, что все экспериментальные сплавы превосходят по этому показателю бронзу БрО4Ц4С17 от 1,5 до 2,6 раза [8].

Для алюминиевых сплавов важен такой показатель как прирабатываемость [1]. После капитального ремонта при обкатке дизелей отмечается в три раза больше случаев задира, чем в процессе эксплуатации у дизелей, успешно прошедших обкатку на стандах локомотиворемонтных заводов. При сравнительных испытаниях критерием прирабатываемости служила площадь фактического контакта, образовывавшаяся на образце из антифрикционного материала с диаметром расточки 45 мм, работавшего в паре со стальным роликом, имевшим диаметр 40 мм. Испытания проводились при постоянной скорости вращения стального

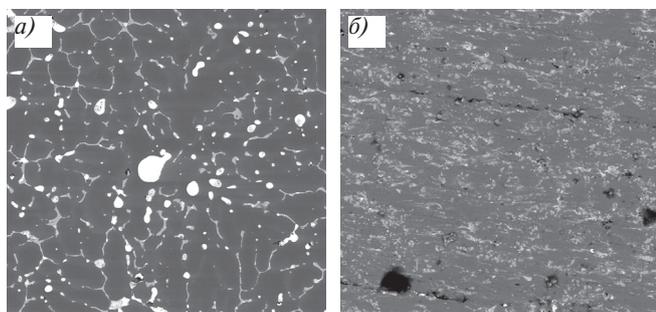
ролика. Нагрузка на образец повышалась ступенчато от 304 до 1058 Н с шагом 100–110 Н за каждые 10 мин. испытаний. Образовавшееся при испытаниях пятно контакта на образце из экспериментального сплава и его площадь характеризует способность материала приспосабливаться к ужесточению условий трения без повреждений. Измерения площади контакта производились после окончания каждого этапа испытаний.

Испытания показали, что все экспериментальные сплавы обладают лучшей прирабатываемостью, чем бронза БрО4Ц4С17. При этом преимущество наименее прирабатываемого экспериментального сплава АО-5,8 составило 1,2%, а сплава АО-9,8 — 47,4%. Следовательно, применение большинства экспериментальных сплавов не только способно обеспечить уменьшение числа задиров при обкатке, но и сократить время обкатки, что приведет к экономии горюче-смазочных материалов.

Износ стали и антифрикционных материалов определялся путем взвешивания образцов до и после 40-часовых испытаний при постоянной нагрузке (617 Н), скорости вращения (1,05 м/с) и подаче смазки (0,2 г/мин). Взвешивание проводилось на электронных весах с точностью до 0,1 мг. Образцы после испытаний перед взвешиванием промывались. Как видно из таблицы, все экспериментальные алюминиевые сплавы имели меньший весовой износ по сравнению с бронзой. Но, учитывая разницу в удельных весах алюминия и меди, линейный износ трех указанных ниже экспериментальных сплавов превышает линейный износ бронзы: сплав АО-8,7 — на 122%; сплав АО-9,6 — на 85%; сплав АО-11 — на 11%. Это показывает, что для сплавов с повышенным содержанием

Марки исследованных сплавов и их свойства
Grades of studied alloys and their properties

Марка сплава	Содержание элементов, % масс							Механические свойства				Триботехнические свойства					t, °С	
	Sn	Pb	Cu	Zn	Mg	Si	Ti	Al	Временное сопротивление σ_b , МПа	Твердость, НВ	Относительное удлинение δ , %	Ударная вязкость KCU, кДж/м ²	Задиростойкость, Н	Прирабатываемость, мм ²	Износ материала, мг	Износ стали, мг		Коэффициент трения
АО-11	11,0	2,6	3,9	2,6	—	0,1	0,01	ост.	173	59	2,9	121	1650	49,8	1,2	0,6	0,020	33
АО-9,8	9,8	2,5	4,5	2,4	1,2	0,6	0,03	ост.	163	74	0,3	21	2832	57,8	0,7	0,7	0,015	31
АО-9,6	9,6	3,2	4,9	4,4	0,3	0,1	0,02	ост.	185	63	3,8	50	2107	42,8	2,0	2,1	0,019	37
АО-8,7	8,7	3,2	3,4	2,9	0,4	0,5	0,03	ост.	168	60	5,5	83	2407	50,0	2,4	0,8	0,022	32
АО-7,6	7,6	3,3	4,0	0,5	0,07	1,0	0,06	ост.	159	50	4,0	45	1823	46,8	0,5	0,8	0,026	42
АО-6,4	6,4	3,0	4,1	1,9	1,4	0,9	0,01	ост.	139	55	2,3	35	2767	53,0	0,9	1,0	0,014	38
АО-5,8	5,8	2,7	4,1	2,3	1,5	1,5	0,03	ост.	140	55	1,9	24	2330	39,7	0,4	0,6	0,018	40
АО-5,4	5,4	2,6	3,5	2,3	1,7	0,8	0,03	ост.	144	53	2,9	32	2845	49,7	0,5	0,7	0,017	36
Бронза БрО4Ц4С17	4,1	16,9	ост.	3,8	—	—	—	—	148	65	8,8	40	1081	39,2	2,7	4,0	0,016	38



Структура поверхности сплава АО-6,4 до трения (а) и после 40 ч испытаний (б)
Surface structure of the AO-6.4 alloy before friction (a) and after 40 hours of testing (b)

олова происходит его расходование, что сказывается на показателях износа сплавов.

Линейный износ остальных пяти экспериментальных сплавов на 20–170 % меньше, чем у бронзы. Наиболее износостойкий сплав АО-5,8 имеет пониженное содержание олова. Это свидетельствует о том, что в низкооловянистых сплавах благодаря многокомпонентному легированию снижается влияние содержания олова на износостойкость, а повышенная приспособляемость способствует образованию нового типа вторичных структур по сравнению с пленкой олова, которая является их основой в сплавах типа АО40-1 или АО20-1.

На рисунке показана структура поверхности сплава АО-6,4 до трения (а) и после 40 ч испытаний (б). Благодаря способности к повышенной приспособляемости у экспериментальных сплавов начальная структура (рисунок, а) претерпевает существенные изменения, обусловленные появлением вторичных структур (рисунок, б). Изменяются размеры, составы и расположение всех структурных составляющих матрицы, мягких и твердых включений. Появляются новые фазы и металлополимерные пленки.

В процессе длительных испытаний все экспериментальные сплавы меньше, чем бронза, изнашивали стальное контртело. Даже худший по этому показателю сплав АО-9,6 оказался в 1,9 раза лучше бронзы, а лучшие сплавы АО-11 и АО-5,8 превосходят исследованную бронзу в 6,7 раза. Следовательно, замена монометаллических бронзовых подшипников скольжения на алюминиевые из экспериментальных сплавов позволит многократно увеличить ресурс работы стальных валов.

Несмотря на уменьшение износа стали, коэффициенты трения большинства экспериментальных сплавов оказались выше, чем при трении бронзы по стали. Исключениями являются только сплавы АО-9,8 и АО-6,4.

Считается, что пары трения с большим коэффициентом трения сильнее нагреваются. В наших экспериментах такая зависимость отсутствует. Так, для сплавов, работавших при температурах поверхности

стального ролика, измеренных пирометром в месте выхода из зоны трения, величиной от 320 до 380 °С, скорее имеет место снижение коэффициента трения с повышением температуры. Возможно, это связано именно с протеканием процессов самоорганизации, для которых необходимы соответствующие температурные условия, либо наоборот — процессы самоорганизации сопровождаются тепловыделением. Полученные результаты показывают, что стремление к снижению коэффициента трения или к уменьшению температуры в зоне трения не обязательно положительно скажутся на показателях износостойкости.

Объяснением различий в триботехнических свойствах экспериментальных сплавов является их многокомпонентное легирование, когда варьированием химического состава сплавов можно получать различные значения не только механических свойств, что широко известно и часто применяется, но и рабочих антифрикционных характеристик.

Существенным обстоятельством, определяющим эффективность применения алюминиевых многокомпонентных сплавов, является область их применения, которая определяет условия работы подшипников. Для подшипников двигателей внутреннего сгорания, в том числе тепловозных, — это наличие нарушения гидродинамической смазки на рабочих режимах, при которых происходит контактирование поверхностей трения [9] и могут реализоваться преимущества многокомпонентных сплавов. В других условиях работают подшипники скольжения турбокомпрессоров, у них режимы нарушения гидродинамической смазки происходят только при потере устойчивости движения. Требуется проверка функционирования предлагаемых многокомпонентных сплавов для различных условий применения, главным образом для подшипников коленчатого вала тепловозных дизелей и подшипников скольжения турбокомпрессоров. По одному из типов турбокомпрессоров (ТК 33Н-02) такая проверка была проведена. Целесообразно далее провести эксплуатационные испытания втулок подшипников из сплава АО6С3М4ЦТ для турбокомпрессоров ТК 34, ТК 30 и ТК 33.

Заключение. 1. Проведенные лабораторные испытания показали возможность изготовления монометаллических подшипников скольжения из экспериментальных литейных алюминиевых сплавов, которые по механическим свойствам не уступают наиболее прочной среди антифрикционных бронз — бронзе БрО4Ц4С17. По комплексу триботехнических свойств экспериментальные сплавы превосходят бронзу. Благодаря легкоплавкости, меньшей плотности, более низкой стоимости и лучшей обрабатываемости алюминиевые сплавы обладают почти 3–5-кратным преимуществом по экономическим показателям перед оловянистыми бронзами.

2. Область применения предложенных сплавов будет определена в процессе стендовых и эксплуатационных испытаний. К настоящему времени из сплава этой серии АО6С3М4ЦТ ООО «Спец Дизель Сервис» (г. Новосибирск) изготовлена опытная партия монометаллических подшипников турбокомпрессоров ТК 33Н-02, которые успешно прошли стендовые испытания. Втулки 3404.00.112, 3404.00.032 и подшипники 3409.00.20, изготовленные из экспериментального сплава, показали возможность замены штатной бронзы. Целесообразно провести эксплуатационные испытания втулок подшипников из сплава АО6С3М4ЦТ для турбокомпрессоров ТК 34, ТК 30 и ТК 33, а также вкладышей подшипников тепловозных дизелей.

Работа выполнена при поддержке грантов Российского научного фонда № 14-19-01033п (свойства алюминиевых сплавов), 15-19-00217 (свойства бронзы и влияние меди).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Подшипники из алюминиевых сплавов / Н.А. Буше [и др.]. М.: Транспорт, 1974. 256 с.
2. Маркова Т.Ф. Антифрикционные материалы системы Al—Pb—Sn для подшипников скольжения транспортных дизелей: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.01. М., 1986. 219 с.
3. Гершман И.С., Гершман Е.И., Миронов А.Е. Исследование неравновесной термодинамики и теории самоорганизации для описания трибосистем и разработки износостойких материалов // Вестник Брянского гос. техн. ун-та. 2016. № 4. С. 32–38.
4. Self-Organization during Friction in Complex Surface Engineered Tribosystems / G.S. Fox-Rabinovich, I.S. Gershman, K. Yamamoto, A. Biksa, St. C. Veldhuis, B.D. Beake, A.I. Kovalev // Entropy. 2010. № 12. P. 275–288. DOI:10.3390/e12020275.

5. Banjac M., Vencl A., Otovic S. Friction and Wear Processes — Thermodynamic Approach // Tribology in Industry. 2014. Vol. 36. № 4. P. 341–347.
6. Abdel-Aal H.A. Thermodynamic modeling of wear // Encyclopedia of Tribology / Q.J. Wang, Y.-W. Chung (Eds.). New York: Springer, 2013. P. 3622–3636.
7. Nosonovsky M., Mortazavi V. Friction-Induced Vibrations and Self-Organization: Mechanics and Non-Equilibrium Thermodynamics of Sliding Contact. Boca Raton (United States): CRC Press, 2013. 333 p.
8. Свойства новых литейных алюминиевых сплавов / А.Е. Миронов [и др.] // Вестник машиностроения. 2016. № 10. С. 64–66.
9. Захаров С.М., Никитин А.П., Загорянский Ю.А. Подшипники коленчатых валов тепловозных дизелей. М.: Транспорт, 1981. 181 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

МИРОНОВ Александр Евгеньевич, канд. техн. наук, ведущий специалист по инновационным проектам, отдел научно-исследовательских программ, грантов и проектов, АО «ВНИИЖТ»

ГЕРШМАН Иосиф Сергеевич, д-р техн. наук, главный специалист, отдел научно-исследовательских программ, грантов и проектов, АО «ВНИИЖТ»

ГЕРШМАН Евгений Иосифович, начальник отдела научно-исследовательских программ, грантов и проектов АО «ВНИИЖТ»

ЗАХАРОВ Сергей Михайлович, д-р техн. наук, научный консультант, АО «ВНИИЖТ»

ПОДРАБИННИК Павел Анатольевич, инженер, ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»

Статья поступила в редакцию 08.06.2017 г., актуализирована 10.09.2017 г., принята к публикации 19.09.2017 г.

Aluminum casting antifriction alloys with increased capacity to adaptability of friction surfaces

A. E. MIRONOV¹, I. S. GERSHMAN¹, E. I. GERSHMAN¹, S. M. ZAKHAROV¹, P. A. PODRABINNIK²

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

² Moscow State Technological University "STANKIN" (FGBOU VO MSTU "STANKIN"), Moscow, 127994, Russia

Abstract. The possibility of changing bronze in the manufacture of monometallic cast plain bearings with multicomponent aluminum antifriction alloys is considered. Due to alloying of aluminum with tin, lead, copper, zinc, silicon, magnesium and titanium, it was possible to create alloys with increased ability to adapt friction surfaces. According to laboratory tests, the main results of which are given in the article, it is proved that aluminum alloys on a complex of mechanical and tribotechnical properties are close or superior to the investigated bronze BrO4C4S17. Laboratory tests have shown the possibility of manufacturing monometallic plain bearings from experimental cast aluminum alloys, which by mechanical properties are not inferior to the most solid among antifriction bronzes — bronze BrO4C4S17. On a complex of tribotechnical properties, experimental alloys exceed bronze. Due to their high-fusibility, lower density, lower cost and better workability, aluminum alloys have an almost 3–5-fold advantage over economic indicators before tin bronzes. The scope of the proposed alloys will be determined in the course of bench and operational tests. To date,

an experimental batch of monometallic bearings of turbochargers TK 33Н-02 has been manufactured from the alloy of the AO6S3M-4CT series of "Spets Dizel Servis" (Novosibirsk), which successfully passed the bench tests. Bushings 3404.00.112, 3404.00.032 and bearings 3409.00.20, made from an experimental alloy, showed the possibility of replacing the standard bronze BrO8S12 in these turbochargers. It is advisable to carry out operational tests of bearing sleeves from the alloy AO6S3M4CT for turbochargers TK 34, TK 30 and TK 33, as well as bearing inserts for diesel locomotives.

Keywords: aluminum alloys; bronze; alloying; tribotechnical properties; plain bearings

DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2017-76-6-336-340>

REFERENCES

1. Bushe N.A., Gulyaev A.S., Dvoskina V.A., Rakov K.M. *Podshipniki iz alyuminievyykh splavov* [Bearings of aluminum alloys]. Moscow, Transport Publ., 1974, 256 p.

2. Markova T. F. *Antifriktsionnye materialy sistemy Al — Pb — Sn dlya podshipnikov skol'zheniya transportnykh dizeley*. Kand. tekhn. nauk diss. [Antifriction materials of the Al—Pb—Sn system for bearings of sliding transport diesels. Cand. tech. sci. diss.]. Moscow, 1986, 219 p.

3. Gershman I. S., Gershman E. I., Mironov A. E. *Issledovanie neravnovesnoy termodinamiki i teorii samoorganizatsii dlya opisaniya tribosistem i razrabotki iznosostoykikh materialov* [Study of nonequilibrium thermodynamics and self-organization theory for the description of tribosystems and the development of wear-resistant materials]. Vestnik Bryanskogo gos. tekhn. universiteta [The Bryansk State University Herald], 2016, no. 4, pp. 32–38.

4. Fox-Rabinovich G. S., Gershman I. S., Yamamoto K., Biksa A., Veldhuis St. C., Beake B. D., Kovalev A. I. *Self-Organization during Friction in Complex Surface Engineered Tribosystems*. Entropy, 2010, no. 12, pp. 275–288. DOI:10.3390/e12020275.

5. Banjac M., Vencel A., Otovic S. *Friction and Wear Processes — Thermodynamic Approach*. Tribology in Industry, 2014, Vol. 36, no. 4, pp. 341–347.

6. Abdel-Aal H. A. *Thermodynamic modeling of wear*. Encyclopedia of Tribology. Q. J. Wang, Y.-W. Chung (Eds.). New York, Springer, 2013, pp. 3622–3636.

7. Nosonovsky M., Mortazavi V. *Friction-Induced Vibrations and Self-Organization: Mechanics and Non-Equilibrium Thermodynamics of Sliding Contact*. Boca Raton (United States), CRC Press, 2013, 333 p.

8. Mironov A. E., Gershman I. S., Kotova E. G., Ovechkin A. V., Gershman E. I., Zheleznov M. M. *Svoystva novykh liteynykh alyuminievykh splavov* [Properties of new cast aluminum alloys]. Vestnik mashinostroeniya, 2016, no. 10, pp. 64–66.

9. Zakharov S. M., Nikitin A. P., Zagoryanskiy Yu. A. *Podshipniki kolenchatykh valov teplovoznnykh dizeley* [Crankshaft bearings of diesel locomotives]. Moscow, Transport Publ., 1981, 181 p.

ABOUT THE AUTHORS

Aleksander E. MIRONOV,

Cand. Sci. (Eng.), Leading Specialist in innovation projects, Department of research programs, grants and projects, JSC “VNIIZhT”

Iosif S. GERSHMAN,

Dr. Sci. (Eng.), Chief Researcher, Department of research programs, grants and projects, JSC “VNIIZhT”

Evgeniy I. GERSHMAN,

Head of the Department of research programs, grants and projects of JSC “VNIIZhT”

Sergey M. ZAKHAROV,

Dr. Sci. (Eng.), Scientific Consultant, JSC “VNIIZhT”

Pavel A. PODRABINNIK,

Engineer, FGBOU VO MSTU “STANKIN”

Received 08.06.2017

Revised 10.09.2017

Accepted 19.09.2017

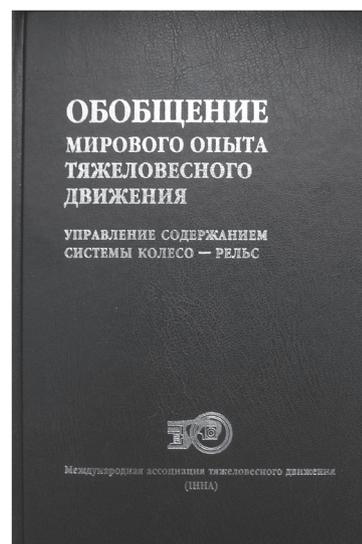
E-mail: zakharov.sergey@vniizht.ru (S. M. Zakharov)

ВЫШЛИ В СВЕТ ТРУДЫ ВНИИЖТ

Обобщение мирового опыта тяжеловесного движения. Управление содержанием системы колесо — рельс: пер. с англ. / под ред. С. М. Захарова. М.: Интекст, 2017. 420 с.

Вопросы содержания системы колесо — рельс, являющейся основной для железнодорожного транспорта, приобретают все большее значение по мере роста грузонапряженности, массы и длины поездов, осевых нагрузок и необходимости обеспечивать экономически оправданную эксплуатацию железнодорожных систем. Для лучшего понимания происходящих процессов в данной системе рассмотрены фундаментальные вопросы взаимодействия железнодорожного экипажа и пути, механика контактного взаимодействия колеса и рельса, виды и причины возникновения дефектов в элементах системы, применяемые материалы и перспективы их совершенствования. Описаны современные системы автоматизированного мониторинга состояния подвижного состава и пути. Большое внимание уделено используемым в разных странах подходам и технологиям текущего содержания подвижного состава и пути, обеспечивающим снижение стоимости жизненного цикла. Отдельная глава посвящена вопросам безопасности, анализу причин и способам предотвращения сходов подвижного состава. Изложен опыт железных дорог разных стран с тяжеловесным движением по выявлению проблем, способам реализации решений и достигнутым результатам. В конце книги приведен словарь используемых терминов, их эквивалентов на английском языке, определений, расшифровывающих термины.

Книга рассчитана на инженерно-технических работников, занимающихся вопросами железнодорожного транспорта, и студентов, изучающих данные проблемы.



По вопросам приобретения книги обращаться по адресу: 129626, г. Москва, 3-я Мытищинская ул., д. 10, редакционно-издательский отдел АО «ВНИИЖТ».

Тел.: (499) 260-43-20, e-mail: rio@vniizht.ru, www.vniizht.ru.

Развитие системы управленческого учета затрат вокзального комплекса железнодорожного транспорта

О. Ф. МИРОШНИЧЕНКО, А. Е. ОГИНСКАЯ

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

Аннотация. В целях повышения эффективности перевозок в дальнем следовании для всех участников процесса необходимо оптимизировать расходы на услуги инфраструктуры за счет внедрения передовых технологий организации перевозочного процесса, содержания и ремонта инфраструктуры, качества обслуживания пассажиров. Кроме того, необходимо совершенствование управленческого учета затрат по этому виду деятельности. В настоящее время отнесение расходов владельца железнодорожной инфраструктуры регламентируется Порядком ведения раздельного учета доходов и расходов субъектами естественных монополий в сфере железнодорожных перевозок.

В статье выполнен анализ динамики затрат в части предоставления услуг инфраструктуры в дальнем следовании, обоснована необходимость совершенствования существующего порядка учета затрат по группе статей пассажирского хозяйства как в дальнем следовании, так и в пригородном сообщении. На основе выполненного обследования предложен новый инструмент распределения затрат по видам деятельности.

Применение предлагаемого механизма учета затрат по группе статей, связанных с обслуживанием пассажиров на вокзалах, позволит более точно и справедливо формировать финансовый результат по производственным процессам и видам деятельности, снизить убыточность ОАО «РЖД» при предоставлении услуг инфраструктуры в дальнем следовании.

Ключевые слова: пассажирские перевозки; услуги инфраструктуры; вокзальный комплекс; транспортная безопасность; управленческий учет затрат; коэффициент приведения; снижение убыточности

Введение. Учет затрат ОАО «РЖД» регламентируется Порядком ведения раздельного учета доходов и расходов субъектами естественных монополий в сфере железнодорожных перевозок (далее — Порядок) [1]. Согласно Порядку доходы и расходы ОАО «РЖД» распределяются по семи видам деятельности, что позволяет сформировать финансовый результат по каждому из них. Данный документ постоянно совершенствуется в связи с необходимостью оперативного отражения происходящих технологических и структурных изменений в ОАО «РЖД» и его филиалах [2, 3].

В настоящее время наблюдается негативная тенденция снижения объема перевозочной работы по пассажирским перевозкам в дальнем следовании.

Так, за 6 месяцев 2017 г. пассажирооборот в пассажирских перевозках снизился на 1,1 % по сравнению с соответствующим периодом 2016 г., в том числе и в перевозках в дальнем следовании. Известно, что наиболее существенными факторами, влияющими на предпочтения пассажиров при выборе вида транспорта в современных условиях, являются стоимость билета и продолжительность поездки пассажиров [4]. Уровень стоимости билета (тарифа) базируется на необходимости компенсации понесенных затрат на перевозку [5].

Динамика структуры затрат на услуги инфраструктуры. В расходах пассажирского перевозчика (Акционерное общество «Федеральная пассажирская компания» — далее АО «ФПК») прямые (собственные) затраты занимают 20–42 % (содержание пассажирских вагонов, проводников, продажа билетов), а аренда локомотивов и оплата услуг инфраструктуры составляют более 58 %. При этом для ОАО «РЖД» вид деятельности по предоставлению услуг инфраструктуры в дальнем следовании является убыточным.

В 2015 г. финансовый результат ОАО «РЖД» от предоставления услуг инфраструктуры в дальнем следовании сформировался следующим образом: доходы — 63,1 млрд руб., расходы — 68,6 млрд руб., что привело к формированию убытка по данному виду деятельности в размере 5,5 млрд руб. [6]. Это определяет актуальность оптимизации расходов на услуги инфраструктуры для всех участников перевозок дальнего следования за счет внедрения эффективных технических и технологических решений при организации перевозочного процесса, содержания и ремонте инфраструктуры, а также совершенствования управленческого учета затрат по этому виду деятельности [7, 8].

К расходам по содержанию и эксплуатации инфраструктуры ОАО «РЖД» в пассажирском движении относятся расходы хозяйств: перевозок, гражданских сооружений, пути, автоматики и телемеханики, связи, корпоративной информатизации, электрификации и электроснабжения, а также часть расходов пассажирского, вагонного и локомотивного хозяйств.

■ E-mail: Oginskaya.Aнна@vniizht.ru (А. Е. Огинская)

Динамика структуры затрат ОАО «РЖД» в части предоставления услуг инфраструктуры в дальнейшем следовании за период 2010–2016 гг. представлена в табл. 1.

Из данных табл.1 видно, что за рассматриваемый период в структуре затрат ОАО «РЖД» по предоставлению услуг инфраструктуры в дальнейшем следовании произошли изменения, в том числе значительно увеличилась доля затрат по пассажирскому хозяйству с 19,4 до 33,1 %. В целях определения причин столь резкого изменения структуры рассматриваемой группы затрат потребовалось изучить постатейную динамику расходов пассажирского хозяйства (табл. 2).

Из данных табл. 2 видно, что в целом по вокзальному комплексу по всем видам деятельности за рассматриваемый период расходы увеличились на 77 %, при этом динамика изменения затрат по статьям различна, а наибольшее увеличение наблюдается по группе затрат, связанных с оказанием услуг на вокзалах, где рост составил 2,64 раза. По виду деятельности «предоставление услуг по пассажирским перевозкам в дальнейшем следовании» расходы вокзального комплекса возросли в 2,47 раза, а по ст. 4006 «Затраты по оказанию услуг на вокзалах» — в 4,72 раза, что привело и к соответствующему изменению структуры затрат по предоставлению услуг инфраструктуры (в 2010 г. расходы по ст. 4006 составляли 26,9 %, а в 2016 г. — 51,3 %).

Таблица 1

Структура расходов ОАО «РЖД» по предоставлению услуг инфраструктуры по пассажирским перевозкам дальнего следования (2010–2016 гг.)

Table 1

Structure of the JSC “Russian Railways” expenses for provision of infrastructure services for long distance passenger transport (2010–2016)

Хозяйство	Доля во всего, %		
	2010 г.	2012 г.	2016 г.
Пассажирское	19,42	26,80	33,10
Перевозок	7,61	10,62	8,38
Локомотивное, в том числе электроэнергия на тягу	32,81*	15,26	17,66
Вагонное	0,05	0,05	0,02
Пути	22,08	24,03	21,9
Гражданских сооружений, водоснабжения и водоотведения	1,78	2,36	1,51
Автоматики и телемеханики	3,88	4,76	4,95
Связи	1,91	2,69	2,39
Корпоративной информатизации	1,03	1,54	0,72
Электрификации и электроснабжения	9,44	11,88	9,44
Итого	100,00	100,00	100,00

* расходы, связанные с содержанием и ремонтом локомотивов и работой локомотивных бригад, учитываются с 2011 г. не по перевозкам, а по прочим видам деятельности и компенсируются через арендные ставки [9, 10, 11].

Рассмотрим более подробно группу затрат, связанных с оказанием услуг на вокзалах. Согласно действующему классификатору расходов по обслуживанию пассажиров на вокзалах по пассажирскому хозяйству имеется четыре статьи затрат, которые связаны с оказанием услуг на вокзалах:

ст. 4006 «Оказание услуг на вокзалах, связанных с пассажирскими перевозками в дальнейшем следовании (кроме пассажирских перевозок в скоростных поездах моторвагонного подвижного состава)» распределяется на виды деятельности «Пассажирские перевозки в дальнейшем следовании» и «Предоставление услуг инфраструктуры в дальнейшем следовании»;

ст. 4008 «Оказание услуг на вокзалах, связанных с пассажирскими перевозками в скоростных поездах моторвагонного подвижного состава в дальнейшем следовании» распределяется на перевозки и предоставление услуг инфраструктуры в дальнейшем следовании;

ст. 5004 «Оказание услуг на вокзалах, связанных с пассажирскими перевозками в пригородном сообщении (кроме пассажирских перевозок в скоростных поездах моторвагонного подвижного состава)» распределяется на виды деятельности «Пассажирские перевозки в пригородном сообщении» и «Предоставление услуг инфраструктуры по пассажирским перевозкам в пригородном сообщении»;

ст. 5005 «Оказание услуг на вокзалах, связанных с пассажирскими перевозками в скоростных поездах моторвагонного подвижного состава в пригородном сообщении» распределяется на перевозки и предоставление услуг инфраструктуры в пригородном сообщении.

На данных статьях затрат (ст. 4006, 4008, 5004, 5005) отражаются расходы владельца инфраструктуры, связанные с оказанием информационных услуг пассажирам, обеспечением контроля за работой автоматизированных устройств по обслуживанию пассажиров, осуществлением досмотра вещей, находящихся при пассажирах, как ручным методом, так и при помощи интроскопа и т. д. [1].

Согласно Федеральному закону «О транспортной безопасности» № 16-ФЗ от 09 февраля 2007 г. целями обеспечения транспортной безопасности являются устойчивое и безопасное функционирование транспортного комплекса, защита интересов личности, общества и государства в сфере транспортного комплекса от актов незаконного вмешательства [12]. В соответствии с требованиями [13, 14] по уровням безопасности для различных транспортных категорий объектов транспортной инфраструктуры и транспортных средств железнодорожного транспорта введен досмотр пассажиров и багажа, а также соответствующие устройства по обеспечению транспортной безопасности. На статьях 4006, 4008, 5004, 5005, начиная с 2011 г., отражаются расходы владельца инфраструктуры, связанные с

Таблица 2

Изменение структуры затрат по статьям вокзального комплекса за период 2010–2016 гг.

Table 2

Changes in the structure of costs for the station complex during the period 2010–2016

Номер статьи	Наименование	Структура затрат вокзального комплекса с выделением вида деятельности услуги				Темп роста величин затрат в абсолютном выражении, 2016 г. к 2010 г., раз	
		В целом по пассажирским перевозкам и услугам инфраструктуры (%)		В т. ч. по услугам инфраструктуры в дальнем следовании (%)		В целом по пассажирским перевозкам и услугам инфраструктуры	В т. ч. по услугам инфраструктуры в дальнем следовании
		2010 г.	2016 г.	2010 г.	2016 г.		
2001, 2002	Затраты по текущему ремонту зданий, сооружений, оборудования и инвентаря, связанных с пассажирскими перевозками	13,46	10,29	11,14	5,86	1,35	1,30
2003, 2004	Затраты по обслуживанию зданий, сооружений и оборудования, связанных с пассажирскими перевозками	44,29	42,39	43,85	35,47	1,70	2,00
2006, 2007	Затраты по обслуживанию и текущему ремонту зданий, сооружений, оборудования и инвентаря пассажирского хозяйства, связанных с пассажирскими перевозками	9,83	4,56	8,39	2,43	0,82	0,72
2009	Затраты по амортизации основных средств пассажирского хозяйства, находящихся на балансе других хозяйств	1,17	0,98	1,46	1,23	1,49	2,09
2008, 2020	Затраты по капитальному ремонту зданий, сооружений, оборудования и инвентаря пассажирского хозяйства, выполняемые структурными подразделениями других хозяйств	5,55	3,43	8,26	3,69	1,10	1,10
4006, 5004, 5036	Затраты по оказанию услуг на вокзалах, связанных с пассажирскими перевозками	25,69	38,35	26,90	51,31	2,64	4,72
	Итого					1,77	2,47

обеспечением транспортной безопасности на вокзалах, т. е. с организацией досмотра пассажиров и багажа.

Наиболее значительная доля рассматриваемой группы затрат (94,4 %) в настоящее время отнесена на услуги инфраструктуры в дальнем следовании.

Динамика роста затрат пассажирского хозяйства по предоставлению услуг инфраструктуры в дальнем следовании и затрат по ст. 4006 за период 2010–2016 гг. приведена на рис. 1.

На представленном графике (рис. 1) показано, что за период 2010–2016 гг. рост затрат по рассматриваемой статье составил 4,7 раза, в целом же затраты пассажирского хозяйства без учета этой статьи возросли в 1,2 раза за тот же период.

При этом необходимо отметить, что Тарифное руководство [15], регламентирующее уровень тарифа за услуги инфраструктуры для пассажирских перевозчиков, создавалось в период 2005–2009 гг. на базе данных соответствующего периода, при этом в составе расходной

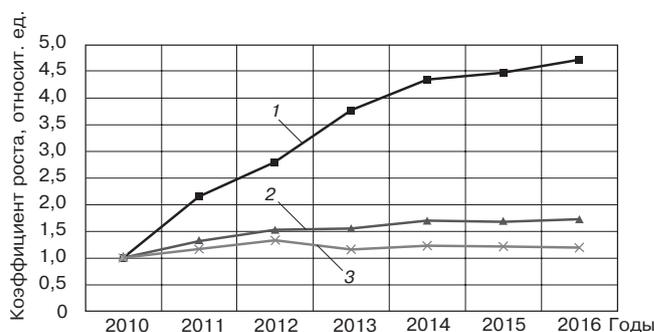


Рис. 1. Коэффициент роста (базисный, к уровню 2010 г.) затрат пассажирского хозяйства и расходов по ст. 4006 в части предоставления услуг инфраструктуры в дальнем следовании за период 2010–2016 гг.: 1 — ст. 4006; 2 — пассажирское хозяйство; 3 — пассажирское хозяйство, за искл. ст. 4006

Fig. 1. The growth rate (basic, to the level of 2010) of the costs of the passenger economy and the costs under art. 4006 in terms of providing long-distance infrastructure services for the period 2010–2016: 1 — art. 4006; 2 — passenger services; 3 — passenger service, excl. art. 4006

базы, принятой в расчет, затрат на организацию досмотра пассажиров и багажа не существовало, и, соответственно, данная группа расходов в тарифе не учтена.

Таблица 3

Постатейная структура затрат ОАО «РЖД» по оказанию услуг на вокзалах в 2016 г.

Table 3

Itemized cost structure of the JSC “Russian Railways” expenses for providing services at railway stations in 2016

Номер	Наименование статьи	Структура затрат по видам деятельности в дальнем следовании и пригородном сообщении, %	
		перевозки	предоставление услуг инфраструктуры
4006	Оказание услуг на вокзалах, связанных с пассажирскими перевозками в дальнем следовании (кроме пассажирских перевозок в скоростных поездах моторвагонного подвижного состава)	5,8	93,4
4008	Оказание услуг на вокзалах, связанных с пассажирскими перевозками в скоростных поездах моторвагонного подвижного состава в дальнем следовании	—	—
5004	Оказание услуг на вокзалах, связанных с пассажирскими перевозками в пригородном сообщении (кроме пассажирских перевозок в скоростных поездах моторвагонного подвижного состава)	0,02	0,78
5005	Оказание услуг на вокзалах, связанных с пассажирскими перевозками в скоростных поездах моторвагонного подвижного состава в пригородном сообщении	—	—
Итого		100	

В отчетности 2016 г. структура затрат по рассматриваемым статьям 4006, 4008, 5004, 5005 сформировалась следующим образом (см. табл. 3).

Анализ данных табл. 3 показывает, что фактические расходы, связанные с пассажирскими перевозками и услугами инфраструктуры в дальнем следовании в части моторвагонных скоростных поездов, а также в части услуг инфраструктуры в пригородном сообщении, не нашли отражение в учете.

Пассажирские перевозки в дальнем следовании осуществляются ОАО «РЖД» только в скоростных моторвагонных поездах «Сапсан». Однако в отчетности затраты ОАО «РЖД» по этим перевозкам отражаются по ст. 4006, а не по ст. 4008 для скоростных поездов, что противоречит логике учета по этим статьям. Кроме того, по ст. 4008 не отражены расходы в части предоставления услуг инфраструктуры в дальнем следовании, связанные с перевозками пассажиров в скоростных моторвагонных поездах в дальнем следовании (например, по поездам «Ласточка», перевозчик АО «ФПК»).

По ст. 5005 в части предоставления услуг инфраструктуры в пригородном сообщении не нашли отражения расходы, связанные с отправленными пассажирами в пригородных скоростных поездах компаний-перевозчиков, например, таких как ЦППК, Аэроэкспресс, РЭКС и др.

В целях приведения в соответствие отражаемых по статьям расходов с их названиями и уточнения отнесения затрат, связанных с оказанием услуг на вокзалах, требуется разработать механизм справедливого распределения расходов ОАО «РЖД», связанных с транспортной безопасностью, на четыре вида деятельности: перевозки и предоставление услуг инфраструктуры соответственно в дальнем следовании и пригородном сообщении с отражением перевозок в скоростных поездах.

Совершенствование учета затрат вокзального комплекса. В соответствии с действующим классификатором затрат, все расходы по транспортной безопасности долж-

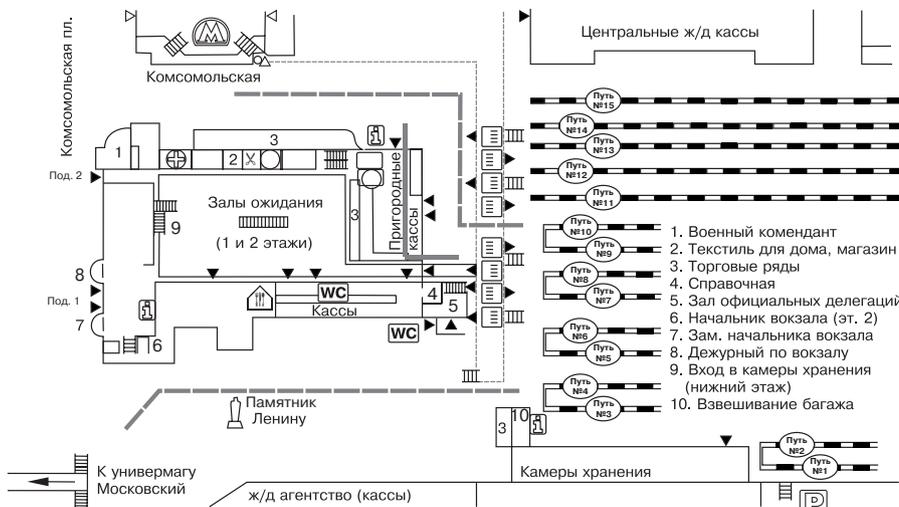


Рис. 2. Схема Ярославского вокзала г. Москвы, где показан вариант прохода пассажиров к поездам, минуя здание вокзала и зоны досмотра пассажиров (пунктирные линии), и возможность прохода пригородных пассажиров через кассовый зал (сплошная линия) в целях покупки билетов на электропоезда

Fig. 2. Scheme of Yaroslavl Railway Station in Moscow, which shows the option for passengers to get to the trains, passing the station building and the passenger screening zone (dotted lines), and the possibility of passing suburban passengers through the ticket office (solid line) for the purchase of tickets for commuter trains

ны распределяться по статьям и видам деятельности пропорционально измерителю «отправленные пассажиры». Ввиду того, что кратность досмотра пассажиров дифференцирована по видам перевозок и категориям поездов, целесообразно ввести коэффициенты приведения, применяемые при расчете измерителя, учитывающие также схемы прохода пассажиров к поездам.

Специалистами института АО «ВНИИЖТ» было проведено выборочное обследование систем организации досмотра пассажиров, в том числе на Ленинградском, Ярославском, Савеловском и Казанском вокзалах г. Москвы.

Безусловно, на вокзалах преимущественно оказываются услуги пассажирам дальнего следования. Вместе с тем на некоторых вокзалах все пассажиры как пригородного сообщения, так и дальнего следования проходят через пункты досмотра, т. к. выход на платформы осуществляется через здание вокзала, на входе в который они установлены (Казанский вокзал). В то же время на некоторых вокзалах существуют схемы прохода пассажиров к поездам дальнего следования, минуя вокзальное помещение с пунктами досмотра (например, Ярославский вокзал). С другой стороны, часть пассажиров пригородного сообщения, которая пользуется услугами вокзалов (залы ожидания, кассовый зал), например, на том же Ярославском вокзале, также проходит через зоны досмотра (см. рис. 2). Это необходимо учитывать при обосновании коэффициентов приведения для распределения затрат на услуги на вокзалах по видам деятельности.

В целях формирования более точных и обоснованных величин коэффициентов приведения необходимо провести широкомасштабное обследование с большим объемом исследуемых объектов. С учетом проведенных выборочных обследований определено, что не менее 5% пассажиров пригородного сообщения сети железных дорог проходят через пункты досмотра пассажиров и багажа.

Исходя из анализа схем организации проведения досмотра пассажиров на вокзалах, кратности досмотра пассажиров в зависимости от вида перевозок и категорий поездов для отнесения затрат на рассматриваемые статьи предлагается к измерителю «отправленные пассажиры» использовать следующие коэффициенты приведения:

- пассажирские перевозки и услуги инфраструктуры в дальнем следовании (кроме перевозок в скоростных поездах моторвагонного подвижного состава (далее — МВПС)) с коэффициентом 1,0;
- пассажирские перевозки и услуги инфраструктуры в дальнем следовании в скоростных поездах МВПС с коэффициентами 1,5 и 0,5 соответственно;
- пассажирские перевозки и услуги инфраструктуры в пригородном сообщении (кроме перевозок в скоростных поездах МВПС) с коэффициентом 0,05;

Таблица 4

Постатейная структура затрат по оказанию услуг на вокзалах по видам деятельности в 2016 г., сформированная при предлагаемом алгоритме распределения затрат

Table 4

Itemized structure of costs for providing services at railway stations by types of activity in 2016, formed with the proposed algorithm for allocating costs

Номер	Наименование статьи	Доля затрат по видам деятельности в дальнем следовании и пригородном сообщении, %	
		перевозки	услуги инфраструктуры
4006	Оказание услуг на вокзалах, связанных с пассажирскими перевозками в дальнем следовании (кроме пассажирских перевозок в скоростных поездах МВПС)	–	61,2
4008	Оказание услуг на вокзалах, связанных с пассажирскими перевозками в скоростных поездах МВПС в дальнем следовании	6,0	0,8
5004	Оказание услуг на вокзалах, связанных с пассажирскими перевозками в пригородном сообщении (кроме пассажирских перевозок в скоростных поездах МВПС)	1,1	29,6
5005	Оказание услуг на вокзалах, связанных с пассажирскими перевозками в скоростных поездах МВПС в пригородном сообщении	–	1,3
Итого		100	

– пассажирские перевозки и услуги инфраструктуры в пригородном сообщении в скоростных поездах МВПС с коэффициентом 0,5.

При применении предлагаемого алгоритма учета затрат расходы 2016 г. по статьям 4006, 4008, 5004, 5005 распределяются следующим образом (табл. 4).

Из данных табл. 4 видно, что структура распределения затрат по оказанию услуг на вокзалах существенно изменилась: снизилась доля затрат, относимых на инфраструктуру в дальнем следовании, увеличилась на инфраструктуру в пригородном сообщении. Исключены затраты, отнесенные на перевозки в дальнем следовании нескоростными моторвагонными поездами. Более полно учтены затраты, связанные с перевозками и услугами инфраструктуры в скоростном движении моторвагонным подвижным составом.

В целях детализации учета затрат по предоставлению услуг на вокзалах в части обеспечения транспортной безопасности для отражения затрат при вход-

ном контроле на объекты инфраструктуры в 2016 г. введена ст. 5036 «Осуществление входного контроля и обследования физических лиц и их ручной клади и багажа при входе на объекты инфраструктуры железнодорожного транспорта в целях обеспечения безопасности в пассажирских перевозках в пригородном сообщении», которая составила незначительную долю от рассматриваемых затрат (0,3%). Вместе с тем требуется ввести пояснения в Порядок [1], разъясняющие механизм перераспределения расходов между статьями 5004, 5005, 5036 в части скоростных и нескоростных перевозок в пригородном сообщении.

Вывод. Применение предлагаемых принципов учета затрат по группе статей, связанных с обслуживанием пассажиров на вокзалах, способствует развитию системы управленческого учета, в том числе системы измерителей, определяющих правила распределения затрат, позволяет более точно и справедливо формировать финансовый результат ОАО «РЖД» по видам деятельности в дальнем и пригородном сообщении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Приказ Минтранса России от 12 августа 2014 года № 225 «Об утверждении Порядка ведения раздельного учета доходов и расходов субъектами естественных монополий в сфере железнодорожных перевозок». URL: https://www.mintrans.ru/documents/detail.php?ELEMENT_ID=24726 (дата обращения: 01.08.2017 г.).
2. Мирошниченко О. Ф., Морозова М. В., Фадейкина Н. В. Оценка себестоимости пассажирских перевозок дальнего следования в Федеральной пассажирской компании // Железнодорожный транспорт. 2011. № 10. С. 63–66.
3. Мирошниченко О. Ф., Морозова М. В. Актуализация корпоративной управленческой отчетности ОАО «РЖД» в условиях структурной реформы // Железнодорожный транспорт на современном этапе. Задачи и пути их решения: тр. ВНИИЖТ. М.: Интекст, 2008. С. 254–259.
4. Мирошниченко О. Ф., Огинская А. Е. Совершенствование системы тарификации услуг инфраструктуры для пассажирских перевозчиков по критерию «скорость» // Экономика железных дорог. 2015. № 7. С. 43–53.
5. Мирошниченко О. Ф., Шмелев А. В., Малышев А. С. Новая методология построения пассажирских тарифов в дальнем следовании // Экономика железных дорог. 2009. № 6. С. 31–40.
6. Годовой отчет ОАО «РЖД» за 2015 г. [Электронный ресурс]. URL: <http://ar2015.rzd.ru/ru/> (дата обращения: 01.08.2017 г.).
7. Мирошниченко О. Ф., Огинская А. Е., Морозова М. В. Методические подходы к выделению затрат ОАО «РЖД» по предоставлению услуг инфраструктуры иным перевозчикам // Вестник ВНИИЖТ. 2008. № 1. С. 28–31.
8. Мирошниченко О. Ф., Огинская А. Е., Морозова М. В. Выделение затрат ОАО «РЖД» по предоставлению услуг инфраструктуры пассажирским перевозчикам // Экономика железных дорог. 2008. № 4. С. 9–16.
9. Арендная плата за предоставление локомотивов в пассажирском движении дальнего следования и методы ее расче-

та / О. Ф. Мирошниченко, Г. Е. Писаревский, М. В. Морозова, Е. Е. Четверикова // Экономика железных дорог. 2010. № 3. С. 25–31.

10. Мирошниченко О. Ф., Огинская А. Е., Морозова М. В. Новые методические подходы к расчету арендной платы за локомотивы ОАО «РЖД» в пассажирском движении для современных экономических условий // Железнодорожный транспорт на современном этапе: сб. тр. ученых / ОАО ВНИИЖТ; под ред. Б. М. Лапидуса, Г. В. Гогричани. М.: Интекст, 2014. С. 22–28.

11. Мирошниченко О. Ф., Морозова М. В. Расчет платы за услуги ОАО «РЖД» по предоставлению локомотивных бригад и экипажировке локомотивов // Экономика железных дорог. 2011. № 1. С. 91.

12. Федеральный закон «О транспортной безопасности» №16-ФЗ от 09 февраля 2007 г. URL: <http://base.garant.ru/12151931/> (дата обращения: 01.08.2017 г.).

13. Приказ Минтранса РФ от 8 февраля 2011 г. № 43 «Об утверждении Требований по обеспечению транспортной безопасности, учитывающих уровни безопасности для различных категорий объектов транспортной инфраструктуры и транспортных средств железнодорожного транспорта». URL: https://www.mintrans.ru/documents/detail.php?ELEMENT_ID=15745 (дата обращения: 01.08.2017 г.).

14. Постановление Правительства РФ от 26 апреля 2017 г. № 495 «Об утверждении требований по обеспечению транспортной безопасности, в том числе требований к антитеррористической защищенности объектов (территорий), учитывающих уровни безопасности для различных категорий объектов транспортной инфраструктуры и транспортных средств железнодорожного транспорта». URL: <http://rulaws.ru/government/Postanovlenie-Pravitelstva-RF-ot-26.04.2017-N-495/> (дата обращения: 01.08.2017 г.).

15. Приказ Федеральной службы по тарифам от 27 июля 2010 г. № 156-т/1 «Об утверждении тарифов, сборов и платы на работы (услуги), связанные с перевозкой пассажиров, багажа и грузобагажа железнодорожным транспортом общего пользования во внутрисоюзном сообщении и пробегом пассажирских вагонов, выполняемые в составе дальних поездов ОАО «Российские железные дороги», ОАО «Федеральная пассажирская компания», ОАО «Пассажирская компания «Сахалин», ОАО «АК «Железные дороги Якутии» и на работы (услуги) по использованию инфраструктуры железнодорожного транспорта общего пользования, оказываемые ОАО «Российские железные дороги», ОАО «АК «Железные дороги Якутии», при данных перевозках, цен (тарифов) на работы (услуги) по использованию инфраструктуры железнодорожного транспорта общего пользования, оказываемые ОАО «Российские железные дороги» при осуществлении перевозок пассажиров, багажа и грузобагажа железнодорожным транспортом общего пользования в пригородном сообщении в субъектах Российской Федерации, а также правил их применения (Тарифное руководство)». URL: <http://www.fstrf.ru/docs/transport/125> (дата обращения: 01.08.2017 г.).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

МИРОШНИЧЕНКО Ольга Федоровна,
д-р экон. наук, профессор, заведующая отделением
«Экономика и финансы», АО «ВНИИЖТ»

ОГИНСКАЯ Анна Евгеньевна,
канд. экон. наук, заведующая лабораторией, АО «ВНИИЖТ»

Статья поступила в редакцию 31.08.2017 г., принята к публикации 30.10.2017 г.

Development of the system of management accounting of costs of the railway transport complex

O. F. MIROSHNICHENKO, A. E. OGINSKAYA

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

Abstract. In order to improve the efficiency of long distance transport, it is necessary for all participants in the process to optimize the costs of infrastructure services by introducing advanced technologies for the organization of the transportation process, the maintenance and repair of infrastructure, the quality of passenger service. In addition, it is necessary to improve the management accounting of costs for this type of activity. At present, the attribution of the costs of the owner of the railway infrastructure is regulated by the procedure for the separate accounting of incomes and expenditures by subjects of natural monopolies in the sphere of railway transportation.

The article analyzes the dynamics of costs in the provision of infrastructure services in the long-distance, the need to improve the existing procedure for recording costs for a group of articles of the passenger economy, both in the long-distance and in suburban communications, is justified. A new tool for allocating costs by type of activity was proposed on the basis of the survey.

The application of the proposed cost accounting mechanism for a group of articles related to passenger service at railway stations will allow forming a financial result more accurately and fairly by production processes and activities, and to reduce the unprofitability of Russian Railways when providing long-distance infrastructure services.

Keywords: passenger transport; infrastructure services; railway station complex; transport security; management accounting of costs; coefficient of reduction; loss reduction

DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2017-76-6-341-347>

REFERENCES

1. Order of the Ministry of Transport of Russia of August 12, 2014, no. 225 "On Approving the Procedure for Separate Accounting of Incomes and Expenses by Natural Monopolies Entities in the Sphere of Railway Transport" (in Russ.). URL: https://www.mintrans.ru/documents/detail.php?ELEMENT_ID=24726 (retrieved on 01.08.2017).
2. Miroshnichenko O. F., Morozova M. V., Fadeykina N. V. *Estimation of the cost price of long distance passenger transportation in the Federal Passenger Company*. Zheleznodorozhnyy transport, 2011, no. 10, pp. 63–66.
3. Miroshnichenko O. F., Morozova M. V. *Update of the corporate management reporting of the JSC "Russian Railways" under the conditions of structural reform*. Railway transport at the present stage. Tasks and solutions. Proc. of the JSC "VNIIZhT". Moscow, Intext Publ., 2008, pp. 254–259.
4. Miroshnichenko O. F., Oginskaya A. E. *Perfection of the tariff system for infrastructure services for passenger carriers by the criterion "speed"*. Ekonomika zheleznikh dorog, 2015, no. 7, pp. 43–53.
5. Miroshnichenko O. F., Shmelev A. V., Malyshev A. S. *New methodology for building far-distance passenger fares*. Ekonomika zheleznikh dorog, 2009, no. 6, pp. 31–40.
6. *Annual report of the JSC "Russian Railways" for 2015*. (in Russ.). URL: <http://ar2015.rzd.ru/ru/> (retrieved on 01.08.2017).
7. Miroshnichenko O. F., Oginskaya A. E., Morozova M. V. *Methodical approaches to allocation of expenses of the JSC "Russian Railways" for the provision of infrastructure services to other carriers*. Vestnik VNIIZhT [Vestnik of the Railway Research Institute], 2008, no. 1, pp. 28–31.
8. Miroshnichenko O. F., Oginskaya A. E., Morozova M. V. *Allocating the costs of the JSC "Russian Railways" in providing in-*

frastructure services to passenger carriers. Ekonomika zheleznikh dorog, 2008, no. 4, pp. 9–16.

9. Miroshnichenko O. F., Pisarevskiy G. E., Morozova M. V., Chetverikova E. E. *Rent for provision of locomotives in long-distance passenger traffic and methods of its calculation*. Ekonomika zheleznikh dorog, 2010, no. 3, pp. 25–31.

10. Miroshnichenko O. F., Pisarevskiy G. E., Morozova M. V., Lapidus B. M., Gogrichiani G. V. *New methodical approaches to calculation of rent for locomotives of the JSC "Russian Railways" in passenger traffic for modern economic conditions*. Railway transport at the present stage. Proc. of works of the JSC "VNIIZhT". Moscow, Intext Publ., 2014, pp. 22–28.

11. Miroshnichenko O. F., Morozova M. V. *Calculation of the fee for the services of JSC "Russian Railways" for the provision of locomotive crews and the equipping of locomotives*. Ekonomika zheleznikh dorog, 2011, no. 1, pp. 91.

12. Federal Law "On Transport Security" no. 16-FZ of February 9, 2007 (in Russ.). URL: <http://base.garant.ru/12151931/> (retrieved on 01.08.2017).

13. Order of the Ministry of Transport of the Russian Federation of February 8, 2011, no. 43 "On Approval of the Requirements for Ensuring Transport Security, Taking into Account the Security Levels for Different Categories of Transport Infrastructure and Rail Transport Facilities" (in Russ.). URL: https://www.mintrans.ru/documents/detail.php?ELEMENT_ID=15745 (retrieved on 01.08.2017).

14. Decree of the Government of the Russian Federation no. 495 of April 26, 2017 "On Approval of Requirements for Ensuring Transport Security, Including Requirements for Antiterrorist Protection of Objects (Territories), Taking into Account the Security Levels for Different Categories of Transport Infrastructure and Rail Transport Facilities" (in Russ.). URL: <http://rulings.ru/government/postanovlenie-pravitelstva-rf-ot-26.04.2017-n-495/> (retrieved on 01.08.2017).

15. Order no. 156-t/1 of the Federal Tariff Service dated July 27, 2010 "On Approval of Tariffs, Charges and Fees for Work (Services) Related to the Transportation of Passengers, Luggage and Freight by Public Railroad in Domestic Communication and the Run of Passenger Cars, performed as part of long-distance trains of the JSC "Russian Railways", JSC "Federal Passenger Company", JSC "Passenger Company Sakhalin", JSC "AK "Railways of Yakutia" and for works (services) for the use of the railway infrastructure of the general public transport provided by the JSC "Russian Railways", JSC "AK "Railways of Yakutia", with the given transportation, prices (tariffs) for works (services) for the use of the public railway infrastructure provided by the JSC "Russian Railways" when carrying passengers, luggage and freight by rail using public transport in suburban areas in the constituent entities of the Russian Federation, as well as the rules for their use (Tariff Guide)" (in Russ.). URL: <http://www.fstrf.ru/docs/transport/125> (retrieved on 01.08.2017).

ABOUT THE AUTHORS

Olga F. MIROSHNICHENKO,

Dr. Sci. (Econ.), Professor, Head of the Department "Economics and Finance", JSC "VNIIZhT"

Anna E. OGINSKAYA,

Cand. Sci. (Econ.), Head of Laboratory, JSC "VNIIZhT"

Received 31.08.2017

Accepted 30.10.2017

■ E-mail: Oginskaya.Ann@vniizht.ru (A. E. Oginskaya)

Устройство для смазывания открытых узлов трения

А. Д. ПЕТРУШИН, О. Л. ИГНАТЬЕВ, Д. В. ГЛАЗУНОВ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения» (ФГБОУ ВО РГУПС), 344038, Ростов-на-Дону, Россия

Аннотация. Рассмотрена проблема повышенного износа пары «колесо — рельс». Эффективным решением данной проблемы является использование технических средств лубрикации, обеспечивающих снижение интенсивности изнашивания гребней колес подвижного состава. Предложено разработанное устройство, позволяющее точно наносить смазочный материал в форме твердого смазочного элемента на гребни колес подвижного состава и автоматизировано подавать смазочный материал в температурном диапазоне работы гребней колес подвижного состава. Описан механизм работы предлагаемого устройства для смазывания гребней колес, обеспечивающий поступление твердого смазочного материала к взаимодействующим поверхностям.

Ключевые слова: гребнесмазыватель; модификатор; бортовой гребнесмазыватель; стационарный рельсосмазыватель; передвижной рельсосмазыватель; гребень колеса; твердый смазочный материал; устройство для смазывания; механизм; открытый узел трения; подвижной состав

Введение. Одной из основных проблем железнодорожного транспорта является повышенный износ узлов подвижного состава. Наиболее напряженным узлом трения является пара «колесо — рельс», поскольку взаимодействие этих деталей одновременно происходит как по поверхностям катания, так и между гребнем колеса и боковой поверхностью рельса. Эффективным решением данной проблемы является использование технических средств лубрикации, обеспечивающих повышение ресурса колес подвижного состава и рельсов. Однако существенным недостатком технических средств лубрикации является попадание смазочного материала на поверхность катания колес тягового подвижного состава, что снижает коэффициент сцепления.

Цель работы. Целью данной работы является проведение обзора современных отечественных и зарубежных технологий смазывания и разработка устройства для смазывания гребня колеса подвижного состава, обеспечивающего при любых режимах работы и внешних условиях поступление твердого смазочного материала к взаимодействующим поверхностям и автоматическое поддержание свойств смазочной среды в необходимых пределах, предусматривающее управление процессом смазывания в соответствии

с алгоритмом, реализующим дискретное нанесение смазочного материала.

Материалы и инструменты. Бортовые гребнесмазыватели: зарубежный модификатор трения Low Coefficient of friction — с коэффициентом трения менее 0,2 (далее — LCF), отечественный гребнесмазыватель АГС-8, стационарные гребнесмазыватели СПР-02 и Protector IV, передвижной вагон-рельсосмазыватель компании «ТВЕМА».

Обзор современных зарубежных и отечественных устройств и технологий смазывания.

В настоящее время исследовательские работы по гребнесмазыванию на железных дорогах мира сконцентрированы на углубленной сравнительной оценке свойств различных устройств смазывания, разработке оптимальных режимов нанесения смазочного материала на рельсы в разных эксплуатационных условиях, определении воздействия при этом песка, позволяющего активизировать сцепление в паре «колесо — рельс», а также создании сухих антифрикционных смазок-покрытий [1–16].

До настоящего времени на железных дорогах мира использовались три основные системы смазывания с применением гребнерельсосмазывателей (лубрикаторов) (рис. 1):

- а) бортовые (на подвижном составе) [17, 18, 19];
- б) путевые стационарные [20];
- в) передвижные рельсосмазыватели [21].

Рассмотрим бортовые гребнесмазыватели. Бортовые гребнесмазыватели — устройства, устанавливаемые на локомотиве, применяемом в поездной или маневровой работе, или секциях моторвагонного подвижного состава, предназначенные для нанесения смазочного материала на гребни колес [17, 18, 19].

Устройства, разработанные компанией Portec Railway Maintenance Products (США), являются одними из последних достижений в области улучшения параметров антифрикционного контакта «колесо — рельс» и применяются в таких странах, как США, Канада, Франция. Использование модификатора трения LCF (рис. 2, а) для смазывания пары «колесо — рельс» дает возможность отменить специальные технологические окна в графиках движения для про-

■ E-mail: glazunovdm@yandex.ru (Д. В. Глазунов)

пуска локомотивов-рельсосмазывателей на обычных и высокоскоростных участках, отказаться от использования операторов, осуществляющих управление процессом нанесения смазочного материала, уменьшить влияние человеческого фактора на управление процессами смазывания.

В нашей стране наибольшее распространение получили бесконтактные автоматические гребнесмазыватели АГС-8 на основе жидких смазочных материалов производства НПП «ФРОМИР» (рис. 2, б). Системами АГС-8 оборудовано более 7 000 единиц подвижного состава ОАО «РЖД», промышленного транспорта и метрополитена. АГС-8 при помощи специальных дозирующих форсунок наносят смазочный материал только во время движения локомотива на гребни набегающих колесных пар в количестве 3 г/км. В результате на гребнях (при движении по прямой) образуется антифрикционная пленка толщиной порядка 20 мкм. Вследствие взаимодействия гребней с рельсом смазочный материал переносится на боковую поверхность рельса и на последующие гребни. Расчетная толщина смазки на рельсе 0,1–0,3 мкм. В качестве смазочных материалов в настоящее время на АГС-8 используются «ПУМА-МР», «ПУМА-МГ». Управление АГС-8 осуществляется специальными электронными блоками, оснащенными датчиками пути. В качестве датчика пути для АГС-8 могут использоваться сигналы, генерируемые датчиками оборотов колеса (типа Л178), входящими в системы КПД, САУТ, КЛУБ и др. АГС-8 устанавливаются на любом типе подвижного состава [22, 23].

Однако бортовые гребнесмазыватели АГС-8 имеют ряд недостатков:

- отсутствие контроля за исправностью оборудования может стать причиной лавинного боксования; на грузовых локомотивах по горноперевальному участку гребнесмазыватель просто отключают;
- сложное устройство гребнесмазывателя, включающее электронный блок, пневматическую систему, форсунки, маслостойкие шланги, приводит к частому выходу из строя отдельных компонентов гребнесмазывателя;
- ремонт данного оборудования необходимо осуществлять высококвалифицированными слесарями при ТР.

Стационарные (путевые) рельсосмазыватели устанавливаются для смазывания стрелочных переводов с целью уменьшения износа рельсов и колесных пар локомотивов и вагонов, снижения уровня шума и вибрации при движении железнодорожных составов через населенные пункты, а также рационального использования энергии. В качестве смазочного материала в стационарных рельсосмазывателях СПР-02 (рис. 3, а) и Protector IV (рис. 3, б) может использоваться смазочный материал «СПЛ» ТУ 32 ЦТ 2186-93, смазка

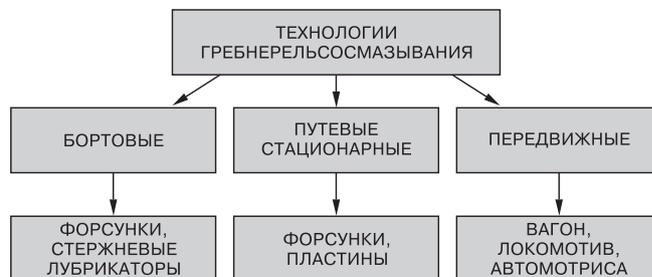


Рис. 1. Классификация технологий смазывания
Fig. 1. Classification of lubrication technologies

полужидкая «ПУМА-М» ТУ 0254-01055954-04; Tribol GmbH «MOLUB-ALLOY BIOTOP 9418», Rhenus Lub GmbH «Rhenus Norlith BWN 000».

При движении железнодорожного состава колеса проходят над датчиками. Сигналы от датчиков поступают в электронный блок, который в зависимости от заданного режима работы формирует импульсы управления электропневматическим клапаном форсунки-дозатора. При каждом импульсе электропневматический клапан открывается на время 0,25 с и форсунка производит выброс порции смазочного материала на боковую поверхность головки рельса. Для обеспечения распределения смазки вдоль рельса и ее хорошего захвата гребнями колес выброс производится в четыре точки, расположенные вдоль рельса в горизонтальной плоскости. Расстояние между ними регулируется — от 100 до 200 мм. Размер каждой точки — 8...10 мм. Расположение точек по уровню — регулируется. Один выброс содержит приблизительно 0,35 см³.

Рассмотренные стационарные рельсосмазыватели обладают сложной многокомпонентной систе-



Рис. 2. Бортовые гребнесмазыватели: а — LCF; б — АГС-8
Fig. 2. Onboard flange lubricators: а — LCF; б — АГС-8



Рис. 3. Стационарные (путевые) рельсосмазыватели:
а — СПР-02; б — Protector IV
Fig. 3. Stationary (track) rail lubricators:
а — СПР-02; б — Protector IV

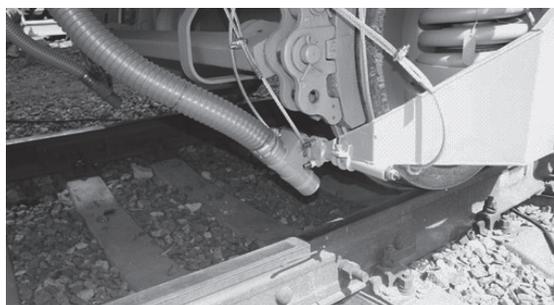


Рис. 4. Система лубрикации передвижного рельсосмазывателя
Fig. 4. Lubrication system for mobile rail lubricator

мой: бак, насос, питатели, шланги — следовательно, велика вероятность выхода из строя отдельных компонентов. При ремонте рельсосмазывателей необходимо предъявлять высокие требования к квалификации обслуживающего персонала, к качеству проводимых работ по ремонту или обслуживанию системы. Попадание смазки на дорожку качения приводит к уменьшению тяговых возможностей подвижного состава. Высокая зависимость вязкости смазывающего вещества от температуры окружающей среды позволяет осуществлять смазывание

только в ограниченном температурном диапазоне. Стационарные рельсосмазыватели работают на небольшом расстоянии от места установки.

Передвижной рельсосмазыватель — служебно-технический вагон, локомотив или автомотриса (дрезина), не используемые в поездной или маневровой работе, оборудованные устройством для нанесения смазочного материала на боковую грань головки рельса.

Компанией «ТВЕМА» создан вагон-рельсосмазыватель (PCM) с современным высокотехнологичным оборудованием, который по своей функциональности превышает возможности существующих аналогов за счет использования интеллектуального программного обеспечения (рис. 4). Рельсосмазывающая установка имеет основную (гидравлическую) и резервную (пневматическую) подачу смазочного материала и включает в себя: заправочную систему; два расходных бака для смазки; компрессор с ресивером; автоматическую систему подачи смазки на форсунку с возможностью управления от GPS/ГЛОНАСС или гироскопического датчика (в качестве резервного); узлы подачи смазочного материала на рельсы с системой обогрева внешнего трубопровода и форсунок. Емкость баков для смазочного материала составляет 1 200 л. Два загрузочных модуля с обеих сторон вагона обеспечивают загрузку бочек со смазочным материалом общей емкостью 2 м³. Заправочная система содержит фильтры, исключающие загрязнение смазочного материала. Каждый из расходных баков оснащен оборудованием для определения количества и перемешивания смазочного материала. Обратное плечо при разовой заправке смазочным материалом составляет до 5 000 км. Удельный расход смазочного материала на 1 км смазываемого рельса в кривой вне зависимости от скорости движения вагона — 0,15...0,35 л. Эксплуатация передвижных рельсосмазывателей снижает пропускную способность участка. Кроме того, расход электроэнергии электровозом с рельсосмазывателем составляет порядка 50 000 кВт·ч в месяц, тепловозом — 12 т дизельного топлива [24]. Серьезной проблемой может стать отсутствие свободных ниток в графике для пропуска РСМ, особенно на однопутных участках пути с учетом низкой скорости их рабочего движения.

Учитывая вышеизложенное можно сделать вывод, что в настоящее время не существует технологий лубрикации, полностью отвечающих всем условиям работы трибоконтакта «колесо — рельс».

Поэтому вопрос о повышении эффективности смазывания колесных пар тягового подвижного состава является актуальным.

Новое устройство для смазывания гребней колес подвижного состава. При разработке нового устройства для смазывания гребней колес, которое не имело бы недостатков существующих конструкций, использовались оригинальные решения, реализуемые за счет

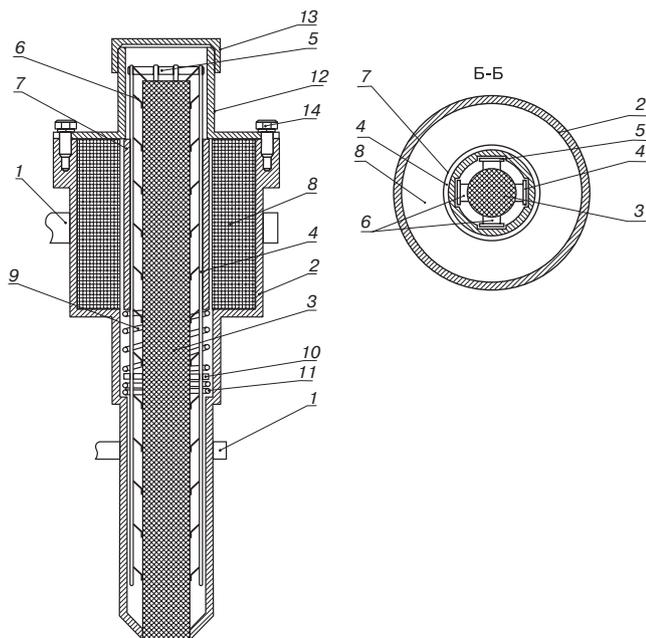


Рис. 5. Устройство для смазывания открытых систем:

- 1 — кронштейн; 2 — корпус; 3 — твердосмазочный элемент;
- 4 — первая группа пластин; 5 — вторая группа пластин;
- 6 — упругие лепестки; 7 — втулка; 8 — электромагнит;
- 9, 11 — возвратная пружина; 10 — диски; 12 — съемная часть корпуса; 13 — колпак; 14 — крепежный болт

Fig. 5. Device for lubricating open systems:

- 1 — bracket; 2 — case; 3 — solid lubricating element; 4 — the first group of plates; 5 — the second group of plates; 6 — elastic blades;
- 7 — bushing; 8 — electromagnet; 9, 11 — pull-back spring; 10 — disks; 12 — removable part of the case; 13 — cap; 14 — mounting bolt

применения секционного оформления твердосмазочного элемента, введения дополнительных промежуточных упругих элементов. Новое устройство для смазывания гребней колес (рис. 5) содержит: кронштейн 1, на котором закреплен корпус 2 с расположенным в нем твердосмазочным элементом 3, вдоль которого размещены две группы пластин 4 и 5 с упругими лепестками 6, соприкасающимися с твердосмазочным элементом. Группа пластин 4 закреплена на внутренней поверхности втулки 7, сообщающейся с электромагнитом 8, связанным с блоком управления, и возвратной пружиной 9, а вторая группа пластин 5 связана с дисками 10, расположенными в корпусе 2, и сообщается с возвратной пружиной 11. Устройство для смазывания гребней колес работает следующим образом. Смазывание гребня колеса твердосмазочным элементом производится периодически. Электрические сигналы, формируемые блоком управления в соответствии с принятым способом смазывания, поступают на электромагнит 8, который, взаимодействуя с втулкой 7, осуществляет подачу и прижатие твердосмазочного элемента к поверхности гребня колеса. При включении электромагнита 8 группа пластин 4, закрепленных на внутренней поверхности втулки 7, находящейся в зоне действия электромагнита 8, перемещается вместе с закрепленным в них твердосмазочным элементом, фиксируемым с торца упругими лепестками 6 на величину, определяемую ходом втулки 7. При этом соотношение жесткостей упругих лепестков 6, пружин 9 и 11 таково, что сначала сжимается пружина 11 группы пластин 5, не связанных с электромагнитом 8, и твердосмазочный элемент перемещается вместе с расположенными вдоль его оси группами пластин 4 и 5. При дальнейшем движении втулки 7 группа пластин 4 вместе с твердосмазочным элементом перемещается относительно выбравших свой ход группы пластин 5, преодолевая сопротивление пружины 9 и трение между упругими лепестками 6, расположенными на пластинах 5, осуществляя подачу и прижатие смазочного материала к гребню колеса. При отключении электромагнита втулка 7 с закрепленными в ней пластинами 4 под действием пружины 9 перемещается относительно твердосмазочного элемента и группы пластин 5. Затем под действием возвратной пружины группа пластин 4 и 5 возвращается в исходное положение, удерживаемый в них твердосмазочный элемент посредством упругих лепестков отводится от гребня колеса и нанесение смазочного материала прекращается. Устройство для смазывания гребней колес подвижного состава, представляющее собой корпус с расположенным в нем механизмом подачи твердосмазочного элемента, монтируется на балансирах колесной пары подвижного состава при помощи кронштейна. Механизм подачи смазочного элемента дополнительно содержит элект-

ромагнит и втулку, состоящую из группы пластин с упругими лепестками, соприкасающимися с твердосмазочным элементом.

Выводы. 1. В результате обзора современных зарубежных и отечественных устройств смазывания определено, что основными видами систем лубрикации являются: бортовые (на подвижном составе), путевые стационарные, передвижные РСМ. Главными недостатками существующих систем лубрикации являются: сложность конструкции систем гребнесмазывания, точность нанесения смазочного материала на гребень колеса, отсутствие контроля за исправностью оборудования (бортовые и стационарные гребнесмазыватели), отсутствие свободных ниток в графике для пропуска передвижных РСМ, особенно на однопутных участках пути с учетом низкой скорости их рабочего движения.

2. Представлено устройство для смазывания гребней колес, позволяющее обеспечить точность нанесения смазочного материала на гребень колеса и автоматизированную подачу твердого и пластичного смазочного материала в температурном диапазоне работы колесно-рельсовой трибосистемы, а также управлять процессом смазывания в соответствии с алгоритмом дискретного нанесения смазочного материала. Данное устройство представляет собой корпус с расположенным в нем механизмом подачи твердосмазочного элемента и устанавливается на балансирах колесной пары подвижного состава при помощи кронштейна.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Меркурьев Г. Д., Елисеев Л. С. Смазочные материалы на железнодорожном транспорте. М.: Транспорт, 1985. 255 с.
2. Tuzik R. E. When wheel meets rail // *Railway Age*. 2000. No. 7. P. 42–43, 45.
3. Matoba K. Four key technologies can not only help optimize the wheel/rail interface, but save money. *Railway Track & Structures*. 2000. No. 7. P. 31–33.
4. Kalousek I., Magel E. The Magic Wear Rate. *Railway Track & Structures*. 1997. No. 5. P. 31–32.
5. Luczak M. Ways to optimize the system «wheel — rail». *Railway Age*. 1999. No. 1. P. 51–55.
6. Оули Р., Рейфф Р. Продление срока службы рельсов и колес: пер. с англ. // *Железные дороги мира*. 2000. № 9. С. 44–49.
7. Певзнер В. О., Белоцветова О. Ю., Потапов А. В. Результаты наблюдений по оценке влияния эксплуатационных факторов на боковой износ рельсов // *Вестник ВНИИЖТ*. 2016. № 4. С. 242–247. DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2016-75-4-242-247>.
8. Бартенева Л. И., Никитин В. Е. Технология комплексного снижения износа гребня колеса и рельса с помощью передвижных рельсосмазывателей // *Железные дороги мира*. 2004. № 1. С. 62–68.
9. Ишида М., Аоки Ф. Влияние лубрикации на взаимодействие подвижного состава и пути: пер. с англ. // *Железные дороги мира*. 2005. № 9. С. 52–61.
10. Judge T. *Railway Track & Structures*. 2000. No. 2. P. 29–31.
11. Cregger D. E. *Bulletin AREA*. 1997. No. 760. P. 67–75.
12. Богданов В. М., Михайлова Н. В. Развитие исследований в области взаимодействия пути и подвижного состава // *Вестник*

ВНИИЖТ. 2016. № 4. С. 256–260. DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2016-75-4-256-260>.

13. Knauer T. *Verkehr und Technik*. 1995. № 9. С. 374–377.
14. Kalay S., Samuels J. *Railway Track & Structures*. 2002. No. 3. P. 13–16.
15. Matoba K. *Railway Track & Structures*. 2000. No. 7. P. 31–33.
16. Майба И. А., Носков В. Н., Глазунов Д. В. Применение лубрикации зоны контакта «колесо — рельс» на железных дорогах // Вестник машиностроения. 2016. № 4. С. 86–88.
17. Глазунов Д. В., Больших И. В. Основные технологии смазывания трибоконтакта «ребро колеса — рельс» // Проблемы синергетики в трибологии, трибоэлектрохимии, материаловедении и мехатронике: сб. науч. ст. по материалам 13-й Международной науч.-практ. конф. / Южно-Российский гос. политех. ун-т (НПИ) им. М. И. Платова. Новочеркасск, 2015. С. 63–70.
18. Машкович О. Н. Оптимизация процесса взаимодействия колеса с рельсом за счет трения // Железнодорожный транспорт за рубежом. 1998. Вып. 5, 6. С. 4–8. (Сер. IV. Путь и путевое хозяйство).
19. Машкович О. Н. Программа оптимизации взаимодействия колеса с рельсом // Железнодорожный транспорт за рубежом. 1998. Вып. 5, 6. С. 8–11. (Сер. IV. Путь и путевое хозяйство).
20. Judge T. *Railway Age*. 2004. № 12. P. 35–37.
21. Ромен Ю. С. Факторы, обуславливающие процессы взаимодействия в системе «колесо — рельс» при движении поезда в кривых // Вестник ВНИИЖТ. 2015. № 1. С. 17–26.

22. Дорожкин В. Н., Фроянц Г. С. Бортовые автоматические гребнесмазыватели НПП «ФРОМИР» // Локомотив. 2002. № 4. С. 25.

23. Дорожкин В. Н., Фроянц Г. С. Как повысить эффективность применения автоматических гребнесмазывателей АГС-8 // Локомотив. 2003. № 7. С. 27.

24. Система лубрикации [Электронный ресурс]. URL: <https://tvema.ru/512> (дата обращения: 19.09.2017).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

ПЕТРУШИН Александр Дмитриевич, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Электрический подвижной состав», ФГБОУ ВО РГУПС

ИГНАТЬЕВ Олег Леонидович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство», ФГБОУ ВО РГУПС

ГЛАЗУНОВ Дмитрий Владимирович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Электрический подвижной состав», ФГБОУ ВО РГУПС

Статья поступила в редакцию 02.10.2017 г., актуализирована 11.11.2017 г., принята к публикации 27.11.2017 г.

Device for lubrication of open friction units

A. D. PETRUSHIN, O. L. IGNAT'EV, D. V. GLAZUNOV

Federal State Budget Educational Institution of Higher Education "Rostov State Transport University" (FGBOU VO RGUPS), 344038, Rostov-on-Don, Russia

Abstract. The article considers the problem of increased wear of the wheel—rail pair. An effective solution to this problem is the use of technical means of lubrication, which ensure a reduction in the wear rate of the crests of rolling stock wheels. Based on the survey of modern foreign and domestic lubrication devices and technologies, the main types of flange lubrication systems are identified: onboard (on rolling stock), track stationary, mobile rail-lubricators. The main shortcomings of the existing lubrication systems have been identified: the complexity of the construction of flange lubrication systems, the accuracy of lubricant application on the wheel flange, the lack of control over the serviceability of equipment (onboard and stationary combs), the lack of free paths in the graph for skipping mobile rail-lubricators, especially on single-track line considering the low speed of their operation. These drawbacks lead to the conclusion that at present there are no lubrication technologies that fully meet the conditions of the wheel—rail pair operation.

A developed device is proposed that allows accurately applying a lubricant in the form of a solid lubricating element to the wheel flanges of the rolling stock and to provide an automated supply of lubricant in the temperature range of the operation of the rolling stock flanges. Authors described the mechanism of operation of the proposed device for lubricating the wheel flange, which ensures the flow of solid lubricant to the interacting surfaces.

Keywords: flange lubricator; modifier; onboard flange lubricator; stationary rail lubricator; mobile rail lubricator; flange of the wheel; solid lubricant; lubricating device; mechanism; open friction unit; rolling stock

DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2017-76-6-348-353>

REFERENCES

1. Merkur'ev G. D., Eliseev L. S. *Smazochnye materialy na zheleznodorozhnom transporte* [Lubricants for railway transport]. Moscow, Transport Publ., 1985, 255 p.

2. Tuzik R. E. *When wheel meets rail*. *Railway Age*, 2000, no. 7, pp. 42–43, 45.

3. Matoba K. *Four key technologies can not only help optimize the wheel/rail interface, but save money*. *Railway Track & Structures*, 2000, no. 7, pp. 31–33.

4. Kalousek I., Magel E. *The Magic Wear Rate*. *Railway Track & Structures*, 1997, no. 5, pp. 31–32.

5. Luczak M. *Ways to optimize the system "wheel—rail"*. *Railway Age*, 1999, no. 1, pp. 51–55.

6. Awley R., Reiff R. *Prodlenie sroka sluzhby rel'sov i koles [Wheel and rail service life extension]*. *Zheleznye dorogi mira*, 2000, no. 9, pp. 44–49.

7. Pevzner V. O., Belotsvetova O. Yu., Potapov A. V. *Rezultaty nablyudeniya po otsenke vliyaniya ekspluatatsionnykh faktorov na bokovoy iznos rel'sov* [The results of observations to assess the effect of operational factors on lateral wear of rails]. *Vestnik VNIIZhT [Vestnik of the Railway Research Institute]*, 2016, Vol. 75, no. 4, pp. 242–247. DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2016-75-4-242-247>.

8. Barteneva L. I., Nikitin V. E. *Tekhnologiya kompleksnogo snizheniya iznosa grebnya kolesa i rel'sa s pomoshch'yu peredvizhnykh rel'sosmazyvateley* [Technology of complex reduction of wear of the wheel flange and a rail by means of mobile rail-lubricators]. *Zheleznye dorogi mira*, 2004, no. 1, pp. 62–68.

9. Ishida M., Aoki F. *Vliyaniye lubrikatsii na vzaimodeystvie podvizhnogo sostava i puti* [Effect of lubrication on the interaction of rolling stock and track]. *Zheleznye dorogi mira*, 2005, no. 9, pp. 52–61.

10. Judge T. *Railway Track & Structures*, 2000, no. 2, pp. 29–31.

11. Cregger D. E. *Bulletin AREA*, 1997, no. 760, pp. 67–75.

12. Bogdanov V. M., Mikhaylova N. V. *Razvitie issledovaniy v oblasti vzaimodeystviya puti i podvizhnogo sostava* [Development of research in the field of interaction between track and rolling stock]. *Vestnik VNIIZhT [Vestnik of the Railway Research Institute]*, 2016,

Vol. 75, no. 4, pp. 256–260. DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2016-75-4-256-260>.

13. Knauer T. *Verkehr und Technik*, 1995, no. 9, pp. 374–377.

14. Kalay S., Samuels J. *Railway Track & Structures*, 2002, no. 3, pp. 13–16.

15. Matoba K. *Railway Track & Structures*, 2000, no. 7, pp. 31–33.

16. Mayba I. A., Noskov N. V., Glazunov D. V. *Primenenie lubrikatsii zony kontakta "koleso — rel's" na zheleznykh dorogakh* [Application of lubrication of the contact zone "wheel—rail" on the railways]. *Vestnik mashinostroeniya*, 2016, no. 4, pp. 86–88.

17. Glazunov D. V., Bol'shikh I. V. *Osnovnye tekhnologii smazyvaniya tribokontakta "greben' kolesa — rel's"* [The main lubrication technologies for tribocontact "flange wheel—rail"]. *Problemy sinergetiki v tribologii, triboelektrokhimii, materialovedenii i mekhatronike. Sb. nauch. st. po materialam 13-y Mezhdunarodnoy nauch.-prakt. konf. [Problems of synergetics in tribology, triboelectrochemistry, materials science and mechatronics. Coll. sci. art. on the materials of the 13th International Scientific-Practical Conference]. Novocherkassk, the South-Russian State Polytechnic University (NPI) named after M. I. Platov Publ.*, 2015, p. 63–70.

18. Mashkovich O. N. *Optimizatsiya protsessov vzaimodeystviya kolesa s rel'som za schet treniya* [Optimization of the process of wheel-rail interaction due to friction]. *Zheleznodorozhnyy transport za rubezhom*, 1998, no. 5–6, pp. 4–8.

19. Mashkovich O. N. *Programma optimizatsii vzaimodeystviya kolesa s rel'som* [Program for optimizing wheel—rail interaction]. *Zheleznodorozhnyy transport za rubezhom*, 1998, no. 5–6, pp. 8–11.

20. Judge T. *Railway Age*, 2004, no. 12, pp. 35–37.

21. Romen Yu. S. *Faktory, obuslavlivayushchie protsessy vzaimodeystviya v sisteme "koleso — rel's" pri dvizhenii poezda v krivykh* [Factors causing the interaction processes in the "wheel—rail" system when the train is moving in curves]. *Vestnik VNIIZhT [Vestnik of the Railway Research Institute]*, 2015, no. 1, pp. 17–26.

22. Dorozhkin V. N., Froyants G. S. *Bortovye avtomaticheskije grebnesmazyvately NPP "FROMIR"* [Onboard automatic wheel flange lubricator NPP "FROMIR"]. *Lokomotiv [Locomotive]*, 2002, no. 4, p. 25.

23. Dorozhkin V. N., Froyants G. S. *Kak povysit' effektivnost' primeneniya avtomaticheskikh grebnesmazyvately AGS-8* [How to improve the efficiency of the automatic flange lubricators AGS-8]. *Lokomotiv [Locomotive]*, 2003, no. 7, p. 27.

24. *Lubrication system*. (in Russ.). URL: <https://tvema.ru/512> (retrieved on 19.09.2017).

ABOUT THE AUTHORS

Aleksander D. PETRUSHIN,

Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of the Department "Electric rolling stock", FGBOU VO RGUPS

Oleg L. IGNAT'EV,

Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department "Cars and car facility", FGBOU VO RGUPS

Dmitriy V. GLAZUNOV,

Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department "Electric rolling stock", FGBOU VO RGUPS

Received 02.10.2017

Revised 11.11.2017

Accepted 27.11.2017

E-mail: glazunovdm@yandex.ru (D. V. Glazunov)

ВЫШЛИ В СВЕТ ТРУДЫ ВНИИЖТ

Вакуумно-левитационные транспортные системы: научная основа, технологии и перспективы для железнодорожного транспорта: коллективная монография членов и научных партнеров Объединенного ученого совета ОАО «РЖД» / под ред. Б. М. Лapidуса и С. Б. Нестерова. М.: РАС, 2017. 192 с.

В коллективной монографии членов и научных партнеров Объединенного ученого совета ОАО «РЖД», объединяющего ведущих представителей отраслевой и фундаментальной российской науки, отражены результаты фундаментальных научных исследований в области магнито-левитационных и вакуумно-левитационных технологий, выполненных по инициативе Объединенного ученого совета при непосредственном участии членов Совета и сотрудничающих с Советом ученых и научных коллективов.

В контексте общемировых тенденций развития транспортных систем в монографии описаны научные решения в области вакуумной левитации, раскрыты проблемы обеспечения безопасности инновационных транспортных систем на основе учета рисков при их разработке и эксплуатации, описана методология оценки эффективности вакуумно-левитационных транспортных систем, раскрыты региональные аспекты развития транспортных систем в Российской Федерации, что имеет большое значение для принятия решений в будущем о реализации конкретных транспортных проектов, основанных на использовании вакуумно-левитационных технологий в нашей стране.

Монография предназначена для руководителей и сотрудников ОАО «РЖД» и соответствующих отделений РАН, руководителей и сотрудников научно-исследовательских, конструкторских, технологических организаций, преподавателей, докторантов, аспирантов и студентов университетов путей сообщения и других высших учебных заведений.



По вопросам приобретения книги обращаться по адресу: 129626, г. Москва, 3-я Мытищинская ул., д. 10, редакционно-издательский отдел АО «ВНИИЖТ».

Тел.: (499) 260-43-20, e-mail: rio@vniizht.ru, www.vniizht.ru.

Определение сил взаимодействия в системе колесо — рельс на основании измерения напряжений в шейке рельса

Ю. С. РОМЕН, О. А. СУСЛОВ, А. А. БАЛЯЕВА

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

Аннотация. Непосредственное измерение сил взаимодействия экипажа и пути практически невозможно. Их определение можно осуществлять, измеряя напряжения в рельсах, взаимозависимости которых с силами носят вероятностный характер. Корреляция показаний сил и напряжений для поезда в большинстве случаев находится в диапазоне 0,9–0,95. Практический метод определения сил взаимодействия по напряжениям в шейке рельса был предложен Шлупфом. Получаемые результаты можно применять при проведении сертификационных испытаний. Точность метода цифровой обработки данных по напряжениям в трех точках шейки рельса существенно выше. Погрешность расчета сил не превосходит 4 %, что показывает целесообразность использования трехточечного метода при определении сил взаимодействия для установления условий обращения.

Ключевые слова: взаимодействие подвижного состава и пути; методы измерений сил взаимодействия; боковые силы; рамные силы; напряжения

Введение. При внедрении в эксплуатацию нового и модернизированного подвижного состава одной из основных проблем являются условия обеспечения как безопасности движения, так и прочности экипажа и пути, которые обуславливаются силами в системе колесо — рельс [1, 2]. В мировой практике исследований различают три компоненты силы взаимодействия: вертикальную, горизонтальную и продольную [1, 3]. Так как продольная составляющая не оказывает существенного влияния на устойчивость колеса на рельсе, при проведении динамических испытаний определяют одновременно (в одном сечении пути) величины только горизонтальных и вертикальных составляющих сил взаимодействия, которые имеют случайную величину, поскольку определяются множеством факторов.

Непосредственное измерение сил взаимодействия в контакте колесо — рельс практически невозможно. Однако, поскольку они обуславливают напряженное состояние как элементов конструкции пути, так и ходовых частей подвижного состава, их определение с известной степенью точности можно осуществлять, проводя соответствующие измерения напряжений как в пути, так и в элементах ходовых частей подвижного состава [3, 4, 5, 6].

Напряжения и силы в системе колесо — рельс обуславливаются рядом параметров, часть из которых не являются строго фиксированными. Поэтому их взаимозависимости на подвижном составе и в пути носят не абсолютный, а вероятностный характер с достаточно высокими корреляционными связями. Корреляция показаний сил взаимодействия и напряжений в рельсе в большинстве случаев находится в диапазоне 0,9–0,95 и изменяется в зависимости от характера положения в колее соседних колесных пар при их набегании на рельс. На рис. 1 приведены величины полусумм и полуразностей кромочных напряжений подошвы в различных сечениях рельса, по которым можно оценивать величину вертикальных и боковых нагрузок [7, 8] под осями грузовых вагонов в сечениях пути при разных скоростях движения. На рис. 1, а видно, что в диапазоне величин боковых сил Y_B до 20 кН выделяется группа точек, в которой коэффициент регрессии выше, чем для всей совокупности соотношения боковых сил и полуразности напряжений в кромках подошвы рельса. Эти точки зарегистрированы в основном при отсутствии набегания на рельс рассматриваемой колесной пары, когда на величину полуразности кромочных напряжений в данном сечении подошвы рельса оказывают ощутимое влияние силы воздействия соседних колес.

Силы, действующие от колеса на рельс. При определении параметров взаимодействия подвижного состава и пути наиболее целесообразно рассматривать систему координат рельса [1]. Ее элементы:

ось X — касательная к оси пути, проходящая через центр рельса;

ось Y — горизонтальная ось, параллельная поперечной оси рельса;

ось Z — вертикальная ось рельса.

Разложение сил контактного взаимодействия в координатном пространстве XYZ характеризует разностороннее воздействие колеса на путь в рассматриваемом сечении.

Вертикальная сила P — сумма проекций на ось Z сил контактного взаимодействия. Ее действие распро-

■ E-mail: uromen@mail.ru (Ю. С. Ромен)

страняется на элементы промежуточных скреплений подрельсового основания, балластный и иные несущие слои вплоть до земляного полотна. Она определяет деградацию пути в части балластного слоя, вызывает изломы подкладок и шпал, износ резиновых прокладок, просадки и перекосы пути.

Продольная сила N — сумма проекций сил контактного взаимодействия на ось X . Передается на элементы промежуточных рельсовых скреплений и через подрельсовое основание на балласт и нижележащие слои. Действие этой силы вызывает продольную деформацию пути, его угон и влияет на величину продольно-поперечного изгиба рельса.

Боковая сила воздействия на рельс Y_B — сумма проекций всех сил контактного взаимодействия на ось Y . Действует в первую очередь на удерживающие элементы скреплений и подрельсовое основание в поперечном направлении. Она является сдвигающей силой для элементов рельсошпальной решетки. Определяет прочность и износ элементов промежуточных рельсовых скреплений, вызывает изменение ширины колеи. Суммарное воздействие боковых сил $Y_{пр}$ и $Y_{лев}$ на правом и левом рельсах создает сдвигающую силу [9], действующую на всю рельсошпальную решетку и определяющую деградацию пути в плане. Если пренебречь инерционными процессами, то оно соответствует рамной силе, действующей на буксы колесной пары. Величина рамной силы создает поперечное воздействие на ходовые части и является одним из динамических параметров экипажа, результаты измерения которого характеризуют его устойчивость от схода и воздействие на путь. На рис. 2 приведены результаты измерений на экипаже рамных сил и суммы боковых на рельсах для грузового вагона в одном из сечений пути кривой радиусом 650 м [10]. Уровень корреляции этих параметров по их средним величинам составляет 0,98.

Следует отметить, что поскольку при измерениях боковые силы определяют по напряжениям в рельсе, а рамные — на подвижном составе, то вследствие неравноупругости пути под и над шпалами уровень их корреляции в междушпальных ящиках примерно на 10 % ниже, чем непосредственно над шпалой.

Основные методы измерений сил взаимодействия.

При проведении испытаний подвижного состава основным является определение вертикальных и боковых сил, так как их величина и отношение определяют в первую очередь интенсивность расстройств пути и устойчивость колеса на рельсе.

До 60-х гг. прошлого века для определения напряженного состояния пути использовали в основном измерения кромочных напряжений в подошве рельса. Вследствие приведенных выше корреляционных зависимостей по их полусумме и полуразности оце-

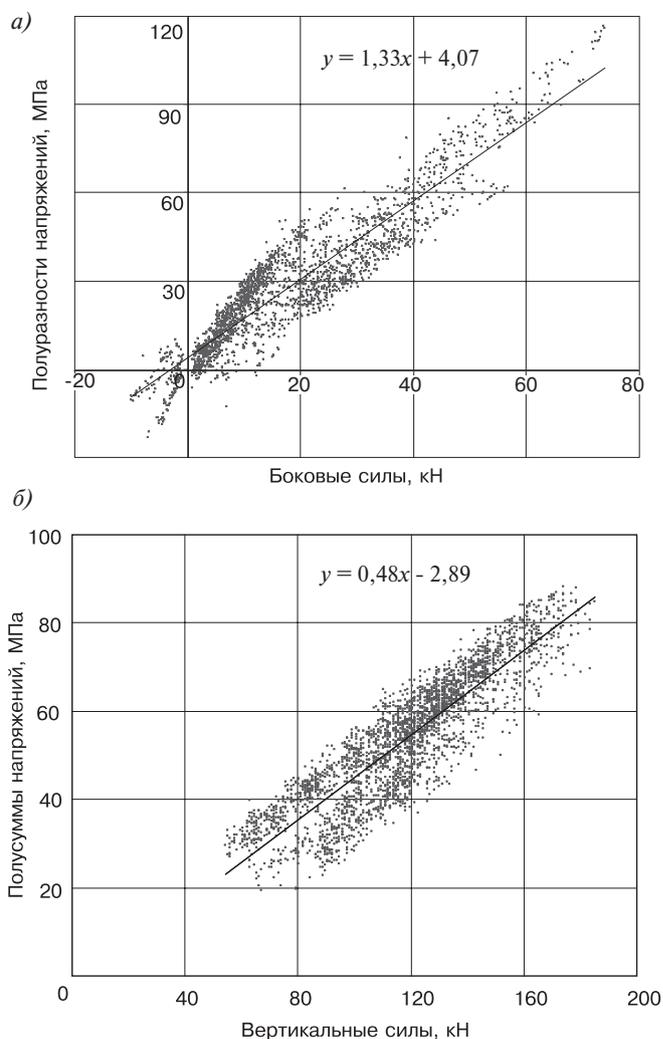


Рис. 1. Напряжения в кромках подошвы рельсов в зависимости от нагрузок на рельсы: а — полуразности напряжений в зависимости от горизонтальных нагрузок (коэффициент корреляции 0,95); б — полусуммы напряжений в зависимости от вертикальных нагрузок, (коэффициент корреляции 0,9)

Fig. 1. Stresses in the edges of the rails sole, depending on the loads on the rails: а — half-differences of stress as a function of the horizontal loads (the correlation coefficient is 0.95); б — half-sum of stresses depending on vertical loads (the correlation coefficient is 0.9)

нивали величины вертикальных и боковых сил, действующих на рельс от подвижного состава.

Тензометрические датчики для измерения напряжений в динамике были изобретены в США в 1938 г. и предложены для измерений на железной дороге в 1944 г. [11]. В 1945 г. тензодатчики начали применяться на железных дорогах России. Вначале основным инструментом непосредственного измерения сил являлось определение максимальных деформаций под проходящим подвижным составом с последующим их умножением на соответствующие жесткости, которые определяли при статической калибровке.

В 1946 г. М. Ф. Вериго предложил для оценки динамического воздействия подвижного состава на путь

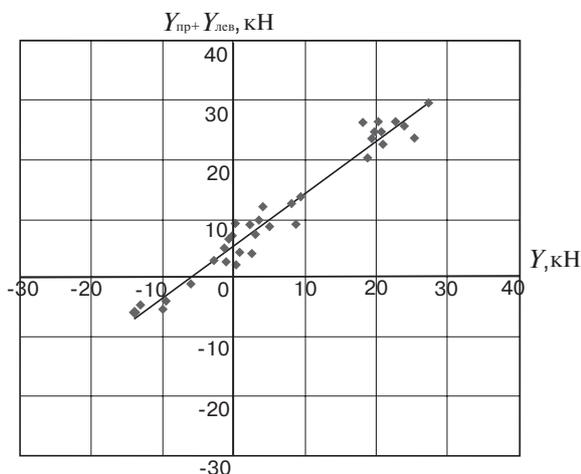


Рис. 2. Сумма боковых сил $Y_{пр}$ и $Y_{лев}$ на двух рельсах в зависимости от рамной силы Y при движении вагона со скоростями от 60 до 120 км/ч (корреляция по средним значениям), коэффициент корреляции 0,98

Fig. 2. Sum of the lateral forces $Y_{пр}$ and $Y_{лев}$ on two rails depending on the frame force Y when the car moves at speeds of 60 to 120 km/h (correlation by mean values), the correlation coefficient is 0.98

вести непрерывную регистрацию сил взаимодействия колеса и рельса, используя напряженное состояние диска колеса [12]. Этот метод в дальнейшем был реализован на локомотивах и грузовых вагонах [4, 5, 6, 13].

В работе [14] приведены методы измерений сил взаимодействия, применяемые различными фирмами. С. П. Тимошенко указывал, что «для того чтобы получить вертикальную и боковую компоненты давления колеса на рельс в условиях эксплуатации, необходимо произвести измерение напряжения в трех волокнах рельса...» [11, с. 214].

Методика экспериментального определения вертикальных и боковых сил, действующих на рельс, по измерению напряжений (деформаций) в трех точках его сечения (по наружной стороне головки и по двум кромкам подошвы) была разработана О. П. Ершковым под руководством Е. М. Бромберга [15, 16]. В соответствии с применявшейся методикой оценки взаимодействия по кромочным напряжениям параметры силового воздействия определяли по формулам:

$$\text{вертикальная сила } P = A_1 S_{нр}^n + A_2 S_{вр}^n; \quad (1)$$

$$\text{боковая сила } Y = B_1 S_{нр}^n + B_2 S_{вр}^n + B_3 S_{гр}^n; \quad (2)$$

$$\text{крутящий момент в сечении } M = Yh - Pe, \quad (3)$$

где $S_{нр}^n$, $S_{вр}^n$, $S_{гр}^n$ — показания датчиков в наружной, внутренней кромках подошвы и на наружной стороне головки рельса; h — превышение плоскости действия боковой силы над центром изгиба сечения, положение которого может не совпадать с положением нейтральной оси сечения; e — эксцентриситет приложения вертикальной нагрузки относительно продольной оси рельса; A_1, A_2, B_1, B_2, B_3 — расчетные коэффициенты, определяемые по положению мест наклейки

датчиков, плоскости приложения боковой силы и размеров элементов сечения рельса.

При отсутствии электронной портативной вычислительной техники трехточечный метод О. П. Ершкова был достаточно трудоемким, так как требовал проведения большого количества расчетов. Поэтому для проведения серийных испытаний он был заменен методом Шлупфа [17, 18], разработанным для определения силового воздействия на рельс по измерениям деформаций шейки рельса. Метод заключается в определении разности моментов в двух сечениях шейки рельса, в которых моменты сопротивления изгиба одинаковы. Имеем

$$M_a = Yh_a - Pe; \quad M_b = Yh_b - Pe, \quad (4)$$

где h_a и h_b — плечо приложения боковой силы относительно каждого из поперечных сечений (a и b).

Если величины моментов сопротивления и площади горизонтальных сечений шейки в местах наклейки тензодатчиков равны, то при равенстве масштабных коэффициентов по разности моментов изгиба определяют величину боковой силы

$$Y = (M_a - M_b) / (h_a - h_b). \quad (5)$$

При отсутствии в 50-х гг. мощной цифровой вычислительной техники четыре тензорезистора (R_1, R_2, R_3, R_4) включали в плечи одного моста Уитстона, а для определения вертикальной нагрузки использовали еще одну пару датчиков (R_5, R_6) и мост (рис. 3). Опыты А. К. Шафрановского [13] показали, что в случае правильно выбранных сечений для мест наклейки и одинаковых коэффициентах передачи датчиков эксцентриситет приложения нагрузки практически не влияет на результаты измерений. Принципиальной неточностью метода Шлупфа являлось допущение, что слагаемое Pe в формуле для определения момента во всех сечениях одинаково [19]. В действительности этим допущением можно пользоваться в том случае, когда расстояние по высоте между сечениями достаточно мало [20] по сравнению с расстоянием до точки приложения силы.

Поскольку при определении условий обращения рассматривают максимальные величины боковых сил взаимодействия, которые возникают при набегании гребнем колеса на головку рельса, для проведения калибровок на домкратной тарировочной установке применялся специальный адаптер с поверхностью, аналогичной профилю колеса (рис. 4) [3]. Это позволяло в процессе калибровок имитировать силовые процессы в контакте при набегании колеса на рельс, что уменьшало погрешности, возникающие в системе вследствие неточности определения мест наклейки датчиков и разности размеров шейки рельса в измеряемых сечениях. Следует отметить, что хотя указанные

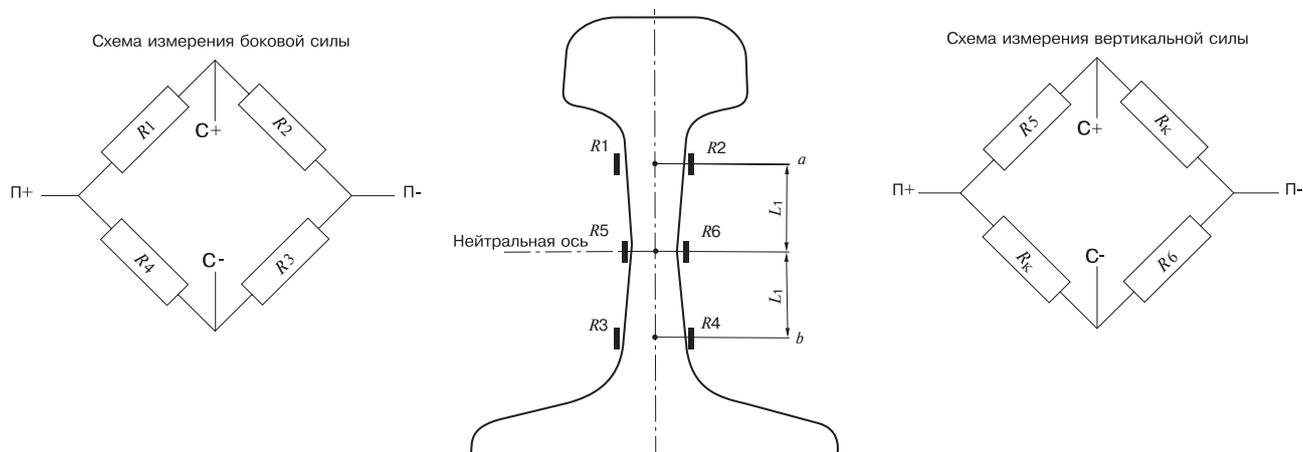


Рис. 3. Схемы измерений вертикальной и боковой сил:

R — тензометрические резисторы; $R_1, 2, 3, 4, 5, 6$ — активные тензорезисторы, R_k — компенсационные; Π — линии питания моста; C — сигнальные линии

Fig. 3. Schemes for measuring vertical and lateral forces:

R — strain-gauge resistors; $R_1, 2, 3, 4, 5, 6$ — active strain gauges, R_k — compensatory resistors; Π — power lines of the bridge; C — signal lines

погрешности не позволяют полностью нивелировать влияние момента Pe в мостовых схемах при вычитаниях в соответствии с формулами (4) и (5), их влияние не приводит к существенным неточностям при оценке и сравнении максимальных величин сил взаимодействия различных экипажей. Обуславливается это тем, что максимальные величины сил взаимодействия имеют место при набегании колеса на рельс в точках контакта, которые определяются размерами головки рельса, и поэтому величина эксцентриситета e в данном сечении примерно одинакова для всех экипажей.

Применение вычислительной техники при определении сил взаимодействия по измерениям напряжений в шейке рельса. Внедрение в процессы обработки данных средств цифровой вычислительной техники позволяет избежать погрешностей метода Шлупфа, возникающих вследствие неточности определения мест расположения тензометрических схем и различия в масштабных коэффициентах регистрируемых сигналов.

В частности, в методике «РЖД-2016» [21] реализуется замена электрической аппаратной обработки аналоговых сигналов по Шлупфу математической. Определение напряжений в каждой из четырех точек наклейки проводится в этом случае отдельной мостовой схемой. Это вдвое увеличивает число используемых тензодатчиков (до 16) и каналов измерения (до 4). Однако, поскольку в основе данного экспериментально-расчетного метода лежит использование матриц влияния, в этом случае для определения действующих на рельс сил по напряжениям в местах наклейки первичных тензометрических преобразователей (тензорезисторов) не требуется точной наклейки тензорезисторов.

При использовании, согласно С. П. Тимошенко, измерения напряжений не в четырех, а в трех точках рельса [11] количество аппаратуры существенно

уменьшается. В предлагаемом методе вместо 8 тензодатчиков, объединяемых в два моста, которые используются при определении боковой и вертикальной силы по методике Шлупфа, напряжения измеряют тремя полумостовыми схемами на шейке рельса с наклейкой 6 тензодатчиков (рис. 5).

Если датчики 1 и 3 расположены с внутренней стороны рельса, а датчик 2 — с наружной, то выражения для определения напряжений в трех i -х сечениях шейки рельса имеют вид:

$$\sigma_i = a_i P + (-1)^i b_i Y + (-1)^i c_i M, \quad (6)$$

где σ_i — напряжения, в сечениях шейки рельса (i — номер точки измерения); P — вертикальная сила, действующая от колеса на рельс на поверхности катания головки рельса; Y — боковая сила, действующая от колеса на рельс на головку рельса; $M = Pe$ — момент вертикальной силы при поперечном смещении точки контакта на головке рельса; a, b, c — элементы ма-

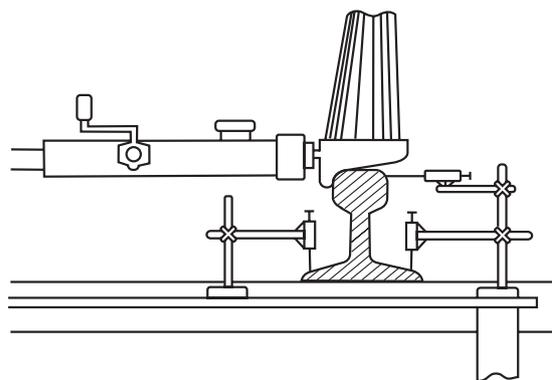


Рис. 4. Схема установки для создания калибровочной нагрузки на рельс

Fig. 4. Installation scheme for creating a calibration load on a rail

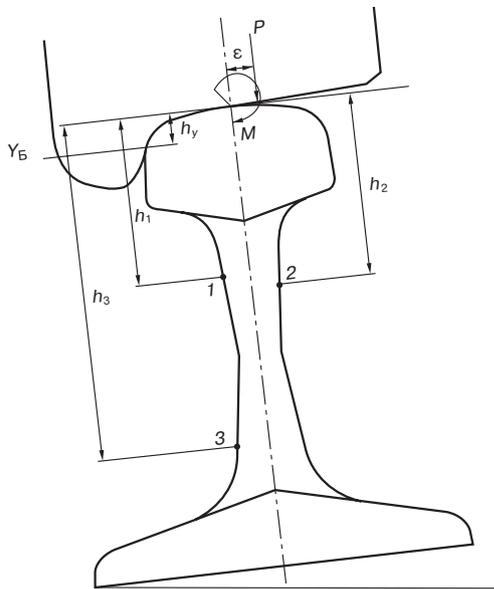


Рис. 5. Расчетная схема определения вертикальной и боковой сил взаимодействия по трем точкам измерения (1, 2 и 3) напряжений в шейке рельса: h_i — смещение, соответствующее i -й точке измерения; h_y — смещение боковой силы относительно поверхности катания; e — смещение точки приложения вертикальной силы P

Fig. 5. Calculation scheme for determining vertical and lateral forces of interaction with respect to three points of measurement (1, 2 and 3) of stresses in the neck of the rail: h_i — displacement corresponding to the i -th measuring point; h_y — displacement of the lateral force relative to the rolling surface; e — displacement of the point of application of the vertical force P

трицы напряжений, являющиеся соответствующими коэффициентами влияния в выражениях для напряжений при нагрузках на рельс

$$a_i = k_{ip} / F_i, b_i = k_{iy} (h_i - h_y) / W_i, c_i = k_{iM} / W_i, \quad (7)$$

где F_i — площадь соответствующего сечения шейки рельса; W_i — момент сопротивления в данном сечении; h_i — расстояние от поверхности катания на головке рельса до центра измерительного тензорезистора в i -м сечении шейки; h_y — расстояние от поверхности катания рельса до точки приложения боковой силы.

Совокупность измеряемых напряжений σ_i , описываемых уравнениями (6), представляет систему трех уравнений с тремя неизвестными силовыми параметрами. Определение боковой силы производится не по разности моментов $M_a - M_b$, вызывающих соответствующие напряжения, как это реализовано в методе Шлупфа (5), а в результате решения системы уравнений по данным замеров в местах наклейки датчиков и коэффициентов передачи датчиков. Повышение количества усилительных каналов увеличивает используемое оборудование и трудоемкость работ. Однако при математической обработке измерений уменьшается погрешность определения сил взаимодействия, так как жесткостные параметры рельса и значения коэффициентов передачи датчиков входят

в величины коэффициентов влияния (7), которые определяются при калибровке.

Элементы матрицы влияния a_i, b_i, c_i определяются в результате калибровочных нагружений рельса по формулам (7) с учетом соответствующих знаков в уравнениях (6) и значений коэффициентов передачи k_{ip}, k_{iy}, k_{iM} .

В результате тарировочных нагружений получают зависимости напряжений σ_i от действующих сил для вычисления коэффициентов влияния (7), которые являются неизвестными в системе (6), при известных калибровочных силах и обуславливаемых ими напряжениях. Эти коэффициенты определяются при трехкратном калибровочном приложении различных систем нагрузок и дают возможность реализации обратной операции — определение сил по известным напряжениям, когда в уравнениях (6) при известных коэффициентах (7) в качестве неизвестных выступают силы.

Рассмотрим методику калибровки.

1. При отсутствии боковой силы нагружаем рельс вертикальной силой P известной величины по центру головки ($Y = 0, e = 0$). В том случае $a_i = \sigma_i / P$.

2. Нагружаем рельс вертикальной силой P при заданном поперечном смещении точки ее приложения ($Y = 0, M = Pe$). По результатам измерения напряжений получаем для каждого из уравнений системы (6) величины $c_i = (\sigma_i - a_i P) / (-1)^i M$.

3. Для определения величин коэффициентов влияния боковых сил b_i при расчетной реализации рассматриваемой обработки данных методом конечных элементов можно использовать калибровку приложением заданной боковой силы Y при $P = 0$. В этом случае $b_i = \sigma_i / (-1)^i Y$.

Однако в эксперименте, а тем более в полевых условиях организовать подобное нагружение достаточно сложно. К тому же в реальности приложение боковых сил сопровождается вертикальным воздействием колесной нагрузки. Потому калибровку боковой силой производят с вертикальным пригрузом известной вертикальной центральной нагрузкой, и расчет ведется по формуле

$$b_i = (\sigma_i - a_i P) / (-1)^i Y.$$

Решение системы трех линейных уравнений для определения величины сил взаимодействия в зависимости от напряженного состояния рельса в рассматриваемом его сечении имеет вид:

$$\begin{aligned} P &= A_{p1} S1 + B_{p2} S2 + C_{p3} S3; \\ Y &= A_{y1} S1 + B_{y2} S2 + C_{y3} S3; \\ M &= A_{m1} S1 + B_{m2} S2 + C_{m3} S3, \end{aligned} \quad (8)$$

где $S1, 2, 3$ — показания соответствующего датчика под действующей в рассматриваемом сечении рельса системой нагрузок.

Коэффициенты матрицы (8) $A_{p1}, B_{p2}, C_{p3}, A_{y1}, B_{y2}, C_{y3}, A_{M1}, B_{M2}$ и C_{M3} определяются решением уравнений (6) либо по формулам Крамера, что для системы трех линейных уравнений не представляет трудностей, либо как элементы псевдообратной матрицы с использованием соответствующей системы программ [22].

Верификация рассматриваемого метода измерений сил взаимодействия. Для проверки рассматриваемого метода была разработана конечно-элементная модель, позволяющая теоретически получать напряжения в точках измерения для сопоставления с результатами эксперимента на стенде (рис. 6). Экспериментальная модель представляет отрезок рельса длиной 60 см, закрепленный с двух сторон в зоне опирания рельса на подкладки. На основе разработанной модели были выполнены варианты расчетов нагружения рельса различными сочетаниями вертикальной и боковой сил.

При верификации метода для определения влияния положения точки контакта на головке рельса осуществляли центральное нагружение вертикальной силой и ее смещение вправо и влево относительно продольной оси. В процессе нагружения проводилась фиксация напряжений в точках шейки рельса в соответствии с расчетной схемой. Расхождение результатов измеренных напряжений и их расчетных значений, полученных при конечноэлементном моделировании, лежит в пределах 8%.

На основе полученных данных были приняты величины напряжений для верификации рассматриваемого метода определения сил взаимодействия по измеренным напряжениям.

При решении уравнений (8) по методу Крамера главный определитель системы D вычисляется по формуле

$$D = a1(b3c2 - b2c3) + a2(b3c1 - b1c3) + a3(b2c1 - b1c2). \quad (9)$$

Раскрывая дополнительные определители системы, получаем выражения для расчета сил взаимодействия по данным показаний датчиков $S1, S2, S3$:

$$\begin{aligned} P &= S1(b3c2 - b2c3) / D + S2(b3c1 - b1c3) / D + S3(b2c1 - b1c2) / D; \\ Y &= S1(a2c3 - a3c2) / D + S2(a3c1 - a1c3) / D + S3(a1c2 - a2c1) / D; \\ M &= S1(a2b3 - a3b2) / D + S2(a3b1 - a1b3) / D + S3(a1b2 - a2b1) / D. \end{aligned} \quad (10)$$

Проведенная серия экспериментов показала, что различие опытных и расчетных данных не превосходит 4%. Полученные результаты позволяют сделать вывод о целесообразности ввода в пробную эксплуатацию предложенной трехточечной схемы измерения сил для сравнительной оценки, в том числе с методом ГОСТ Р 55050–2012 (метод Шлумпфа) и методом «РЖД-2016».

Рис. 6. Верификация модели нагружения рельса на стенде

Fig. 6. Verification of the rail loading model at the stand

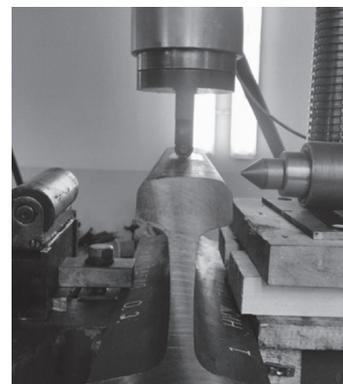


Таблица 1

Напряжения, принятые для расчетов по рассмотренной методике при различных сочетаниях нагрузок

Table 1

Stresses accepted for calculations on the considered method at various combinations of loadings

Номер датчика	Значения напряжений при нагружении рельса, МПа				
	Вертикальной силой (150 кН) по центру	Боковой силой (-100 кН)	Вертикальной силой (150 кН) со сдвигом (+20 мм)	Вертикальной силой по центру (150 кН) и боковой	Вертикальной силой (150 кН) со сдвигом (+20 мм) и боковой
1	-49,5	-24,5	28	-73	3,5
2	-49,5	24,5	-125	-22,5	-98,5
3	-34,2	-125	41,5	-159	-83,3

Таблица 2

Коэффициенты влияния при силах по данным калибровок

Table 2

Coefficients of influence at forces on the basis of calibration data

Номер датчика	Коэффициенты влияния исходной системы a, b, c		
	Вертикальная сила (150 кН) по центру	Боковая сила (-100 кН)	Вертикальная сила (150 кН) со сдвигом (+20 мм)
1	-0,33	-0,245	0,0258
2	-0,33	0,245	-0,02517
3	-0,228	-1,25	0,0252

Выводы. 1. Метод измерения боковой силы с электрической обработкой сигнала (метод Шлумпфа) при недостаточной точности наклейки датчиков обладает значительной зависимостью показаний измерений от точки приложения вертикальной силы относительно оси рельса, уступая по точности цифровой обработке экспериментальных данных. Однако, поскольку при установлении условий обращения подвижного состава рассматриваются максимальные значения сил взаимодействия, реализуемые в основном при набе-

гании колеса на рельс, когда смещение вертикальной нагрузки определяется параметрами головки рельса и изменяется незначительно, получаемые результаты можно применять при проведении сертификационных испытаний.

2. Метод цифровой обработки данных при определении сил взаимодействия по напряжениям в трех точках шейки рельса требует для своей реализации три тензометрических моста вместо двух, однако точность его результатов существенно выше, так как зависит только от погрешностей предварительной калибровки сечений.

3. Полученные результаты показывают целесообразность использования предлагаемого трехточечного метода при определении взаимодействия подвижного состава и пути для установления условий обращения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вериги М. Ф., Коган А. Я. Взаимодействие пути и подвижного состава. М.: Транспорт, 1986. 559 с.
2. Esvelid C. Modern Railway Track. 2-nd edition. MRT Proctions, 2001. 740 p.
3. Взаимодействие пути и подвижного состава / под ред. М. А. Фришмана. М.: Трансжелдориздат, 1956. 280 с.
4. Prigge W. Die Beanspruchung einer einfachgewellten Eisenbahnradzscheibe. Ermittlung der Spannungen mit dem Dehnungsmessstreifenverfahren. Glasers Annalen. 1959. Vol. 83, no. 3. S. 69–73.
5. Prigge W. Die Beanspruchung einer einfachgewellten Eisenbahnradzscheibe. Ermittlung der Spannungen durch spannungsoptische Verfahren. Glasers Annalen. 1959. Vol. 83, no. 4. S. 132–136.
6. Olson P., Johnsson S. Seitenkrafte zwischen Rad und Schiene, eine experimentele Untersuchung. Glasers Annalen. 1959. Heft 5. S. 153–161.
7. Ромен Ю. С. Динамика железнодорожного экипажа в рельсовой колее. Методы расчета и испытаний. М.: ВМГ-Принт, 2014. 210 с.
8. Ромен Ю. С., Тихов М. С. Объем информации для установления допустимых скоростей движения по результатам комплексных испытаний // Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты: сб. науч. тр. СПб: ПГУПС, 2007. С. 87–94.
9. Королев К. П. Вписывание паровозов в кривые участки пути // Труды ЦНИИ МПС. М.: Трансжелдориздат, 1950. Вып. 37. 224 с.
10. Тихов М. С. Определение условий обращения подвижного состава с использованием корреляции в показателях взаимодействия экипажа и пути: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.06. М., 2007. 24 с.

Determining the force of interaction in a wheel – rail system based on measuring stresses in rails neck

Yu. S. ROMEN, O. A. SUSLOV, A. A. BALYAEVA

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

Abstract. When implementing new or modernized rolling stock, one of the main problems is the provision of both traffic safety, and the strength of the carriage and the ways that are determined by forces in the wheel – rail system. It is almost impossible to directly measure the forces of interaction between the crew and the track. Their determination can be carried out by measuring the stresses in rails, the interdependencies of which with forces are of a probabilistic nature. Correlation of the strength and stresses for

11. Тимошенко С. П. Метод исследований статических и динамических напряжений в рельсе // Статические и динамические проблемы теории упругости. Киев: Наукова думка, 1975. 563 с.

12. Шафрановский А. К. Непрерывная регистрация вертикальных и боковых сил взаимодействия колеса и рельса // Труды ЦНИИ МПС. М.: Транспорт, 1965. Вып. 308. 96 с.

13. Шафрановский А. К. Измерение и непрерывная регистрация сил взаимодействия колесных пар локомотивов с рельсами // Труды ВНИИЖТ. М.: Транспорт, 1969. Вып. 389. 120 с.

14. Бржезовский А. М. Методы экспериментальной оценки боковых сил (обзор) // Вестник ВНИИЖТ. 2017. Т. 76. № 1. С. 10–18. DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2017-76-1-10-18>.

15. Ершков О. П. Установление коэффициентов, учитывающих боковой изгиб и кручение рельсов // Труды ЦНИИ МПС. М.: Трансжелдориздат, 1955. Вып. 97. С. 289–325.

16. Ершков О. П. Исследование жесткости железнодорожного пути и ее влияние на работу рельсов в кривых участках // Труды ЦНИИ МПС. М.: Трансжелдориздат, 1963. Вып. 264. С. 39–98.

17. Schlumpf G. Messungen mit Dehnungsmessstreifen bei den SBB // Technische Rundschau. Bern, 1955. No. 26. S. 35–41.

18. Weber H. H. Zur direkten Messung der Krafte zwischen Rad und Schiene // Elektrischen Bahnen. Bern, 1961. No. 5. S. 93–110.

19. Влияние вертикальной нагрузки при измерении горизонтальных сил в пути / Э. И. Даниленко [и др.] // Вестник ВНИИЖТ. 1979. № 1. С. 41–44.

20. Тимошенко С. П. Соппротивление материалов. М.: Наука, 1965. Т. 1. 363 с.

21. Гапанович В. А. Вопросы взаимодействия подвижного состава и инфраструктуры при тяжеловесном движении // Железнодорожный транспорт. 2016. № 10. С. 10–15.

22. Горбаченко В. И. Вычислительная линейная алгебра с примерами на MATLAB. СПб.: БХВ-Петербург, 2011. 320 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

РОМЕН Юрий Семенович,

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

СУСЛОВ Олег Александрович,

канд. техн. наук, директор научного центра «Путевая инфраструктура и вопросы взаимодействия колесо – рельс» (НЦ «ЦПРК»), АО «ВНИИЖТ»

БАЛЯЕВА Алена Александровна,

инженер 1 категории, научный центр «Путевая инфраструктура и вопросы взаимодействия колесо – рельс» (НЦ «ЦПРК»), АО «ВНИИЖТ»

Статья поступила в редакцию 12.07.2017 г., актуализирована 27.09.2017 г., принята к публикации 10.10.2017 г.

being equal. In this case, when the scale factors are equal to the difference of the moments, the lateral force is determined. The calculations were made by subtracting electrical signals (four strain gauges were included in the shoulders of the Wheatstone bridge), and a separate bridge was used to determine the vertical load. Errors in determining the lateral force are due to inaccurate location of the sensor sticking, the difference in the dimensions of the rail neck and the displacement of the point of application of the vertical load on the rail head.

However, since the maximum forces are realized when the wheel climbs on the rail, this displacement varies insignificantly. Therefore, the results obtained can be used in conducting certification tests.

The method of digital processing of data on stresses at three points of the rail neck requires for its implementation more strain gauges, but the accuracy of its results is much higher, since it depends only on the errors of preliminary calibration of the cross sections. The error in calculating the forces does not exceed 4%, which shows the expediency of using the three-point method in determining the interaction forces to establish the conditions of circulation.

Keywords: interaction of rolling stock and track; methods of measuring interaction forces; lateral forces; frame forces; stresses

DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2017-76-6-354-361>

REFERENCES

- Verigo M. F., Kogan A. Ya. *Vzaimodeystvie puti i podvizhnogo sostava* [Interaction of the track and rolling stock]. Moscow, Transport Publ., 1986, 559 p.
- Esvelde C. *Modern Railway Track*. 2-nd edition. MRT Proceedings, 2001, 740 p.
- Frishman M. A. *Vzaimodeystvie puti i podvizhnogo sostava* [Interaction of the track and rolling stock]. Moscow, Transzheldorizdat, 1956, 280 p.
- Prigge W. *Die Beanspruchung einer einfachgewellten Eisenbahnradzscheibe. Ermittlung der Spannungen mit dem Dehnungsmessstreifenverfahren*. Glasers Annalen, 1959, Vol. 83, no. 3, pp. 69–73.
- Prigge W. *Die Beanspruchung einer einfachgewellten Eisenbahnradzscheibe. Ermittlung der Spannungen durch spannungsoptische Verfahren*. Glasers Annalen, 1959, Vol. 83, no. 4, pp. 132–136.
- Olson P., Johnsson S. *Seitenkräfte zwischen Rad und Schiene, eine experimentelle Untersuchung*. Glasers Annalen, 1959, Heft 5, pp. 153–161.
- Romen Yu. S. *Dinamika zheleznodorozhnogo ekipazha v rel'sovoy kolee. Metody rascheta i ispytaniy* [Dynamics of the railway carriage in the rail track. Methods of calculation and testing]. Moscow, VMG-Print Publ., 2014, 210 p.
- Romen Yu. S., Tikhov M. S. *Ob "em informatsii dlya ustanovleniya dopustimyykh skorostey dvizheniya po rezul'tatam kompleksnykh ispytaniy* [The volume of information for establishing the permissible speeds of movement based on the results of complex tests]. *Podvizhnoy sostav XXI veka: idei, trebovaniya, proekty. Sb. nauch. tr.* [Rolling stock of the XXI century: ideas, requirements, projects. Coll. of scientific papers]. St. Petersburg, PGUPS Publ., 2007, pp. 87–94.
- Korolev K. P. *Vpisyvanie parovozov v krivye uchastki puti* [Entering steam locomotives into curved path sections]. Trudy TsNII MPS [Proc. of the Central Research Institute of the Ministry of Railways]. Moscow, Transzheldorizdat Publ., 1950, no. 37, 224 p.
- Tikhov M. S. *Opreделение usloviy obrashcheniya podvizhnogo sostava s ispol'zovaniem korrelyatsii v pokazatelyakh vzaimodeystviya ekipazha i puti*. Kand. tekhn. nauk avtoref. [Determination of the conditions of circulation of rolling stock using correlation in the parameters of the interaction between the crew and the track. Cand. tech. sci. synopsis]. Moscow, 2007, 24 p.
- Timoshenko S. P. *Metod issledovaniy staticheskikh i dinamicheskikh napryazheniy v rel'se* [Method for studying static and dynamic stresses in the rail]. *Staticheskie i dinamicheskie problemy teorii uprugosti* [Static and dynamic problems of the theory of elasticity]. Kiev, Naukova dumka Publ., 1975, 563 p.
- Shafranovskiy A. K. *Nepreryvnaya registratsiya vertikal'nykh i bokovykh sil vzaimodeystviya koleasa i rel'sa* [Continuous recording of vertical and lateral forces of wheel and rail interaction]. Trudy TsNII MPS [Proc. of the Central Research Institute of the Ministry of Railways]. Moscow, Transzheldorizdat Publ., 1965, no. 308, 96 p.
- Shafranovskiy A. K. *Izmerenie i nepreryvnaya registratsiya sil vzaimodeystviya kolesnykh par lokomotivov s rel'sami* [Measurement and continuous registration of forces of interaction of wheelsets of locomotives with rails]. Trudy VNIIZhT [Proc. of the JSC "VNIIZhT"]. Moscow, Transport Publ., 1969, no. 389, 120 p.
- Brzhezovskiy A. M. *Metody eksperimental'noy otsenki bokovykh sil (obzor)* [Methods of experimental evaluation of lateral forces (review)]. Vestnik VNIIZhT [Vestnik of the Railway Research Institute], 2017, Vol. 76, no. 1, pp. 10–18. DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2017-76-1-10-18>.
- Ershkov O. P. *Ustanovlenie koeffitsientov, uchityvayushchikh bokovoy izgib i kruchenie rel'sov* [Establishing the coefficients, taking into account the lateral bending and torsion of the rail]. Trudy TsNII MPS [Proc. of the Central Research Institute of the Ministry of Railways]. Moscow, Transzheldorizdat Publ., 1955, no. 97, pp. 289–325.
- Ershkov O. P. *Issledovanie zhestkosti zheleznodorozhnogo puti i ee vliyaniye na rabotu rel'sov v krivykh uchastkakh* [Study on the rigidity of the railway track and its influence on the operation of rails in curved sections]. Trudy TsNII MPS [Proc. of the Central Research Institute of the Ministry of Railways]. Moscow, Transzheldorizdat Publ., 1963, no. 264, pp. 39–98.
- Schlumpf G. *Messungen mit Dehnungsmessstreifen bei den SBB*. Technische Rundschau. Bern, 1955, no. 26, pp. 35–41.
- Weber H. H. *Zur direkten Messung der Kräfte zwischen Rad und Schiene*. Elektrischen Bahnen. Bern, 1961, no. 5, pp. 93–110.
- Danilenko E. I., Frolov L. N., Romanov V. M., Grayev A. B., Moras E. *Vliyaniye vertikal'noi nagruzki pri izmerenii gorizonta'lnykh sil v puti* [Influence of vertical load when measuring horizontal forces in the track]. Vestnik VNIIZhT [Vestnik of the Railway Research Institute], 1979, no. 1, pp. 41–44.
- Timoshenko S. P. *Soprotivleniye materialov* [Materials resistance]. Moscow, Nauka Publ., 1965, Vol. 1, 363 p.
- Gapanovich V. A. *Voprosy vzaimodeystviya podvizhnogo sostava i infrastruktury pri tyazhelovesnom dvizhenii* [Questions of the interaction of rolling stock and infrastructure under heavy traffic]. *Zheleznodorozhnyy transport*, 2016, no. 10, pp. 10–15.
- Gorbachenko V. I. *Vychislitel'naya lineinaya algebra s primerami na MATLAB* [Computational linear algebra with examples on MATLAB]. St. Petersburg, BKhV-Peterburg Publ., 2011, 320 p.

ABOUT THE AUTHORS

Yuriy S. ROMEN,

Dr. Sci. (Eng.), Professor, Chief Researcher, JSC "VNIIZhT"

Oleg A. SUSLOV,

Cand. Sci. (Eng.), Director of Research Center "Railway track infrastructure and issues on wheel — rail interaction" (NTs "TsPRK"), JSC "VNIIZhT"

Alena A. BALYAEVA,

1st category Engineer, Research Center "Railway track infrastructure and issues on wheel — rail interaction" (NTs "TsPRK"), JSC "VNIIZhT"

Received 12.07.2017

Revised 27.09.2017

Accepted 10.10.2017

■ E-mail: uromen@mail.ru (Yu. S. Romen)

Основные положения проектирования земляного полотна высокоскоростных железнодорожных линий

П. И. ДЫДЫШКО, С. В. ОЛЬХИНА

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

Аннотация. В статье отражена актуальность организации высокоскоростного движения поездов на железных дорогах России, изложен порядок получения исходных данных для проектирования и приведены технические решения земляного полотна дифференцированно в зависимости от состава, свойств и состояния грунтов, а также видов земляного полотна (насыпи, выемки, нулевые места) и различных климатических условий.

Ключевые слова: земляное полотно; железнодорожный путь; высокоскоростные железнодорожные линии; конструкции насыпей и выемок

Введение. К числу прогрессивных технических направлений современности в области транспортного строительства относятся высокоскоростные и скоростные железные дороги. Высокоскоростные дороги проектируют для скорости движения поездов от 200 до 400 км/ч, скоростные — до 200 км/ч.

Организация высокоскоростного движения пассажирских поездов на железных дорогах России является актуальной задачей ввиду необходимости повышения мобильности населения, обусловленной социальными и географическими факторами. К этим факторам относятся обширная территория страны, большая протяженность дорог, удаленность мест проживания работников от мест работы, создание и сокращение рабочих мест, вахтовые методы обслуживания предприятий, вопросы туризма, отдыха и другие.

Вид и конструкцию земляного полотна — основания высокоскоростных железнодорожных линий, назначают при технико-экономическом обосновании их трассы на основе анализа состояния объектов в аналогичных условиях, изучения геоморфологических и климатических условий, ландшафтной характеристики местности, природных процессов и явлений и других параметров. Эти показатели уточняют в процессе проектирования после проведения инженерных изысканий.

Исходные данные для проектирования. При проведении инженерно-геологических изысканий в сложных и средней сложности условиях глубину вы-

работок (скважин) назначают не менее чем на 4 м ниже расчетной, прогнозируемой глубины промерзания земляного полотна. В пределах насыпей основание проходят выработками на глубину не менее 6 м. Скважины в каждом поперечном сечении назначают по оси путей и в средней части откосов. Кроме этого, на каждом виде земляного полотна (насыпь, выемка, нулевое место), но не реже чем через 1 км, устраивают скважины глубиной 10–15 м.

Для получения исходных данных выполняют георадиолокационное зондирование (георадар «ЛОЗА») [1], электроконтактное динамическое зондирование (ЭДЗ) [2] и геологические работы.

При проектировании высокоскоростных железнодорожных линий в расчетах несущей способности грунтов и устойчивости земляного полотна принимают нагрузку от подвижного состава, равную 294 кН (30 тс) на ось четырехосного грузового вагона, соответствующую рабочим поездкам, используемым при эксплуатации этих линий.

Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения устанавливают в соответствии с СП 38.13330.2012 [3].

Наивысший расчетный уровень воды следует определять по СП 33-101-2003 [4] исходя из вероятности превышения 1:300 (0,33%).

Бровка земляного полотна и дамб на подходах к водопропускным сооружениям, через водотоки в пределах их разлива, а также верх укрепления подтопленных откосов должны возвышаться над наивысшим расчетным уровнем воды с учетом подпора, наката волны на откос, ветрового нагона и ледовых явлений не менее чем на 0,8 м.

Типы укрепления откосов, подвергающихся воздействию волн и водного потока, назначают исходя из вероятности превышения расходов паводка и соответствующих им расчетных уровней воды на пике паводков равной 1:100, что соответствует I классу гидротехнических сооружений.

Высоту ветрового нагона и величину ветровых волн определяют в соответствии с требованиями

■ E-mail: Olhina.Svetlana@vniizht.ru (С. В. Ольхина)

СП 38.13330.2012 для указанной выше обеспеченности расчетных уровней воды.

При определении нагрузок и воздействий на гидротехнические сооружения обеспеченности расчетных уровней должны быть для сооружений I класса не более 1 %.

Величину нагона необходимо определять для шторма не более 1 % обеспеченности, возникающего при прохождении наибольшего годового пика паводка. Высоту наката и тип укрепления следует устанавливать для волны 1 % обеспеченности в этом шторме.

Технические решения земляного полотна высокоскоростных линий. Ширину земляного полотна поверху (основной площадки) назначают равной $b = 15,5$ м, ширину междупутья – $b_m = 5,5$ м. Поверхности основной площадки необходимо придавать двусторонний уклон 0,04 от середины междупутья в сторону бровок земляного полотна.

Насыпи высотой до 9 м включительно и выемки глубиной до 9 м и менее следует проектировать по групповым решениям.

Взамен насыпей высотой более 9 м и насыпей в пределах болот глубиной более 7 м следует предусматривать эстакады, а взамен выемок глубиной более 9 м – тоннели.

Насыпи на болотах глубиной до 7 м, а также на сыром и мокром основании проектируют из дренирующих грунтов с заменой грунтов в основании на эти грунты.

К дренирующим по условиям работы земляного полотна относят несвязные грунты, имеющие при максимальной плотности по стандартному уплотнению коэффициент фильтрации не менее 3,0 м/сут и содержание в гранулометрическом составе не более 10 % частиц размером менее 0,1 мм. Повышенные значения коэффициента фильтрации обусловлены увеличением ширины земляного полотна.

Применение мелких и пылеватых песков для сооружения насыпей предусматривать не следует.

Крутизну откосов насыпей и выемок принимают от 1:1,5 до 1:2 в зависимости от вида и состояния грунтов. В скальных слабовыветривающихся грунтах крутизна откосов должна составлять 1:0,5.

В верхней части земляного полотна из всех видов глинистых грунтов, а также на нулевых местах и в выемках, сложенных мелкими и пылеватыми песками, легковыветривающимися и выветривающимися скальными грунтами, предусматривают устройство защитного слоя. Этот слой устраивают на 0,5 м ниже максимальной прогнозируемой глубины промерзания-оттаивания, его толщина должна быть не менее 2,5 м.

В защитном слое следует применять дренирующие грунты.

При использовании песков в верхней части защитного слоя (на основной площадке) и на его откосах,

за исключением их нижней части высотой 0,8 м, назначают укрепление этих песков. Крутизну откосов принимают равной 1:2.

Глинистые грунты под защитным слоем в выемках, на нулевых местах и насыпях также подлежат укреплению.

Укрепляемые слои должны содержать смесь из 70 % песка среднего и 30 % суглинка, характеризуемого влажностью на границе текучести $w_L = 0,28$. Эту смесь в слое толщиной 0,4 м укрепляют жидкими и порошковыми добавками полифиллизаторов соответственно в количестве 1,4 л/м³ и 60 кг/м³ [5].

Поверхности укрепленного грунта под каждым путем необходимо придавать уклон 0,04 в полевую сторону.

На основной площадке следует укладывать покрытие из нетканого материала массой не менее 500 г/м² поверх геосетки из базальтволокна массой не менее 1000 г/м², имеющей прочность на разрыв 15 000 кгс/м.

В защитном слое и насыпи следует укладывать на всю ширину геосетку из базальтволокна указанной массы через 1 м их высоты (рис. 1).

В откосных частях насыпи из глинистых грунтов назначают укладку слоя из дренирующих грунтов (рис. 2). Толщина слоя этих грунтов должна составлять $d_o = 0,6Z_{пр-от}^{рл}$, где $Z_{пр-от}^{рл}$ – глубина промерзания-оттаивания земляного полотна, сложенного дренирующими грунтами (по оси пути), определяемая расчетом.

Выемки глубиной более 4 м в глинистых грунтах, лессах, крупнообломочных грунтах с глинистым заполнителем, мелких и пылеватых песках проектируют с заклеветными полками шириной 5 м (рис. 3).

В откосных частях выемок, сложенных глинистыми грунтами и песками, предусматривают устройство слоя из дренирующих грунтов толщиной $d_o = 0,6Z_{пр-от}^{рл}$.

Нулевые места и выемки глубиной до 4 м в глинистых грунтах рекомендуется разрабатывать под насыпь (рис. 4).

Толщина слоя балласта из щебня по ГОСТ 7392–2014 [6] под подошвой шпал должна быть не менее 0,5 м. В уровне подошвы шпал следует размещать нарезанные термическим способом полоски нетканого материала размером 5×5 см, уложенные в три слоя на ширину 3,4 м.

Модуль деформации подшпального основания в пределах верхнего слоя толщиной 3 м должен составлять не менее 90 МПа. Нормируемое значение этого модуля обеспечивается за счет уплотнения, укрепления и армирования грунта. Упругая осадка подшпального основания не должна превышать 1 мм.

В основании насыпей необходимо удалять почвенно-растительный слой. Коэффициент уплотнения грунтов основания следует назначать не ниже 0,98. Уплотнение выполняют путем трамбования, в том числе падающими грузами с большой высоты или

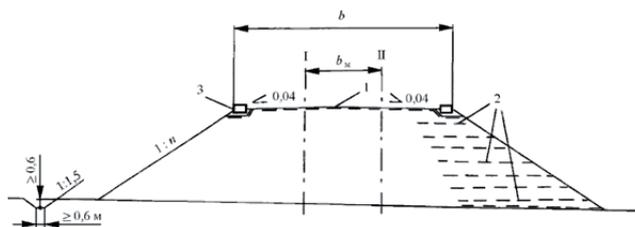


Рис. 1. Поперечный профиль насыпи из дренирующих грунтов на прочном основании: 1 — нетканый материал и геосетка из базальтоволокна на основной площадке; 2 — геосетка из базальтоволокна в насыпи; 3 — лоток для кабелей; b — ширина земляного полотна (основная площадка); b_m — ширина междупутья

Fig. 1. Cross-section profile of the embankment from draining soils on a solid foundation: 1 — non-woven material and a geogrid of basalt fiber on the main site; 2 — geogrid from basalt fiber in the embankment; 3 — cable tray; b — width of the roadbed on top (main platform); b_m — the width of the intertrack space

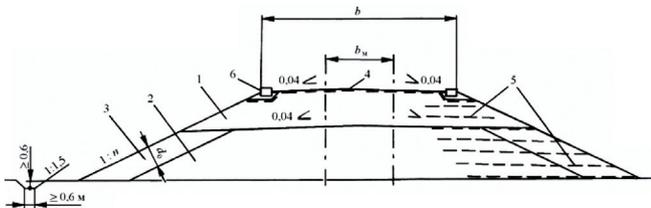


Рис. 2. Поперечный профиль насыпи из глинистых грунтов на прочном основании: 1 — защитный слой; 2 — глинистые грунты; 3 — дренирующие грунты в откосной части; 4 — нетканый материал и геосетка из базальтоволокна на основной площадке; 5 — геосетка из базальтоволокна в насыпи; 6 — лоток для кабелей

Fig. 2. Cross-section profile of the embankment from clay soils on a solid base: 1 — protective layer; 2 — clay soils; 3 — draining soil in the slope; 4 — non-woven material and geogrid from basalt fiber on the main site; 5 — geogrid from basalt fiber in the embankment; 6 — cable tray

другими способами. Понижения после трамбования заполняют местным грунтом с уплотнением. В глинистые грунты втрамбовывают щебень.

По краям основной площадки на покрытие из нетканого материала и геосетки располагают лотки для кабелей. Дно лотков должно быть ниже уровня бровки земляного полотна на 0,3 м. Лотки укладывают на слой щебня толщиной не менее 0,2 м. Плечо балластной призмы должно возвышаться над уровнем обочины не более чем на 0,5 м. С указанной целью на обочине необходимо размещать слой щебня толщиной не менее 0,3 м.

Выемки в крупнообломочных грунтах, в том числе с песчаным заполнителем, и в песках дренирующих (кроме мелких и пылеватых) сооружают с кюветами без полок за ними.

Устройство в пределах выемок кавальеров и банкетов не допускается. Грунт, вынутый из нагорной канавы, можно планировать между ней и бровкой выемки не доходя до бровки не менее 3 м, с уклоном 0,04 в сторону этой канавы.

В статье использованы авторские (оригинальные) рисунки.

Выемки в легковыветривающихся и выветривающихся скальных грунтах следует проектировать с кювет-траншеями глубиной не менее 0,8 м (ниже уровня подошвы откоса защитного слоя) и шириной 6 м с обеих сторон (рис. 5).

На поверхности откосов необходимо укладывать геоматы, в том числе совместно с растительным слоем.

В полосе отвода высокоскоростных железнодорожных линий помимо земляного полотна и водоотводных устройств должно быть предусмотрено размещение укрепительных, поддерживающих, противоналедных, снегозащитных и пескозащитных сооружений.

В расчетной схеме проверки устойчивости откосов насыпей и выемок принимают ломаное очертание поверхности скольжения в поперечном сечении.

Коэффициент устойчивости массива, разбиваемого на блоки, определяют по формуле

$$K = \sum_{i=1}^{i=n} \left[\left(\operatorname{tg} \varphi_i N_i + c_i l_i + T_{i-\text{уд}} - U_i \right) \cos \varphi_i / \cos (\alpha_i - \varphi_i) \right] : \sum_{i=1}^{i=n} T_{i-\text{сд}} \cos \varphi_i / \cos (\alpha_i - \varphi_i), \quad (1)$$

где φ_i — угол внутреннего трения грунта; N_i — нормальная к линии возможного смещения составляющая силы тяжести расчетного блока; c_i — удельное сцепление; l_i — длина расчетного блока; $T_{i-\text{уд}}$, $T_{i-\text{сд}}$ — тангенциальные соответственно удерживающие и сдвигающие составляющие силы расчетного блока; U_i — поровое давление для блоков, сложенных песками, принимаемое равным 0,4 т/м² в районах избыточного увлажнения и 0,2 т/м² в районах с засушливым климатом; $\alpha_i = \beta_i - \eta_0$; β_i — угол наклона линии возможного смещения расчетного блока; $\eta_0 = \beta_{\text{ср}} - \varphi_{\text{ср}}$ — угол наклона сил взаимодействия между блоками для среднего или двух средних блоков.

Расчетные значения удельного сцепления и угла внутреннего трения грунтов устанавливают с учетом их снижения от вибродинамического воздействия поездов и при оттаивании.

Коэффициент устойчивости откосов должен быть не менее 1,4 при расчетном значении естественной влажности грунта не менее 0,8 w_L , где w_L — влажность на границе текучести.

Расчет устойчивости откосов насыпей с геосетками из базальтоволокна следует выполнять по индивидуальным методикам.

Тип болота и характеристики слабого основания устанавливают по данным инженерно-геологических изысканий.

Возвышение бровки насыпи над поверхностью болота или слабого основания должно быть не менее 2,5 м.

Крутизну откосов насыпи необходимо назначать равной 1:2.

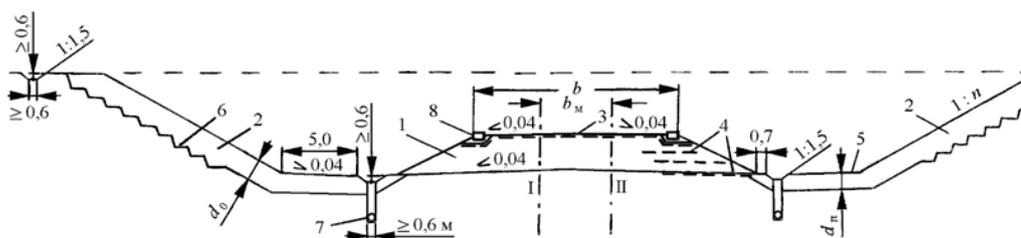


Рис. 3. Поперечный профиль выемки глубиной более 4 м в глинистых грунтах на прочном основании: 1 — защитный слой; 2 — дренирующие грунты; 3 — нетканый материал и геосетка из базальтволокна на основной площадке; 4 — геосетка из базальтволокна в защитном слое; 5 — закуветная полка; 6 — уступы в глинистом грунте откоса; 7 — подкуветный дренаж; 8 — лоток для кабелей
 Fig. 3. Cross-section profile of the cutting more than 4 m deep in clay soils on a solid base: 1 — protective layer; 2 — draining soils; 3 — non-woven material and geogrid from basalt fiber on the main site; 4 — geogrid from basalt fiber in the protective layer; 5 — over-ditch slope; 6 — ledges in the clayey soil of the slope; 7 — sub-ditch drainage; 8 — cable tray

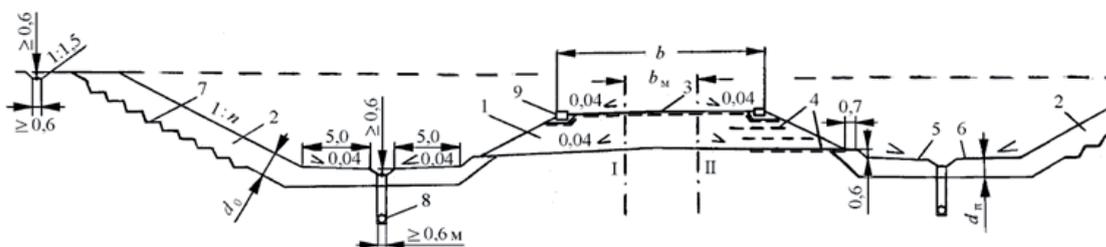


Рис. 4. Поперечный профиль выемки глубиной до 4 м в глинистых грунтах при ее разработке под насыпь: 1 — защитный слой; 2 — дренирующие грунты; 3 — нетканый материал и геосетка из базальтволокна на основной площадке; 4 — геосетка из базальтволокна в защитном слое; 5 — предкуветная полка; 6 — закуветная полка; 7 — уступы в глинистом грунте откоса; 8 — подкуветный дренаж; 9 — лоток для кабелей
 Fig. 4. Cross-section profile of the cutting up to 4 m deep in clay soils when it is being developed for the embankment: 1 — protective layer; 2 — draining soils; 3 — non-woven material and geogrid from basalt fiber on the main site; 4 — geogrid from basalt fiber in the protective layer; 5 — pre-ditch slope; 6 — over-ditch slope; 7 — ledges in the clayey soil of the slope; 8 — sub-drainage; 9 — cable tray

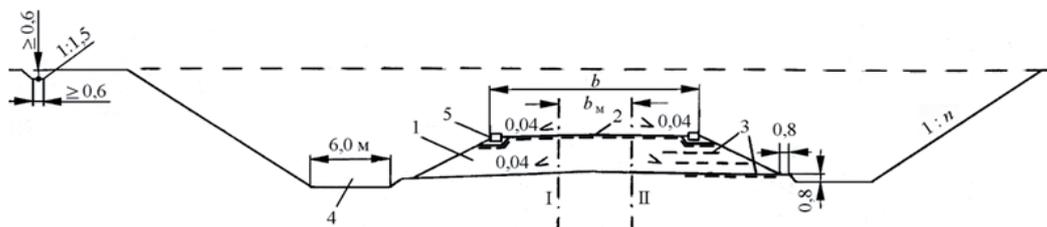


Рис. 5. Поперечный профиль выемки в легковетвирающихся и выветривающихся скальных грунтах: 1 — защитный слой; 2 — нетканый материал и геосетка из базальтволокна на основной площадке; 3 — геосетка из базальтволокна в защитном слое; 4 — кювет-траншея; 5 — лоток для кабелей
 Fig. 5. Cross-section profile of cutting in easily eroding and weathered rocky grounds: 1 — protective layer; 2 — non-woven material and geogrid from basalt fiber on the main site; 3 — geogrid from basalt fiber in the protective layer; 4 — ditch trench; 5 — cable tray

Поперечный профиль насыпей на болотах I–III типов и слабом основании представлен на рис. 6. С обеих сторон насыпи следует устраивать бермы шириной 4 м и высотой 1 м.

При использовании в насыпях песков должно предусматриваться их укрепление на основной площадке и откосах на высоту 2,5 м. В насыпи и бермах на всю ширину через 1 м по высоте до уровня воды следует укладывать геосетку из базальтволокна.

Крутизну откосов траншеи выгорфовывания устанавливают равной 1:0,5. Расстояние от этой траншеи до водоотводных канав должно быть равно 4,0 м.

Грунты, которые теряют несущую способность при увлажнении (монтмориллонитовые, оталькованные, мел и другие особых разновидностей), а также просадочные III типа и выше вечномёрзлые грунты основания в выемках, на нулевых местах и невысоких до 4 м насыпях, заменяют на дренирующие. Замену грунтов в пределах подшпального основания предусматривают в слое, толщину которого принимают равной $\Pi = Z_{\text{пр-от}}^{\text{pd}} + 0,5$ м. В пределах закуветных полков и откосов толщину слоя замены грунтов назначают соответственно $d_n = 0,5Z_{\text{пр-от}}^{\text{pd}}$ и $d_o = 0,6Z_{\text{пр-от}}^{\text{pd}}$. Крутизну откосов устанавливают на основе расчета устойчи-

грунтах (рис. 9). Мелкие (до 4 м) выемки и нулевые места необходимо раскрывать в насыпь по схеме, показанной на рис. 10. Предкуветные и закуветные полки в грунтах повышенной влажности должны иметь ширину $q = 5$ м и в переувлажненных — $q = 6$ м.

В пределах откосов и полков необходимо производить замену глинистого грунта повышенной влажности на дренирующий на величину соответственно $d_o = 0,7Z_{\text{пр-от}}^{\text{пл}}$ и $d_n = 0,6Z_{\text{пр-от}}^{\text{пл}}$.

Дренирующий грунт в защитном слое, на полках и в откосах следует укладывать на геомембрану, предотвращающую инфильтрацию атмосферных осадков в глинистый грунт, и многослойное покрытие (слой щебня толщиной 0,25 м между двумя слоями нетканого материала и геосетки), обеспечивающее несущую способность переувлажненного грунта за счет его дренирования. Многослойное покрытие располагают на слое дренирующего грунта толщиной 0,25 м. В пределах ширины защитного слоя пониже слой дренирующего грунта размещают на укрепленном цементацией слое грунта толщиной 0,3 м (см. рис. 9 и 10).

Уровень грунтовых вод в глинистых грунтах с повышенной влажностью понижают не менее чем на 1,5 м от границы промерзания, а в переувлажненных — не менее чем на 2 м.

Крутизну откосов выемок в глинистых грунтах повышенной влажности назначают не менее 1:2, а в переувлажненных — определяют при индивидуальном проектировании с проверкой расчетом устойчивости по формуле (1).

Для обеспечения стабильности откосов в проекте могут быть предусмотрены следующие меры:

- уменьшение крутизны откосов, в том числе с устройством разделительных полок (берм);
- удерживающие конструкции из гофрированных элементов [7], устраиваемые в нижней части откосов;

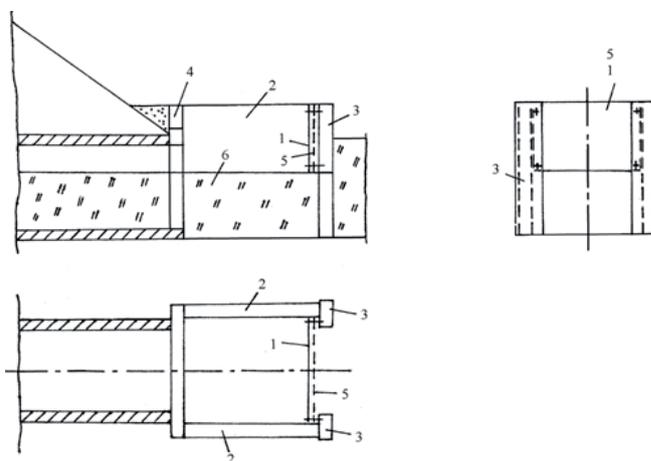


Рис. 8. Входной оголовок водопропускной трубы с противоналедным щитом: 1 — противоналедный щит; 2 — открывок; 3 — брус для крепления щита; 4 — надпортальная стенка; 5 — геомембрана; 6 — наледь
 Fig. 8. The entrance head of the culvert with the anti-ice shield: 1 — anti-ice shield; 2 — openers; 3 — board for fastening the shield; 4 — overport wall; 5 — geomembrane; 6 — layer of ice

– укрепляющие грунтовые композиции из минерального (карбонатно-магнезиального и высококремнеземистого) сырья, наносимые на поверхность глинистого грунта слоем толщиной до 4 см, под слоем дренирующего грунта.

Земляное полотно на участках с проявлением карста необходимо проектировать преимущественно насыпями.

Расстояние от подошвы откоса насыпи или бровки выемки до прогнозируемой воронки максимального диаметра или полей и цепочек карстовых воронок принимают не менее 80 м. При наличии лишь карстовых воронок это расстояние назначают не менее 40 м.

При необходимости проектирования выемок откосы, полки и основная площадка должны быть покрыты гидроизоляционным материалом — геомем-

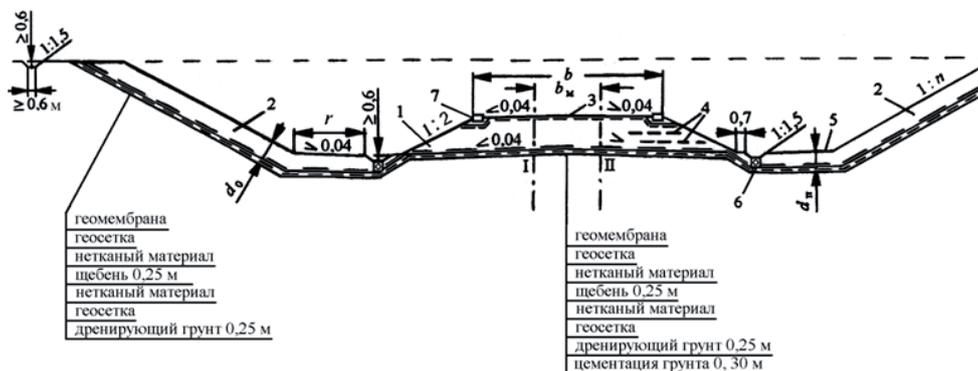


Рис. 9. Поперечный профиль выемки глубиной более 4 м в глинистых грунтах повышенной влажности: 1 — защитный слой; 2 — дренирующие грунты; 3 — нетканый материал и геосетка из базальтоволокна на основной площадке; 4 — геосетка из базальтоволокна в защитном слое; 5 — закуветная полка; 6 — подкуветный дренаж; 7 — лоток для кабелей
 Fig. 9. Cross-section profile of the cutting more than 4 m deep in clay soils of high humidity: 1 — protective layer; 2 — draining soils; 3 — non-woven material and geogrid from basalt fiber on the main site; 4 — geogrid from basalt fiber in the protective layer; 5 — over-ditch slope; 6 — sub-ditch drainage; 7 — cable tray

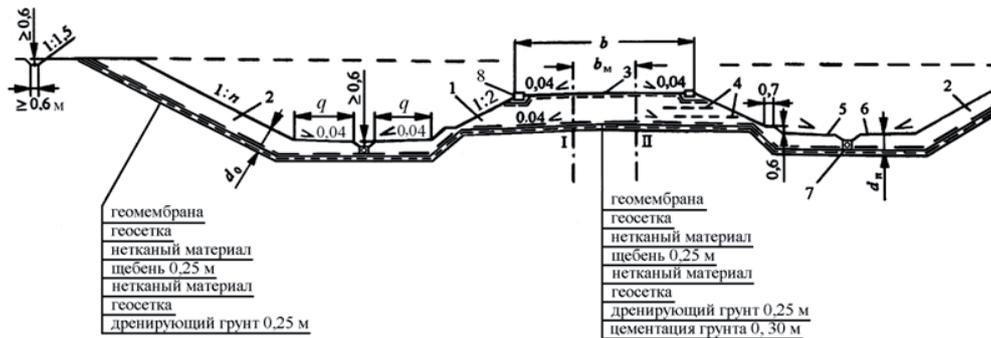


Рис. 10. Поперечный профиль разрабатываемой под насыпь выемки глубиной до 4 м в глинистых грунтах повышенной влажности: 1 — защитный слой; 2 — дренирующий грунт; 3 — нетканый материал и геосетка из базальтоволокна на основной площадке; 4 — геосетка из базальтоволокна в защитном слое; 5 — предкуветная полка; 6 — закуветная полка; 7 — подкуветный дренаж; 8 — лоток для кабелей
 Fig. 10. Cross-section profile of cutting of 4 m depth under the embankment in clay soils of high humidity: 1 — protective layer; 2 — draining soil; 3 — non-woven material and geogrid from basalt fiber on the main site; 4 — geogrid from basalt fiber in the protective layer; 5 — pre-ditch slope; 6 — over-ditch slope; 7 — sub-ditch drainage; 8 — cable tray

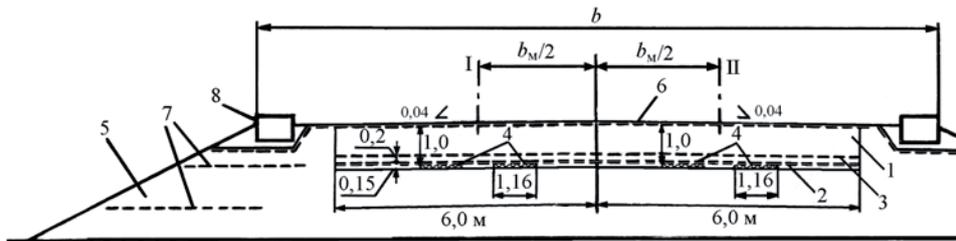


Рис. 11. Схема противокарстовой конструкции с усилением подбалластного слоя: 1 — укрепленный полифилизаторами грунт; 2 — геосетка из базальтоволокна, два слоя; 3 — то же, один слой; 4 — гофрированные листы; 5 — защитный слой; 6 — нетканый материал и геосетка из базальтоволокна на основной площадке; 7 — геосетка из базальтоволокна в защитном слое; 8 — лоток для кабелей
 Fig. 11. Scheme of anti-karst construction with reinforcement of the sub-ballast layer: 1 — ground reinforced with polifilizers; 2 — geogrid from basalt fiber, two layers; 3 — the same, one layer; 4 — corrugated sheets; 5 — protective layer; 6 — non-woven material and geogrid from basalt fiber on the main site; 7 — geogrid from basalt fiber in the protective layer; 8 — cable tray

бранами, полосы которых сваривают между собой. За пределами основной площадки поверх покрытия укладывают геоматы.

На всем протяжении карстоопасных участков, выявленных при инженерных изысканиях, с целью обеспечения безопасности движения поездов при реализации провалов диаметром до 4 м назначают

устройство слоя грунта, укрепленного жидкими и порошковыми добавками полифилизаторов [9]. Толщина слоя должна составлять 1 м. Его располагают под обоими путями. Расстояние от концов шпал до края этого слоя с каждой стороны должно быть не менее 1,9 м. В нижней части укрепленного слоя размещают геосетку из базальтоволокна в три слоя и гофрированные листы, соединяемые между собой болтами. Укрепленный слой необходимо устраивать в верхней части защитного слоя (рис. 11).

В процессе эксплуатации при обнаружении в ходе мониторинга образовавшегося провала его заполняют глинистым грунтом с уплотнением. Поверх провала устраивают гидроизоляцию из геомембран.

На карстоопасных участках следует предусматривать устройство противокарстовой сигнализации.

В пределах пассажирских платформ проектируют продольный водоотвод (лоток, дренаж с лотком) между платформой и путем. В конструкции платформ предусматривают наличие консоли со стороны пути, под которой на расстоянии от оси пути 2,25 м (в свету) должен располагаться продольный закрытый лоток. Дно лотка следует проектировать на уровне верха за-

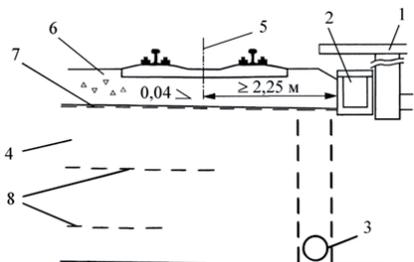
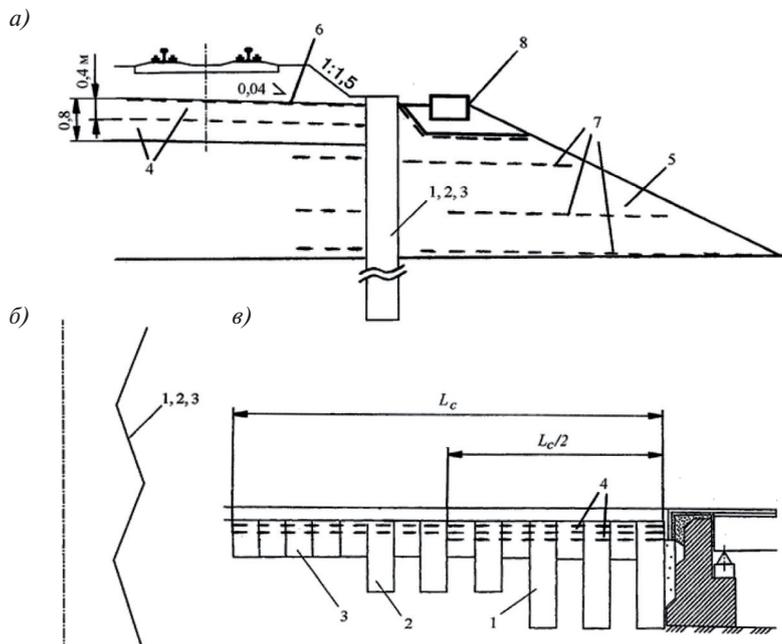


Рис. 12. Схема устройства водоотводов у пассажирской платформы: 1 — пассажирская платформа; 2 — лоток; 3 — дренаж; 4 — защитный слой; 5 — ось пути; 6 — балластный слой; 7 — нетканый материал и геосетка из базальтоволокна на основной площадке; 8 — геосетка из базальтоволокна в защитном слое
 Fig. 12. Structure scheme of the drainage system for the passenger platform: 1 — passenger platform; 2 — the tray; 3 — drainage; 4 — protective layer; 5 — axis of the track; 6 — ballast layer; 7 — non-woven material and geogrid from basalt fiber on the main site; 8 — geogrid from basalt fiber in the protective layer

Рис. 13. Схема устройства переходного участка земляного полотна на примыкании к устью моста:
a — поперечный профиль; *б* — план;
в — продольный разрез; 1, 2, 3 — гофрированные листы переменной длины в удерживающей конструкции;
 4 — слои грунта, укрепленного полифилизаторами;
 5 — защитный слой из дренирующего грунта;
 6 — нетканый материал и геосетка из базальтоволокна на основной площадке; 7 — геосетка из базальтоволокна в защитном слое; 8 — лоток для кабелей



щитного слоя (рис. 12). На уровне подошвы защитного слоя сооружают продольный дренаж.

В местах примыкания земляного полотна к устоям мостов следует проектировать сопряжения, конструкции которых будут обеспечивать стабильность конфигурации балластной призмы и верхней части земляного полотна, а также постепенное изменение жесткости основания пути.

На участке сопряжения земляного полотна с устоем моста следует предусматривать устройство укрепленного полифилизаторами слоя грунта переменной толщины в продольном направлении, обеспечивающего постепенное изменение жесткости основания пути, и удерживающих конструкций из гофрированных элементов (листов), предотвращающих пластические деформации (выдавливание) грунтов основания в пределах поймы (рис. 13). Длину участка сопряжения L_c от задней грани устоя назначают не менее 28 м.

Вывод. Технические решения, изложенные в данной статье, обеспечивают несущую способность грунтов и устойчивость земляного полотна высокоскоростных железнодорожных линий на протяжении всего жизненного цикла. Их целесообразно использовать при переработке норм проектирования земляного полотна этих линий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геофизический комплекс для определения границ геологических слоев серии «ЛОЗА»: сертификат соответствия нормативным документам ГОСТ Р 5376–2009 № 0935243, регистрац. № РОСС RU.АГ93.Н01175, выдан ООО «Компания ВНИИСМИ» 18.05.2012.

2. ЦПИ-36. Руководство по определению физико-механических характеристик балластных материалов и грунтов земляного полотна: утв. Департаментом пути и сооружений ОАО «РЖД» 30.01.2004.

3. СП 38.13330.2012. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов). Актуализированная редакция СНиП 2.06.04–82*6: утв. Минрегионом России 29.12.2011.

4. СП 33–101–2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик: утв. Госстроем России 26.12.2003.

5. Инструкция по усилению железнодорожного пути укрепляющими добавками полифилизаторов: утв. Распоряжением ОАО «РЖД» 24.07.2013. № 1619р.

6. ГОСТ 7392–2014. Щебень из плотных горных пород для балластного слоя железнодорожного пути. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2015. 35 с.

7. ЦПИ-38. Технические указания и конструкторская документация по способам стабилизации земляного полотна (для опытного применения): утв. Департаментом пути и сооружений ОАО «РЖД» 18.12.2006.

8. ЦПИ-40. Технические указания по устранению осадков насыпей на вечной мерзлоте замораживанием оттаивающих грунтов длинномерными термосифонами: утв. Департаментом пути и сооружений ОАО «РЖД» 03.07.2007.

9. Способ усиления линейных объектов на карстоопасных участках: пат. 2581851 Российской Федерации / П.И. Дыдышко [и др.]. Заявл. 31.03.2015; опубл. 20.04.2016. Бюл. № 11. 8 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

ДЫДЫШКО Петр Иванович,
 д-р техн. наук, главный научный сотрудник, АО «ВНИИЖТ»

ОЛЬХИНА Светлана Владимировна,
 научный сотрудник, АО «ВНИИЖТ»

Статья поступила в редакцию 06.04.2017 г., актуализирована 12.09.2017 г., принята к публикации 02.11.2017 г.

Basic provisions for the design of the roadbed for high-speed railway lines

P. I. DYDYSHKO, S. V. OL'KHINA

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

Abstract. The article reflects the relevance of the organization of high-speed train traffic on the railways of Russia, describes the procedure for obtaining the initial data and presents technical solutions to the roadbed differentially depending on the composition, properties and condition of the soils, as well as the types of roadbeds (embankments, cuttings, zero places) and climatic conditions.

The width of the roadbed on top (the main platform) is set equal to $b = 15.5$ m, the width between the tracks — $b_m = 5.5$ m. The surface of the main site should be given a two-sided slope of 0.04 from the middle of the intertrack space towards the edge of the roadbed.

The embankments up to 9 m inclusive and cuttings up to 9 m or less should be designed for group solutions.

Instead of embankments with a height of more than 9 m and embankments within marshes with a depth of more than 7 m, overpasses should be provided, and in place of cuttings with a depth of more than 9 m — tunnels.

Embankments in the marshes up to 7 m deep, as well as on moist and wet grounds, are projected from draining soils with the substitution of soils in the base for these soils.

A protective layer is provided in the upper part of the roadbed of all types of clayey soils, as well as in zero places and in cuttings composed of fine and dusty sands, easily eroded and friable rocky grounds. Draining soils are used in the protective layer.

When sand is used in the upper part of the protective layer (on the main site) and on its slopes, with the exception of the lower part, a height of 0.8 m is assigned to reinforce these sands with liquid and powdered polyfillers. The steepness of the slopes is assumed to be 1:2.

Clay soils under the protective layer in the cuttings, at zero places and embankments are also subject to strengthening.

It is proposed to use reinforcing layers from geogrids based on basalt fiber in combination with waterproofing geomembranes and drainage material providing effective water drainage, increasing bearing capacity and stability in complex engineering and geological conditions, including karst, characteristic for polygons of high-speed lines.

Keywords: roadbed; railway track; high-speed railway lines; structure of embankments and cuttings

DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2017-76-6-362-370>

E-mail: Olhina.Svetlana@vniizht.ru (S. V. Ol'khina)

REFERENCES

1. *Geophysical complex for determining the boundaries of geological layers of the series "LOZA": certificate of conformity no. POCC RU.AГ93.H01175. Issued by LLC "Company VNIISMI" on 18.05.2012 (in Russ.).*
2. TsPI-36. *Guidelines for determining the physical and mechanical characteristics of ballast materials and soils of the roadbed.* Approved by Department of Tracks and structures of the JSC "Russian Railways" on January 30, 2004 (in Russ.).
3. SP 38.13330.2012. *Loads and impacts on hydraulic structures (wave, ice and from ships).* Updated version of SNiP 2.06.04-82 * 6. Approved by Ministry of Regional Development of Russia on December 29, 2011 (in Russ.).
4. SP 33-101-2003. *Determination of the main design hydrological characteristics.* Approved by Gosstroy of Russia on December 26, 2003 (in Russ.).
5. *Instructions for reinforcing the railway track with reinforcing additives of polyfillers.* Approved by the order of the JSC "Russian Railways" on July 24, 2013, no. 1619r (in Russ.).
6. GOST 7392-2014. *Crushed stone from dense rocks for the ballast layer of the railway track. Technical specifications.* Moscow, Standartinform Publ., 2015, 35 p.
7. TsPI-38. *Technical instructions and design documentation for ways to stabilize the roadbed (for advanced use).* Approved by Department of Tracks and structures of the JSC "Russian Railways" on December 18, 2006 (in Russ.).
8. TsPI-40. *Technical instructions on elimination of sediments of embankments on permafrost by freezing thawing soils with long-term thermosiphons.* Approved by Department of Railways and Structures of the JSC "Russian Railways" on July 03, 2007 (in Russ.).
9. Dydyshko P. I., Kulichenko Yu. P., Ol'khina S. V., Utkina L. K., Veselov Yu. A. *The method of strengthening linear objects in karst-dangerous areas.* Patent no. 2581851. Moscow, Rospatent, 2015 (in Russ.).

ABOUT THE AUTHORS

Petr I. DYDYSHKO,

Dr. Sci. (Eng.), Senior Researcher, JSC "VNIIZhT"

Svetlana V. OL'KHINA,

Researcher, JSC "VNIIZhT"

Received 06.04.2017

Revised 12.09.2017

Accepted 02.11.2017

ВЫШЛИ В СВЕТ ТРУДЫ ВНИИЖТ

Дыдышко П. И. Земляное полотно железнодорожного пути. Справочник: науч. тр. ОАО «ВНИИЖТ». М.: Интекст, 2014. 416 с.

Изложены справочные данные и научное обоснование обеспечения стабильности земляного полотна железнодорожного пути, включая инновационные решения, на основе исследований процессов тепломассопереноса в грунтах. Представлено неизвестное ранее термоэлектрокинетическое явление, обуславливающее перенос влаги в капиллярных анизотермических системах, который влияет на несущую способность и устойчивость основания пути. Материалы справочника включают в себя порядок проведения ин-

женерных изысканий, методы расчетов, конструкции земляного полотна новых линий, дополнительных главных путей и усиления (реконструкции) эксплуатируемых линий. Рассмотрены объекты в различных инженерно-геологических условиях. Приведены порядок содержания земляного полотна, правила приемки объектов в эксплуатацию и правила охраны окружающей среды.

По вопросам приобретения книги обращаться по адресу: 129626, г. Москва, 3-я Мытищинская ул., д. 10, редакционно-издательский отдел АО «ВНИИЖТ».

Тел.: (499) 260-43-20, e-mail: rio@vniizht.ru, www.vniizht.ru.

Исследования сконструированных подрельсовых опор

М. Ю. ХВОСТИК, М. А. СТАРОДУБЦЕВА

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

Аннотация. В последние десятилетия увеличивается применение сконструированных, в том числе композитных, шпал на железных дорогах мира: США, страны ЕС, Япония, Китай. Такие шпалы, обладая положительными эксплуатационными качествами деревянных шпал (хорошей упругостью и диэлектрическими свойствами, технологичностью при укладке в путь и при проведении ремонтных работ), не имеют отрицательных качеств древесины. Композитные шпалы не нуждаются в пропитке, балластный слой и почва не загрязняются вредными химическими соединениями, кроме того, возможна их повторная переработка.

Рассмотрены стандарты США и ЕС на испытания шпал из сконструированных материалов, дана классификация таких шпал. Приведены примеры испытаний шпал специалистами АО «ВНИИЖТ» с 1999 по 2016 г., в том числе шпал из модифицированной древесины, деревянных шпал с эластомерным покрытием, композитных шпал из переработанного полиэтилена высокой плотности со стеклонаполненным полимером. Рассмотрены особенности российских требований к сконструированным шпалам. Сформирован вывод о необходимости разработки российского и межгосударственного стандартов на требования безопасности и методы испытаний подрельсовых опор из сконструированных материалов.

Ключевые слова: композитные материалы; шпала сконструированная; испытания; лабораторные; стендовые; полигонные

Виды сконструированных шпал, их классификация и международные стандарты на их испытания. Сконструированные подрельсовые опоры представляют относительно новую технологию по сравнению с изделиями из пиломатериалов, бетона или стали.

На железных дорогах мира сконструированные шпалы находят все большее применение вместо деревянных, так как они имеют больший срок службы, высокую прочность и технологичны в процессе эксплуатации, экологичны (не используется креозот, который наносит ущерб окружающей среде), при их производстве часто применяются вторично переработанные изделия, в том числе и шпалы.

Сконструированные шпалы представляют собой как изделия из полимерных композитных материалов, так и из дерева с использованием полимеров. При их изготовлении используется два или большее количество материалов (например, армирующие элементы или наполнители) в связующей матрице для

получения свойств, которые превышают свойства отдельных элементов.

Основными видами сконструированных шпал, представленных на рис. 1, являются:

– шпалы из полимерного композитного материала, включающего армирующие элементы (например, стеклянные волокна) и/или другие модификаторы свойств в полимерной матрице (рис. 1, *a*);

– шпалы из сконструированного древесного материала, представляющие собой слои древесины, соединенные вместе с помощью конструкционного клея (рис. 1, *b*);

– шпалы из модифицированной древесины (рис. 1, *в*);

– шпалы из цельной древесины в полимерной оболочке (рис. 1, *г*).

За рубежом существуют специальные стандарты для испытания сконструированных шпал (мостовых и стрелочных брусев). К таким документам относится международный стандарт Европейского союза ISO 12856–1:2014 «Пластмассы. Пластмассовые железнодорожные шпалы для железнодорожных путей (железнодорожные стяжки). Часть 1. Характеристики материалов» [1]. Типы композитов и технологии изготовления могут оказывать различное влияние на эксплуатационные характеристики подрельсовых опор, поэтому стандарт ISO 12856–1:2014 (Часть 1) охватывает общие характеристики материалов, из которых изготавливаются композитные шпалы, с целью определения их эксплуатационных показателей. В приложении к указанному стандарту приводятся

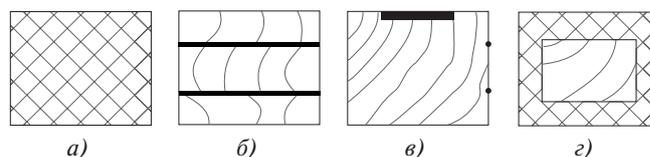


Рис. 1. Сконструированные шпалы (поперечное сечение):
a — шпалы из композитного материала; *b* — шпалы из древесины;
в — шпалы из модифицированной древесины; *г* — шпалы из древесины в полимерной оболочке

Fig. 1. Designed sleepers (cross-section):
a — sleepers made of composite material; *b* — sleepers made of wood;
в — sleepers from modified wood; *г* — sleepers from wood in a polymeric shell

технические характеристики типовых композитных и армированных материалов, которые рекомендуется применять при изготовлении подрельсовых опор. Вторая часть стандарта ISO 12856, выпуск которой планируется, будет содержать методы испытаний различных конструкций шпал из композитных материалов.

В стандарте ISO 12856–1:2014 требования к подрельсовым опорам из различных искусственных материалов соответствуют требованиям к опорам из различных пород древесины для укладки на участках с различными осевыми нагрузками и скоростями движения:

- тип материала А соответствует шпалам из тропических лиственных пород; применяется при изготовлении опор для безбалластного пути при осевых нагрузках до 137 кН (13,97 тс) и скорости 300 км/ч, а также специальных путей при осевых нагрузках до 196 кН (19,98 тс) и скорости движения до 130 км/ч;

- тип материала В соответствует стандартным шпалам; применяется при изготовлении опор для железнодорожных путей с осевыми нагрузками до 221 кН (22,53 тс) и скорости движения до 160 км/ч;

- тип материала С соответствует шпалам из лиственных пород; применяется при изготовлении опор для тяжеловесного движения с осевыми нагрузками до 343 кН (34,96 тс) и скорости движения до 80 км/ч.

В США и Канаде действует стандарт ассоциации AREMA «Оценочные испытания систем шпал» [2]. В стандарте AREMA методы испытания и требования к изделию зависят от типа шпалы (полимерная конструкционная, слоистая клеенная, композиционная из древесного материала).

При внедрении на железных дорогах Германии японских шпал из искусственной древесины в 90-е гг. XX в. еще отсутствовали нормативные документы и требования к деревянным шпалам для определенных условий эксплуатации, поэтому они должны были отвечать требованиям, предъявляемым к железобетонным шпалам.

Особенности применения отечественных сконструированных шпал. При разработке требований к сконструированным подрельсовым опорам следует учитывать особенности применения деревянных шпал и брусьев в России и странах СНГ.

Наибольшее распространение в России имеют шпалы из сосны, которая по сравнению с другими хвойными породами для шпал и брусьев менее подвержена растрескиванию, более упруга, прямоствольна. Однако сосна значительно мягче дуба, бука и других твердых пород, быстрее загнивает. В меньшем объеме применяются шпалы из лиственницы, имеющей твердую древесину, которая плохо пропитывается, подвержена растрескиванию и при перебивках колеи раскалывается.

Альтернативой цельным шпалам из хвойных пород являются подрельсовые опоры из модифицированной древесины лиственных пород деревьев (бере-

зы, ольхи, осины). Оцилиндрованная сырая древесина определенного размера укладывается в металлические пресс-формы, которые помещаются в пропиточную установку с антисептиком, где осуществляется сушка с одновременным механическим уплотнением (формованием) древесины. Для увеличения срока службы шпал на дно пресс-формы в местах будущего крепления подкладок (прокладок) укладываются пластины из твердой древесины. В процессе прессования пластины вдавливаются в шпалу заподлицо с пластью.

В ГОСТ 78–2004 «Шпалы деревянные для железных дорог широкой колеи. Технические условия» [3] указаны только методы контроля геометрических размеров шпал, маркировки и качества древесины, но не содержится прочностных характеристик шпал и способов их определения, так же как и для мостовых брусьев и брусьев стрелочных переводов.

Другой документ, ГОСТ 56879–2016 «Древесина модифицированная. Заготовки для шпал и столбов ЛЭП. Технические условия», также содержит требования к отдельным характеристикам модифицированной древесины (твердость, плотность), которые являются физико-механическими свойствами материала, а не изделия [4].

Требования к прочности и трещиностойкости сконструированных шпал при статическом изгибе с растяжением нижней пласти содержит межгосударственный стандарт ГОСТ 28469–90 «Шпалы и брусья деревянные клеенные для трамвайных путей. Технические условия» [5]. Эти требования аналогичны требованиям, предъявляемым к железобетонным шпалам, которые также являются сконструированными изделиями. В связи с этим испытания сконструированных шпал при необходимости могут сопровождаться испытаниями деревянных шпал. Анализ их результатов носит сравнительный характер, при этом применяются отдельные виды испытаний для шпал железобетонных по ГОСТ 33320–2015 [6].

Опыт проведения испытаний сконструированных шпал. Во ВНИИЖТ за последние 10 лет авторами были испытаны различные виды отечественных и зарубежных сконструированных шпал: полушпалы из модифицированной древесины (технология изготовления разработана специалистами Воронежской государственной лесотехнической академии), деревянные шпалы с эластмерным покрытием — разработка ОАО «НИИР», шпалы из переработанного полиэтилена высокой плотности со стеклонеполненным полимером производства АО «Фирма ТВЕМА». Для каждого типа шпал разрабатывались отдельные технические требования и своя методика испытаний с учетом особенностей конструкции изделия.

В 1999–2001 гг. специалистами института были выполнены стендовые и полигонные испытания полушпал из модифицированной древесины различных

пород, изготовленных на опытно-промышленной установке по технологии Воронежской государственной лесотехнической академии. Технология изготовления таких шпал предусматривает оцилиндровку сырой древесины, ее пропитку и формование. Для увеличения срока службы шпал в местах их будущего крепления впрессовывались пластины из древесины с направлением волокон параллельно направлению износа. При пропитке шпал применялся нефтяной антисептик ЖТК — менее вредный, чем креозот.

Стендовые испытания включали исследования по определению усилия на вырыв шурупа, жесткости подрельсового основания, а также испытания с узлами скреплений типа «Метро» и КДП-65 на воздействие циклической нагрузки.

Проведенные испытания показали, что физико-механические свойства модифицированных шпал остались на уровне подрельсовых оснований из цельной древесины. Наблюдалось местное упрочнение древесины в районе сформированных пластей, которое приводит к уменьшению механического износа шпал под подкладкой. Для повышения прочностных характеристик институтом рекомендовалось увеличить степень прессования древесины с 10–15 до 25 %.

В результате полигонных испытаний при наработке 500 млн т брутто отмечалось удовлетворительное состояние полушпал (без отслоения уплотнений, трещин и разбалтывания шурупов) при механическом износе древесины под металлическими подкладками в 1,5–1,7 мм.

По причине большей трудоемкости и энергоемкости изготовления шпал из модифицированной древесины и, соответственно, более высокой их стоимости при близких величинах прочностных и эксплуатационных характеристик модифицированные шпалы не нашли промышленного применения.

В 2005–2007 гг. при непосредственном участии авторов проходила испытания новая конструкция шпалы, разработанная ОАО «НИИР», представляющая собой композицию из традиционной деревянной шпалы с покрытием на основе смеси полиуретана с резиновыми отходами. Деревянные шпалы с эластомерным покрытием не наносят ущерб окружающей среде: почва под путевым полотном и балластный слой не загрязняются вредными химическими соединениями (креозот, соли фосфора, магния и органические смолы).

Программа лабораторных исследований предусматривала проведение ускоренных испытаний самого эластомерного покрытия и натурных образцов деревянных шпал с эластомерным покрытием. Определялись такие характеристики, как стойкость воздействия ультрафиолетового облучения, влагонасыщение, адгезия покрытия к древесине, стойкость древесины на загнивание, стойкость древесины при образовании дефектов покрытия, термостойкость по-

Рис. 2. Шпалы с полимерной оболочкой на Экспериментальном кольце АО «ВНИИЖТ» (ст. Шербинка)

Fig. 2. Sleepers with polymeric shell on the Test Loop of JSC «VNIIZhT» (Shcherbinka station)



крытия. Результаты лабораторных и сравнительных стендовых испытаний выявили преимущества опытных шпал перед типовыми.

При наработке 650 млн т брутто результаты обследования показали полностью работоспособное состояние шпал с полимерным покрытием: на поверхности отсутствовали трещины, механические повреждения, вырывы в местах крепления металлической подкладки, вздутия и расслоения покрытия; в области скреплений образования гнилостности не было обнаружено (см. рис. 2). Было отмечено более стабильное состояние пути со шпалами в оболочке, чем с деревянными, меньшая интенсивность изменения ширины колеи, стабильная подуклонка рельсов. Положительные результаты испытаний позволили рекомендовать изготовление установочной партии шпал с эластомерным покрытием для укладки на станции Бекасово Московской железной дороги. В связи с прекращением деятельности ОАО «НИИР» постановка сконструированных шпал с полимерной оболочкой на производство не была завершена.

В 2012–2016 гг. авторами были проведены комплексные испытания композитных шпал АО «Фирма ТВЕМА», материалом которых является полимерная матрица из переработанного полиэтилена высокой плотности в качестве основного компонента со стеклонаполненным полимером (см. рис. 3). В основу методики испытаний шпал лег стандарт AREMA, также использовались приведенные в нем минимальные величины рабочих характеристик ввиду их отсутствия в российских и межгосударственных стандартах. Результаты испытаний композитных шпал показали, что физико-механические характеристики, влияющие на эксплуатационную надежность и работоспособность таких подрельсовых оснований, выше, чем у деревянных шпал [7].

На рис. 4 представлены результаты испытаний одного из вариантов композитных и стандартных деревянных шпал для определения модуля упругости по графику максимального прогиба, выполненных в АО «ВНИИЖТ».

Композитные шпалы из полимерного материала более подвержены температурному влиянию, чем деревянные, и при отрицательных температурах (менее



Рис. 3. Композитные шпалы из переработанного полиэтилена высокой плотности

Fig. 3. Composite sleepers from recycled high-density polyethylene

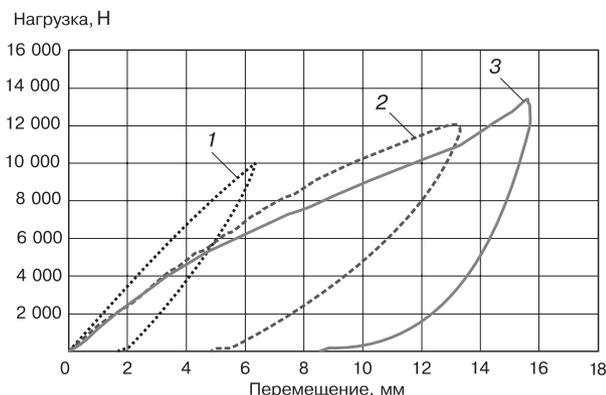


Рис. 4. Определение модуля упругости шпал по графику максимального прогиба: 1 — шпала деревянная; 2 — шпала композитная; 3 — шпала композитная замороженная
Fig. 4. Determination of the module of sleeper elasticity according to the maximum deflection schedule: 1 — wooden sleepers; 2 — composite sleeper; 3 — frozen composite sleepers

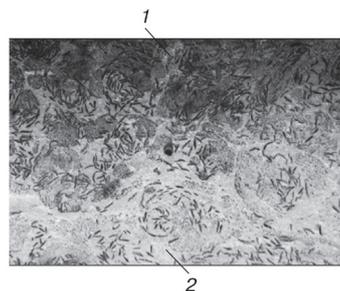


Рис. 5. Шпалы из искусственной древесины SEKISUI (поперечный разрез): 1 — верхняя поверхность шпалы; 2 — нижняя поверхность шпалы

Fig. 5. SEKISUI sleepers made of artificial wood (cross-section): 1 — the upper surface of the sleeper; 2 — the bottom surface of a sleeper

–20 °С) изменение модуля упругости происходит до 2-х раз. Изломы таких шпал зафиксированы в зимнее время при их полигонных испытаниях на участках с неравномерно уложенным и уплотненным щебеночным балластом.

В настоящее время растет количество предложений от производителей сконструированных шпал. Представляют интерес японские шпалы из искусственной древесины (FFU) SEKISUI, обладающей достоинствами древесины (достаточной упругостью, хорошей обрабатываемостью, низкой электропроводностью) и не имеющей ее недостатков (пористости, подверженностью гниению), с более высокой износостойкостью, низкими затратами на жизненный цикл и эксплуатацию (см. рис. 5). Верхняя поверхность шпалы может иметь большую плотность для повышения эксплуатационной стойкости изделия. На японских железных дорогах такие шпалы используются с 1985 г.

Композитные опоры успешно конкурируют и с железобетонными подрельсовыми основаниями.

Так, применение композитных брусьев решает проблему изготовления дорогостоящей формооснастки (индивидуальной для каждого проекта) для железобетонных стрелочных брусьев и обеспечивает высокоточную постановку металлических элементов в проектное положение непосредственно на месте сборки.

На основании многолетнего опыта испытаний конструкций шпал из композитных материалов и анализа зарубежных технических требований, изложенных в базовых нормативных документах на их изготовление и эксплуатацию, сформированы технические требования, которые целесообразно использовать при разработке отраслевых, государственных и межгосударственных стандартов на подрельсовые опоры из композитных материалов (шпалы, мостовые и стрелочные брусья и пр.).

Требования к геометрическим характеристикам

а) Геометрические размеры подрельсовых опор из композитных материалов должны соответствовать

Таблица 1

Свойства материала

Table 1

Material properties

№ п/п	Наименование показателя	Полимерный композиционный материал	Сконструированный древесный материал	Цельная древесина в полимерной оболочке
1	Плотность материала, кг/м ³	800	720	1100
2	Температурный интервал работоспособности, °С	от –60 до +80	–	от –60 до +80*
3	Прочность при растяжении, МПа, не менее	8	–	5*
4	Химическая стойкость. Изменение массы после воздействия агрессивной среды в течение (24±1) ч при температуре (23±2 °С), % – СЖР-3 – воды	2 1	– –	1,0* 0,7*
5	Удельное объемное электрическое сопротивление, Ом·см	1·10 ⁹	–	1·10 ^{9*}
6	Долговременная стойкость к атмосферному воздействию (ультра-фиолетовому излучению) — изменение начальных величин п. 3 табл., %	100	–	100*
7	Термическое старение — изменение начальных величин п. 3 табл., %	5	–	20*
8	Стойкость к возгоранию	Пламя не должно проникать в образец	–	Пламя не должно проникать в образец

*свойство полимерной оболочки шпалы

традиционным размерам шпал, стрелочных или мостовых брусев.

б) При обеспечении прочностных и эксплуатационных характеристик по согласованию с владельцем инфраструктуры допускается уменьшение размеров поперечного сечения сконструированных подрельсовых опор.

в) Для участков с ездой по балласту с целью повышения сопротивления сдвигу выполняется текстурирование (рифление) боковых и нижней сторон шпал.

Требования к эксплуатационным характеристикам

а) Срок службы подрельсовых опор должен составлять не менее 50 лет с учетом их ремонтпригодности за счет восстановления отверстий для крепежных элементов скреплений (шурупов, закладных болтов и пр.).

Таблица 2

Свойства подрельсовых опор из различных материалов

Table 2

Properties of rail seat supports of various materials

№ п/п	Наименование показателя	Полимерный композиционный материал	Сконструированный древесный материал	Цельная древесина в полимерной оболочке
1	Модуль упругости (изгиб), МПа	1200	11700	12000
2	Модуль разрушения, МПа	13,8	66,9	53,8
3	Жесткость подрельсовой площадки, МПа	6,2	4,5	2,8
4	Коэффициент термического (линейного) расширения	$1,35 \cdot 10^{-4}$	—	—
5	Ударная прочность при температуре +20 °С и –20 °С, Дж/см ²	40	—	—
6	Электрическое сопротивление, кОм	20	—	—
7	Удерживающая способность при циклической нагрузке: — остаточное поперечное перемещение подошвы рельса, мм; — наличие трещин, разрушения опоры в зоне отверстий	2 не допускается		
8	Сопротивление вытягиванию крепежного элемента скрепления, кН	30		
9	Сопротивление поперечному сдвигу опоры в щебеночном балласте после пропуска 10 ⁵ т брутто, кН	3,0		
10	Вероятность безотказной работы при заданной нагрузке, %	98		
11	Заявленный срок службы, лет	50	20	25

б) Обязательным является наличие сертификата пожарной и экологической безопасности в соответствии с требованиями владельца инфраструктуры.

Требования к методам испытаний

Методы испытаний композитных опор, основанные на межгосударственных стандартах и стандартах Российской Федерации [8–11] должны обеспечивать достоверность результатов при контроле характеристик, указанных в табл. 1 и 2. Величины, представленные в табл. 1 и 2, приведены в качестве рекомендуемых и при использовании сконструированных подрельсовых опор должны согласовываться с владельцем инфраструктуры.

Отмечается, что полимерные шпалы из композитных материалов имеют меньший модуль упругости и модуль разрушения, нежели сконструированные деревянные шпалы, при этом имеют больший срок службы, в том числе за счет большей химической стойкости материала.

Выводы. 1. Сконструированные подрельсовые опоры перспективны в применении. Обладая достоинствами деревянных шпал (брусев), они имеют более высокую износостойкость, низкие затраты на жизненный цикл (возможна повторная переработка), более однородны и не подвержены гниению. Демпфирующие свойства композитных шпал способствуют решению проблемы снижения шума и вибрации от подвижного состава. При технико-экономическом обосновании такие шпалы с успехом заменяют другие виды подрельсовых опор.

2. Сферами рационального применения композитных подрельсовых опор являются пучинистые участки железнодорожного пути, участки со слабыми грунтами, стрелочные переводы, путь на мостах, в железнодорожных тоннелях, а также пути метрополитенов.

3. Одним из способов снижения негативного воздействия железнодорожного транспорта на окружающую среду является замена пропитанных деревянных шпал пластиковыми (композитными), полученными путем переработки резиновых и полимерных отходов.

4. Учитывая тенденцию к расширению полигона укладки композитных шпал, включая железнодорожные пути, пути метрополитенов и наземного городского транспорта, как в Российской Федерации, так и в Казахстане и других странах СНГ, целесообразно разработать единый межгосударственный стандарт, содержащий требования безопасности и методы испытания сконструированных подрельсовых опор.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ISO 12856–1:2014. Пластмассы. Пластмассовые шпалы для железнодорожных путей (железнодорожные стяжки). Часть 1. Характеристики материалов. М.: Стандартинформ, 2014. 36 с.
2. Оценочные испытания систем шпал. Ч. 5. Структурированные шпалы из композиционных материалов / AREMA. [Б. м.], 2010. 125 с.
3. ГОСТ 78–2004. Шпалы деревянные для железных дорог широкой колеи. Технические условия. Минск: Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2007. 8 с.

4. ГОСТ 56879–2016. Древесина модифицированная. Заготовки для шпал и столбов ЛЭП. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2016. 11 с.
5. ГОСТ 28469–90. Шпалы и брусья деревянные клееные для трамвайных путей. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2005. 7 с.
6. ГОСТ 33320–2015. Шпалы железобетонные для железных дорог. Общие технические условия. М.: Стандартинформ, 2016. 37 с.
7. Хвостик М. Ю. Шпалы композитные как альтернатива деревянным // Вестник ВНИИЖТ. 2016. Т. 75. № 3. С. 179–182. DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2016-75-3-179-182>.
8. ГОСТ 25.601–80. Методы механических испытаний композиционных материалов с полимерной матрицей (композитов). Метод испытания плоских образцов на растяжение при нормальной, повышенной и пониженной температурах. М.: Изд-во стандартов, 1980. 13 с.
9. ГОСТ Р 50583–93. Материалы композиционные полимерные. Номенклатура показателей. М.: Изд-во стандартов, 1993. 9 с.

10. ГОСТ 4650–2014. Пластмассы. Методы определения водопоглощения. М.: Стандартинформ, 2014. 16 с.
11. ГОСТ 11262–80. Пластмассы. Метод испытания на растяжение. М.: Изд-во стандартов, 1986. 16 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

ХВОСТИК Михаил Юрьевич,

канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник, научный центр «Путевая инфраструктура и вопросы взаимодействия колеса — рельс» (НЦ «ЦПРК»), АО «ВНИИЖТ»

СТАРДУБЦЕВА Марина Алексеевна,

научный сотрудник, научный центр «Путевая инфраструктура и вопросы взаимодействия колеса — рельс» (НЦ «ЦПРК»), АО «ВНИИЖТ»

Статья поступила в редакцию 25.07.2017 г., актуализирована 09.10.2017 г., принята к публикации 03.11.2017 г.

Studies of the constructed rail seat supports

M. Yu. KHVOSTIK, M. A. STARODUBTSEVA

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

Abstract. In recent decades, the use of constructed sleepers on the world's railways has been increasing: the United States, the EU countries, Japan and China. Such sleepers, having positive performance qualities of wooden sleepers (good elasticity and dielectric properties, manufacturability during laying and during repair work), do not have negative qualities of wood.

The article reviews the US and EU standards for testing sleepers made of constructed materials. The classification of such sleepers is given. Examples of testing of such sleepers by specialists of JSC “VNIIZhT” for the period from 1999 to 2016 are given, including sleepers from modified wood, wooden sleepers with elastomeric coating, composite sleepers from recycled high-density polyethylene with glass-filled polymer. Features of the Russian requirements to the constructed sleepers are considered.

Composite rail seat supports are promising in application. Possessing the advantages of wooden sleepers (bars), they have higher wear resistance, lower life cycle costs (recyclable), are more homogeneous and do not rot. Damping properties of composite sleepers contribute to solving the problem of reducing noise and vibration from rolling stock. In addition, their use is one of the ways to reduce the negative impact of rail transport on the environment. With a feasibility study, such sleepers will successfully replace other types of rail seat supports.

Spheres of rational application of composite rail seat supports are heaving sections of the railway track, areas with weak soils, turnouts, tracks on bridges, railway tunnels, and underground tracks.

Taking into account the tendency to expand the polygon for laying composite sleepers, including railway tracks, metro routes and land transport in the Russian Federation, Kazakhstan and other CIS countries, it is advisable to develop a single interstate standard containing safety requirements and test methods for constructed rail seat supports.

Keywords: composite materials; designed sleeper; tests; laboratory test; bench test; polygon test

DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2017-76-6-371-376>

REFERENCES

1. ISO 12856–1:2014. *Plastics. Plastic sleepers for railway tracks (railway ties). Part 1. Material characteristics.* Moscow, Standartinform Publ., 2014, 36 p.

2. *Evaluation tests of sleepers systems. Part 5. Structured sleepers made of composite materials.* AREMA Publ., 2010, 125 p.

3. ГОСТ 78–2004. *Ties wooden for wide gauge railways. Technical specifications.* Minsk, Interstate Council for Standardization, Metrology and Certification Publ., 2007, 8 p.

4. ГОСТ 56879–2016. *Wood modified. Blanks for sleepers and poles of power lines. Technical specifications.* Moscow, Standartinform Publ., 2016, 11 p.

5. ГОСТ 28469–90. *Ties and beams are wooden glued for tram ways. Technical specifications.* Moscow, Standartinform Publ., 2005, 7 p.

6. ГОСТ 33320–2015. *Reinforced concrete sleepers for railways. General specifications.* Moscow, Standartinform Publ., 2016, 37 p.

7. Khvostik M. Yu. *Shpaly kompozitnye kak al'ternativa derevyannym* [Sleepers composite as an alternative to wooden]. Vestnik VNIIZhT [Vestnik of the Railway Research Institute], 2016. Vol. 75, no. 3, pp. 179–182. DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2016-75-3-179-182>.

8. ГОСТ 25.601–80. *Methods of mechanical testing of composite materials with a polymer matrix (composites). Method for testing flat tensile specimens at normal, elevated and lower temperatures.* Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1980, 13 p.

9. ГОСТ Р 50583–93. *Composite polymer materials. Nomenclature of indicators.* Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1993, 9 p.

10. ГОСТ 4650–2014. *Plastics. Methods for determination of water absorption.* Moscow, Standartinform Publ., 2014, 16 p.

11. ГОСТ 11262–80. *Plastics. Tensile test method.* Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1986, 16 p.

ABOUT THE AUTHORS

Mikhail Yu. KHVOSTIK,

Cand. Sci. (Eng.), Leading Researcher, Research Center “Track Infrastructure and Interoperability issues of wheel — rail interface” (NTs “TsPRK”), JSC “VNIIZhT”

Marina A. STARODUBTSEVA,

Researcher, Research Center “Track Infrastructure and Interoperability issues of wheel — rail interface” (NTs “TsPRK”), JSC “VNIIZhT”

Received 25.07.2017

Revised 09.10.2017

Accepted 03.11.2017

■ E-mail: vsp311@yandex.ru (М. Ю. Хвостик)

Применение функции временной регулировки чувствительности при настройке условной чувствительности ультразвукового контроля деталей подвижного состава железных дорог эхо-импульсным методом

А. Н. КИРЕЕВ^{1,2}, В. А. ВИТРЕНКО²

¹ Публичное акционерное общество «Лугансктепловоз», Луганск, 91005, Украина

² Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Луганский государственный университет имени Владимира Даля», Луганск, 91034, Украина

Аннотация. В статье рассматривается задача разработки метода отстройки функции временной регулировки чувствительности при настройке условной чувствительности по боковому цилиндрическому отражателю диаметром 6 мм, расположенному в мере СО-2 на глубине 44 мм, ультразвукового контроля деталей подвижного состава железных дорог эхо-импульсным методом.

Описывается математический аппарат для отстройки функции временной регулировки чувствительности при настройке условной чувствительности по боковому цилиндрическому отражателю в мере СО-2 ультразвукового контроля деталей подвижного состава железных дорог, а также разработанный на его основе программный продукт NDTRT-23 для автоматизации расчетов параметров временной регулировки чувствительности ультразвукового дефектоскопа.

Ключевые слова: подвижной состав железных дорог; неразрушающий контроль; ультразвуковой контроль; эхо-импульсный метод; условная чувствительность; временная регулировка чувствительности

Введение. Применение методов неразрушающего контроля (НК) [1] получило широкое распространение при оценке технического состояния деталей подвижного состава железных дорог (ПСЖД) как при изготовлении, так и в эксплуатации. Наибольшее распространение методы НК получили при контроле на отсутствие в деталях ПСЖД недопустимых несплошностей (дефектоскопия).

Для выявления в деталях ПСЖД поверхностных несплошностей применяются визуальный [2] и капиллярный [3] методы НК. Для выявления поверхностных и подповерхностных несплошностей применяются магнитный [4, 5] и электромагнитный (вихретоковый) [6] методы НК.

Для выявления внутренних несплошностей в деталях ПСЖД применяется радиационный метод [7] НК, однако он имеет множество недостатков и ограничений: необходимость защиты персонала от вредного воздействия ионизирующего излучения; относитель-

но небольшая толщина просвечиваемых деталей (до 100 мм); громоздкость аппаратуры; дороговизна применяемых при контроле материалов (рентгеновская пленка, реактивы); сложность в выявлении плоскостных несплошностей с малым раскрытием. Данные ограничения обусловили применение радиационного метода НК в основном при контроле сварных соединений с относительно малыми толщинами свариваемых деталей (до 10 мм, толщины свыше 10 мм достоверно контролируются акустическими методами) и контроле литых деталей толщиной не более 100 мм.

Успешно применяются при контроле деталей ПСЖД на отсутствие внутренних недопустимых несплошностей акустические [8] методы НК. Из них наибольшее распространение получил ультразвуковой эхо-импульсный метод.

Анализ проблемы и постановка задачи. Для отстройки чувствительности аппаратуры при ультразвуковом контроле (УЗК) деталей ПСЖД эхо-импульсным методом применяются различные виды отражателей [9] в зависимости от конструкции объекта контроля и наиболее часто встречающихся видах несплошностей.

Широкое распространение в различных методиках УЗК деталей ПСЖД как при изготовлении, так и в эксплуатации получил метод настройки условной чувствительности на мере СО-2 (рис. 1) [10]. Метод заключается в отстройке нулевого уровня на боковом цилиндрическом отражателе (БЦО) и добавлении к нему дополнительного коэффициента усиления (k_y), установленного нормативной документацией на контроль.

Отстройка нулевого уровня от БЦО в мере СО-2 осуществляется следующим образом: пьезоэлектрический преобразователь устанавливается на рабочую поверхность меры СО-2 над БЦО диаметром 6 мм, расположенным на глубине 44 мм. Медленно «притирая» преобразователь к поверхности меры СО-2, определя-

■ E-mail: lifter_23@mail.ru (А. Н. Киреев)

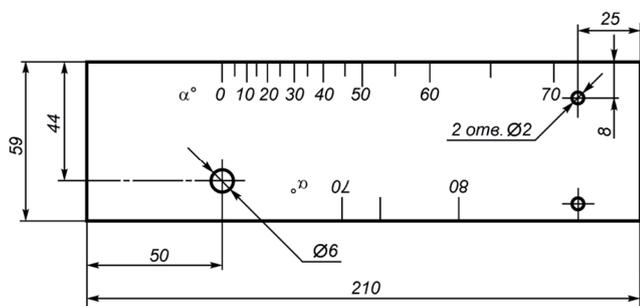


Рис. 1. Эскиз меры СО-2
Fig. 1. Outline of CO-2 measure

ется точка с максимальной амплитудой эхо-сигнала от БЦО. Кнопками усиления и ослабления сигнала амплитуда эхо-сигнала доводится до контрольного уровня (обычно 50% высоты вертикальной шкалы экрана дефектоскопа), фиксируется показание децибелного аттенюатора ($N_{\text{СО-26ио}}$).

Достоинством применения метода условной чувствительности является то, что для настройки достаточно одной меры СО-2 с фиксированными поверяемыми метрологическими характеристиками при контроле довольно широкой номенклатуры деталей ПСЖД.

Недостатком данного метода является то, что чувствительность по всему диапазону контроля будет одинаковой и, соответственно, приведет к тому, что в начале диапазона контроля несплошности малого размера будут классифицироваться как недопустимые, в то время как несплошности такого же размера в конце диапазона контроля будут классифицироваться как допустимые. Это имеет особое значение при контроле деталей с диапазоном контроля 70 мм и более.

Для выравнивания амплитуды эхо-сигнала от равновеликих отражателей во всем диапазоне контроля используется функция временной регулировки чувствительности (ВРЧ) ультразвукового дефектоскопа. Однако функция ВРЧ ультразвукового дефектоскопа отстраивается при настройке эквивалентной чувствительности на стандартных образцах предприятия с эталонными отражателями (плоскодонный цилиндрический отражатель, полусферический отражатель и др.). Методов отстройки функции ВРЧ при настройке условной чувствительности не существует.

Цель научного исследования — разработка метода применения функции ВРЧ при настройке условной чувствительности на мере СО-2 при УЗК деталей ПСЖД.

Основная часть. Для настройки функции ВРЧ необходимо учесть ослабления амплитуды эхо-сигнала за счет расширения фронта волны в зоне Фраунгофера. Отражение продольной ультразвуковой волны в зоне Фраунгофера от бокового цилиндрического отражателя описывается выражением [11, 12]:

$$N = 20 \lg \left\{ \frac{S_a}{\lambda} \sqrt{\frac{d}{8x^3 \left(1 + \frac{d}{2x}\right)}} \right\}, \quad (1)$$

где N — амплитуда эхо-сигнала от БЦО, дБ; S_a — площадь пьезоэлектрического преобразователя, мм²; λ — длина ультразвуковой волны, мм; d — диаметр БЦО (для меры СО-2 — 6 мм), мм; x — расстояние до отражателя, мм.

Настройку функции ВРЧ предлагается проводить по пяти точкам:

$$x = \begin{cases} x_1 = 20 \\ x_2 = 0,25x_d + 12,5 \\ x_3 = 0,5x_d + 5 \\ x_4 = 0,75x_d - 2,5 \\ x_5 = x_d - 10 \end{cases} \text{ мм}, \quad (2)$$

где x_d — расстояние до донной поверхности, мм; точка x_1 — начало диапазона контроля (20 мм, выбрано для учета зоны Френеля преобразователя диаметром 12 мм и частотой 2,5 МГц); x_5 — конец диапазона контроля (10 мм от донной поверхности, выбрано с учетом мертвой зоны в конце диапазона контроля); x_2, x_3, x_4 — четверть, половина и три четверти диапазона контроля соответственно.

Амплитуда эхо-сигнала в точках x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 будет соответственно N_1, N_2, N_3, N_4, N_5 .

Уровень ВРЧ ($k_{\text{ВРЧ}}$, дБ) в точках x_1-x_5 будет находиться из выражения:

$$k_{\text{ВРЧ}} = \begin{cases} k_{\text{ВРЧ1}} = N_1 - N_5 & \text{при } x = x_1; \\ k_{\text{ВРЧ2}} = N_2 - N_5 & \text{при } x = x_2; \\ k_{\text{ВРЧ3}} = N_3 - N_5 & \text{при } x = x_3; \\ k_{\text{ВРЧ4}} = N_4 - N_5 & \text{при } x = x_4; \\ k_{\text{ВРЧ5}} = 0 & \text{при } x = x_5. \end{cases} \quad (3)$$

Воспользовавшись выражениями (1)–(3), получаем математический аппарат для отстройки функции ВРЧ при настройке условной чувствительности по БЦО в мере СО-2 для ультразвукового контроля деталей ПСЖД эхо-импульсным методом (табл. 1).

Для автоматизации расчетов для отстройки функции ВРЧ ультразвукового дефектоскопа был разработан программный продукт NDTRT-23. Окно программного продукта представлено на рис. 2.

В программный продукт NDTRT-23 вводятся следующие данные: расстояние до донной поверхности x_d , мм; амплитуда эхо-сигнала от БЦО в мере СО-2 $N_{\text{СО-26ио}}$, дБ; дополнительный коэффициент усиления k_y , дБ.

В окне программного продукта NDTRT-23 выводятся следующие данные: коэффициент усиления ультразвукового дефектоскопа, дБ; диапазон ультразвуку-

вого дефектоскопа, мм; координаты маркера ВРЧ, мм; уровень ВРЧ, дБ; кривая ВРЧ в графическом виде.

На рис. 3. представлены фото экрана ультразвукового дефектоскопа с отстройкой функции ВРЧ при настройке условной чувствительности для контроля ступицы центра колесного спицевого литого для колесных пар электропоезда на выявление внутренних технологических дефектов после предварительной механической обработки ($N_{CO-26\text{ц}} = 8 \text{ дБ}$, $k_y = 4 \text{ дБ}$, $x_d = 206 \text{ мм}$).

Для возможности выбора количества точек при отстройке функции ВРЧ была получена аналитическая зависимость в общем виде (без конкретных значений точек настройки ВРЧ):

$$k_{\text{ВРЧ}} = 20 \lg \left(\sqrt{\frac{x_k^3 (1 + 3/x_k)}{x^3 (1 + 3/x)}} \right), \quad (4)$$

где x_k — конечная точка контроля; x — точка настройки функции ВРЧ, мм.

Аналитическая зависимость (4) учитывает ослабление ультразвуковой волны при ее прохождении в объекте контроля за счет расхождения, но не учитывает ослабление ультразвуковой волны за счет затухания. Была получена аналитическая зависимость, которая учитывает ослабление ультразвуковой волны и за счет расхождения, и за счет затухания:

$$k_{\text{ВРЧ}} = 20 \lg \left(\sqrt{\frac{x_k^3 (1 + 3/x_k)}{x^3 (1 + 3/x)}} \left(2\lambda x_d 10^{N_d/20} / S_a \right)^{\frac{x-x_k}{x_d}} \right), \quad (5)$$

где N_d — амплитуда донного сигнала на бездефектном участке объекта контроля.

Однако для учета затухания ультразвуковой волны необходимо измерение амплитуды донного сигнала на бездефектном участке объекта контроля. Следовательно, отстройка функции ВРЧ будет производиться для каждого конкретного контролируемого изделия. Применение аналитической зависимости (5) целесообразно при контроле партии однотипных объектов с приблизительно равным затуханием.

Для оценки достоверности предложенного метода отстройки функции ВРЧ при настройке условной чувствительности по БЦО в мере СО-2 были проведены экспериментальные исследования.

Для проведения эксперимента был изготовлен образец «ЭКСП.ОБР.» из стали 20, высотой 59 мм (в качестве заготовки для изготовления образца взята мера СО-2), в котором были выполнены три БЦО диаметром 6 мм на глубинах 27 мм (БЦО 3), 34 мм (БЦО 2) и 44 мм (БЦО 1), расстояние от торца образца до центра БЦО 3 — 79 мм.

Для проведения эксперимента применялся ультразвуковой импульсный дефектоскоп УД2-70, прямой совмещенный пьезоэлектрический преобразователь П111-2,5-к12-003, в качестве контактной жидкости

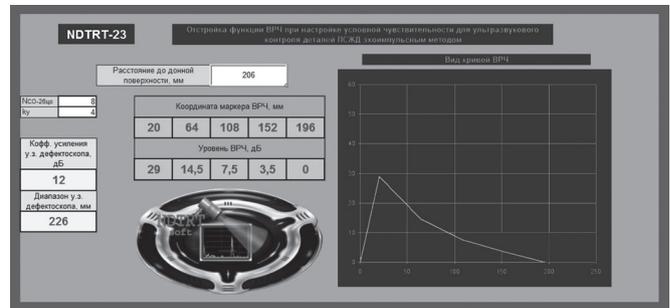


Рис. 2. Окно программного продукта NDTRT-23
Fig. 2. The window of the software product NDTRT-23

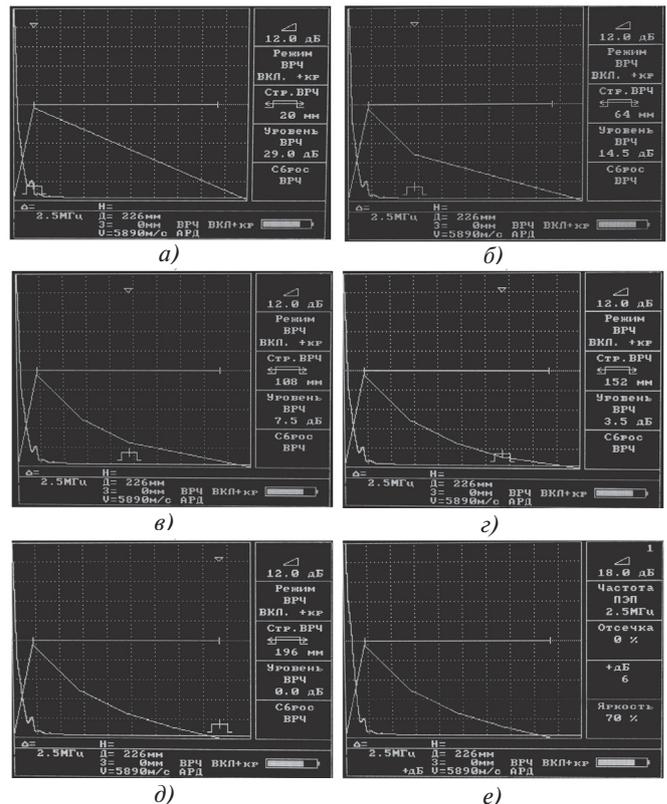


Рис. 3. Фото экранов ультразвукового дефектоскопа УД2-70 с отстройкой функции ВРЧ при координате маркера ВРЧ: а — 20 мм; б — 64 мм; в — 108 мм; г — 152 мм; д — 196 мм; е — режим контроля (чувствительность поиска, превышающая на 6 дБ чувствительность оценки)

Fig. 3. Screens photo of ultrasonic flaw detector UD2-70 with detuning the DAC function at the coordinate of the DAC marker: а — 20 mm; б — 64 mm; в — 108 mm; г — 152 mm; д — 196 mm; е — control mode (search sensitivity, exceeding by 6 dB sensitivity of the evaluation)

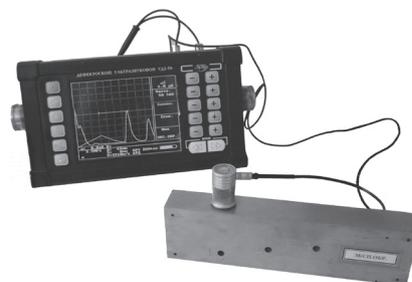


Рис. 4. Стенд для проведения эксперимента
Fig. 4. Stand for the experiment

применялся глицерин. Фото экспериментального стенда представлено на рис. 4.

В образце определялась амплитуда эхо-сигнала от БЦО, расположенных на разной глубине, при настройке условной чувствительности по БЦО 1, расположенному на глубине 44 мм, с добавлением дополнительного коэффициента усиления 7,5 дБ без функции ВРЧ и с отстроенной функцией ВРЧ. Расчет параметров функции ВРЧ осуществлялся с помощью

Таблица 1

Математический аппарат для отстройки функции ВРЧ

Table 1

Mathematical tool for detuning the DAC function

Коэффициент усиления ультразвукового дефектоскопа, дБ	
$N_{CO-26no} + k_y$	
Параметры отстройки функции ВРЧ	
Точка ВРЧ (координата маркера ВРЧ), мм	Уровень ВРЧ, дБ
$x_1 = 20$	$k_{ВРЧ1} = 20 \lg \left[\frac{(x_d - 10)^3 (1 + 3 / (x_d - 10))}{9200} \right]$
$x_2 = 0,25x_d + 12,5$	$k_{ВРЧ2} = 20 \lg \left[\frac{(x_d - 10)^3 (1 + 3 / (x_d - 10))}{(0,25x_d + 12,5)^3 (1 + 3 / (0,25x_d + 12,5))} \right]$
$x_3 = 0,5x_d + 5$	$k_{ВРЧ3} = 20 \lg \left[\frac{(x_d - 10)^3 (1 + 3 / (x_d - 10))}{(0,5x_d + 5)^3 (1 + 3 / (0,5x_d + 5))} \right]$
$x_4 = 0,75x_d - 2,5$	$k_{ВРЧ4} = 20 \lg \left[\frac{(x_d - 10)^3 (1 + 3 / (x_d - 10))}{(0,75x_d - 2,5)^3 (1 + 3 / (0,75x_d - 2,5))} \right]$
$x_5 = x_d - 10$	$k_{ВРЧ5} = 0$

Таблица 2

Параметры функции ВРЧ ультразвукового дефектоскопа для проведения эксперимента

Table 2

Parameters of the DAC function of the ultrasonic flaw detector for the experiment

Точка ВРЧ (координата маркера ВРЧ), x, мм				
20	34	48	61	75
Уровень ВРЧ, $k_{ВРЧ}$, дБ				
17	10	5,5	2,5	0

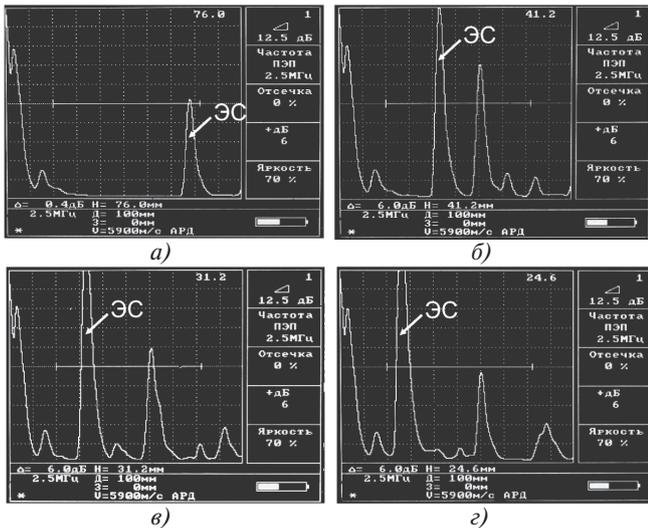


Рис. 5. Определение эхо-сигналов от БЦО в образце без функции ВРЧ: а — эхо-сигнал (ЭС) от БЦО 3 с торца; б — эхо-сигнал от БЦО 1; в — эхо-сигнал от БЦО 2; з — эхо-сигнал от БЦО 3
Fig. 5. Determination of echo signals from the SDH in the sample without the DAC function: а — echo signal (ЭС) from the SDH 3 from the end; б — echo signal from the SDH 1; в — echo signal from the SDH 2; з — echo signal from the SDH 3

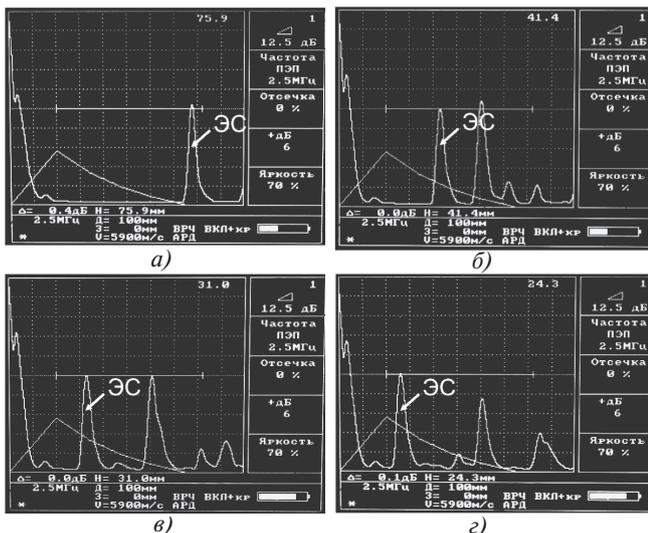


Рис. 6. Определение эхо-сигнала от БЦО в образце с отстроенной функцией ВРЧ: а — эхо-сигнал от БЦО 3 с торца; б — эхо-сигнал от БЦО 1; в — эхо-сигнал от БЦО 2; з — эхо-сигнал от БЦО 3
Fig. 6. Determination of echo signals from the SDH in the sample with detuned DAC function: а — echo signal (ЭС) from the SDH 3 from the end; б — echo signal from the SDH 1; в — echo signal from the SDH 2; з — echo signal from the SDH 3

аналитической зависимости (4), параметры функции ВРЧ представлены в табл. 2.

Фото экранов ультразвукового дефектоскопа при определении амплитуды эхо-сигнала от отражателей в экспериментальном образце без функции ВРЧ представлены на рис. 5. Фото экранов ультразвукового дефектоскопа при определении амплитуды эхо-сигнала от отражателей в экспериментальном образце с отстроенной функцией ВРЧ представлены на рис. 6.

Как видно из рис. 5, при отключенной функции ВРЧ амплитуда эхо-сигналов от равновеликих БЦО в экспериментальном образце, расположенных на разной глубине, различна.

При отстроенной функции ВРЧ (рис. 6), амплитуда эхо-сигналов от равновеликих БЦО в экспериментальном образце одинаковая (в пределах погрешности измерения), что подтверждает достоверность предложенного метода.

Выводы. 1. Наибольшее распространение при выявлении внутренних дефектов в деталях ПСЖД получил ультразвуковой эхо-импульсный метод.

2. Отсутствие отстройки функции ВРЧ при настройке условной чувствительности по БЦО в мере СО-2 УЗК деталей ПСЖД приведет к тому, что амплитуда эхо-сигнала от равновеликих отражателей (дефектов) во всем диапазоне контроля будет разной, и их оценка будет недостоверной.

3. Предложен математический аппарат для отстройки функции ВРЧ при настройке условной чувствительности по БЦО в мере СО-2 УЗК деталей ПСЖД по пяти точкам.

4. Для автоматизации расчетов параметров ВРЧ на основе полученного математического аппарата был разработан программный продукт NDTRT-23.

5. Получена аналитическая зависимость для отстройки функции ВРЧ, позволяющая выбрать количество точек ВРЧ.

6. Получена аналитическая зависимость для отстройки функции ВРЧ, позволяющая учесть затухание ультразвуковой волны в объекте контроля.

7. Проведенные экспериментальные исследования показали высокую достоверность предложенного метода отстройки функции ВРЧ при настройке условной чувствительности по БЦО в мере СО-2 УЗК деталей ПСЖД.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Клиндух В.Ф. Неразрушающие методы контроля и диагностика узлов и деталей подвижного состава: учеб. пособие. Хабаровск: ДВГУПС, 2005. 109 с.

2. ГОСТ 23479–79. Контроль неразрушающий. Методы оптического вида. Общие требования. М.: Изд-во стандартов, 1985. 12 с.

3. ГОСТ 18442–80. Контроль неразрушающий. Капиллярные методы. Общие требования. М.: Изд-во стандартов, 1989. 24 с.

4. Ергучев Л.А. Магнитные методы и средства неразрушающего контроля деталей железнодорожного подвижного состава. Гомель: УО «БелГУТ», 2005. 90 с.

5. ГОСТ Р 56512–2015. Контроль неразрушающий. Магнитно-порошковый метод. Типовые технологические процессы. М.: Стандартинформ, 2015. 116 с.

6. ГОСТ Р ИСО 15549–2009. Контроль неразрушающий. Контроль вихретоковый. Основные положения. М.: Стандартинформ, 2011. 11 с.

7. ГОСТ 20426–82. Контроль неразрушающий. Методы дефектоскопии радиационные. Область применения. М.: Изд-во стандартов, 1982. 24 с.

8. ГОСТ 20415–82. Контроль неразрушающий. Методы акустические. Общие положения. М.: Изд-во стандартов, 1982. 14 с.

9. Киреев А.Н. К вопросам об эталонировании чувствительности ультразвукового импульсного эхо-метода при контроле элементов подвижного состава железных дорог // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. 2007. № 8. Ч. 2. С. 104–107.

10. ГОСТ Р 55724–2013. Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Методы ультразвуковые. М.: Стандартинформ, 2014. 24 с.

11. Ермолов И.Н. Теория и практика ультразвукового контроля. М.: Машиностроение, 1981. 240 с.

12. Киреев А.Н. Дефектометрия при ультразвуковом диагностировании элементов и систем подвижного состава железных дорог. Луганск: Ноулидж, 2016. 147 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

КИРЕЕВ Андрей Николаевич,

канд. техн. наук, начальник центральной заводской лаборатории ПАО «Лугансктепловоз»; доцент кафедры железнодорожного транспорта ГОУ ВПО «Луганский национальный университет им. Владимира Даля»

ВИТРЕНКО Владимир Алексеевич,

д-р техн. наук, профессор, проректор по науке ГОУ ВПО «Луганский национальный университет им. Владимира Даля»

Статья поступила в редакцию 31.08.2017 г., актуализирована 03.11.2017 г., принята к публикации 11.11.2017 г.

Application of DAC function at the setting of conditional sensitivity of ultrasonic control of rolling stock parts with echo-pulse method

A. N. KIREEV^{1,2}, V. A. VITRENKO²

¹ Public Joint Stock Company "Luganskteplovoz", Lugansk, 91005, Ukraine

² State Educational Institution of Higher Professional Education "Lugansk National University n.a. Vladimir Dal", Lugansk, 91034, Ukraine

Abstract. The aim of the article is to develop a method for tuning out the distance amplitude correction curve (DAC) when adjusting the conditional sensitivity of a lateral cylindrical reflector with a diameter of 6 mm, located in the CO-2 measure at a depth of 44 mm, ultrasonic monitoring of railway rolling stock by an echo-pulse method.

The method of adjusting the conditional sensitivity for the CO-2 measure, which consists in detuning the zero level along the lateral cylindrical reflector, fixing the value of the amplitude and adding an additional gain factor, established by the regulatory documentation for control, obtained a wide circulation in various methods of

ultrasonic inspection of the rolling stock parts both in manufacturing and in operation.

The advantage of applying the method of conditional sensitivity is that one CO 2 measure with fixed verified metrological characteristics is enough to control a fairly wide range of rolling stock parts.

The disadvantage of this method is that the sensitivity over the entire control range will be the same and, accordingly, will lead to the fact that at the beginning of the monitoring range the small-size discontinuities will be classified as unacceptable, while the discontinuities of the same size at the end of the control range will be classified as allowable.

A mathematical tool is proposed for tuning out the DAC when adjusting the conditional sensitivity along the lateral cylindrical reflector to the CO-2 measure of ultrasonic inspection of parts of the railroad rolling stock.

To automate the calculations of the DAC parameters of an ultrasonic flaw detector, the software product NDRTR-23 was developed on the basis of the obtained mathematical tool.

Keywords: railway rolling stock; unbrakable control; ultrasonic testing; echo-pulse method; conditional sensitivity; distance amplitude correction

DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2017-76-6-377-382>

REFERENCES

1. Klindukh V.F. *Nerazrushayushchie metody kontrolya i diagnostika uzlov i detalei podvizhnogo sostava. Ucheb. posobie* [Non-destructive inspection methods and diagnostics of units and parts of rolling stock. A textbook]. Khabarovsk, DVGUPS Publ., 2005, 109 p.
2. GOST 23479–79. *Non-destructive testing. Methods of optical type. General requirements*. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1985, 12 p. (in Russ.).
3. GOST 18442–80. *Non-destructive testing. Capillary methods. General requirements*. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1989, 24 p. (in Russ.).
4. Erguchev L.A. *Magnitnye metody i sredstva nerazrushayushchego kontrolya detalei zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava* [Magnetic methods and means of nondestructive testing of parts of railway rolling stock]. Gomel', UO BelGUT Publ., 2005, 90 p.
5. GOST R 56512–2015. *Non-destructive testing. Magnetic particle method. Typical technological processes*. Moscow, Standartinform Publ., 2015, 116 p. (in Russ.).
6. GOST R ISO 15549–2009. *Non-destructive testing. Eddy current control. General provisions*. Moscow, Standartinform Publ., 2011, 11 p. (in Russ.).

7. GOST 20426–82. *Non-destructive testing. Flaw detection methods. Application area*. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1982, 24 p. (in Russ.).

8. GOST 20415–82. *Non-destructive testing. Acoustic methods. General provisions*. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1982, 14 p. (in Russ.).

9. Kireev A.N. *K voprosam ob etalonirovanii chuvstvitel'nosti ul'trazvukovogo impul'snogo ekho-metoda pri kontrole elementov podvizhnogo sostava zheleznykh dorog* [To questions about the calibration of the sensitivity of the ultrasonic pulse echo-method in the control of railway rolling stock elements]. Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля [Bulletin of the Volodymyr Dahl East-Ukrainian National University]. Lugansk, 2007, no. 8, Part 2, pp. 104–107.

10. GOST R 55724–2013. *Non-destructive testing. Welded joints. Ultrasonic methods*. Moscow, Standartinform Publ., 2014, 24 p. (in Russ.).

11. Ermolov I.N. *Teoriya i praktika ul'trazvukovogo kontrolya* [Theory and practice of ultrasonic testing]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1981, 240 p.

12. Kireev A.N. *Defektometriya pri ul'trazvukovom diagnostirovanii elementov i sistem podvizhnogo sostava zheleznykh dorog* [Defectometry in the ultrasonic diagnosis of railroad rolling stock elements and systems]. Lugansk, Knowledge Publ., 2016, 147 p.

ABOUT THE AUTHORS

Andrey N. KIREEV,

Cand. Sci. (Eng.), Head of Central Factory Laboratory of PJSC "Luganskteplovoz"; Associate Professor of the Department of Railway Transport of GOU VPO "Lugansk National University n.a. Vladimir Dal"

Vladimir A. VITRENKO,

Dr. Sci. (Eng.), Professor, Prorector for Science Issues, GOU VPO "Lugansk National University n.a. Vladimir Dal"

Received 31.08.2017

Revised 03.11.2017

Accepted 11.11.2017

E-mail: lifter_23@mail.ru (A. N. Kireev)

«Вестник ВНИИЖТ» ГДЕ подписаться?

Подписку на научно-технический журнал «Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта» («Вестник ВНИИЖТ») можно оформить в любом почтовом отделении связи по Объединенному каталогу «Пресса России», том 1 или агентствах по распространению печатных изданий «Урал-Пресс», АРЗИ.

Подписной индекс журнала — 70116.

Также можно оформить подписку (годовую и полугодовую) на договорных условиях в редакции. Адрес редакции журнала: 129626, Москва, 3-я Мытищинская ул., д. 10, тел.: +7 (499) 260-43-19, факс: +7 (499) 262-00-70, E-mail: journal@vniizht.ru.

Подписчики стран ближнего и дальнего зарубежья могут подписаться на журнал «Вестник ВНИИЖТ» по каталогам подписного агентства АО «МК-Периодика» (www.periodicals.ru).

Содержание журнала «Вестник ВНИИЖТ» за 2017 год

№ 1

А. Я. Коган, А. В. Савин. Методика определения расчетного срока службы безбалластного пути	3–9
А. М. Бржезовский. Методы экспериментальной оценки боковых сил (обзор)	10–18
И. В. Светозарова, А. И. Борц, Н. И. Питеев, А. В. Сухов, М. В. Экслер. Оценка эффективности применения антикоррозионного покрытия «Левикор» (Термишин) для деталей рельсовых скреплений	19–24
А. Т. Осьминин, Е. А. Сотников, М. А. Осьминин. Методические основы организации ремонтно-путевых работ при длительных закрытиях перегонов с их предоставлением по технологии «в створе»	25–30
Ю. М. Лазаренко, Д. Н. Аршинцев, А. В. Заверталоук, В. Н. Бондарев, Е. А. Митина, Е. В. Капустина. Контрейлерный габарит погрузки, проблемы и процесс внедрения	31–37
Е. А. Макарова, К. В. Суржин, С. Б. Елизаров, С. С. Морозов. Моделирование тенденций развития спроса на пассажирские перевозки в дальнем сообщении с учетом особенностей его формирования по регионам Российской Федерации	38–44
В. О. Певзнер, Б. Н. Зензинов, К. В. Клементьев. О необходимости дополнения норматива отвода ширины колеи	45–50
В. И. Грек, Г. И. Михайлов, В. И. Драгун. Эволюция технических требований на колесные пары для скоростного подвижного состава	51–56
В. С. Коссов, А. А. Лунин, Ю. А. Панин, А. В. Трифонов, И. Е. Ильин. Лубрикация рельсов тяговым локомотивом в составе поезда	57–60
В. М. Бельков. Моделирование упруговязкопластических свойств земляного полотна. Постановка задачи 2	61–64

№ 2

А. Б. Косарев, Б. И. Косарев. Повышение энергетической эффективности тягового электроснабжения переменного тока с силовыми многофункциональными вольтодобавочными трансформаторами	67–73
Д. А. Мачерет, Н. А. Валеев. Долгосрочная оптимизация эксплуатационных затрат: анализ опыта железных дорог США	74–84
О. Г. Краснов, Н. Н. Астанин. Влияние ударных сил на прочностные характеристики железнодорожного земляного полотна	85–93
С. В. Карасёв, Д. А. Сивицкий. Обоснование рациональных конструктивных и технологических параметров вариантов организации многогруппной сортировки на основе имитационного моделирования	94–100

И. В. Сиротенко, Г. В. Гогричиани. Проблемы повреждаемости силовых и теплонапряженных узлов тепловозных дизелей. Аналитический обзор	101–109
В. Г. Каргин, С. Н. Науменко, В. В. Буров, И. Н. Чувашов, С. Л. Самошкин. Выбор кинематической схемы и определение основных характеристик генераторно-приводной установки от оси колесной пары трехэлементной грузовой тележки	110–116
И. А. Жаров, С. Б. Курцев, А. А. Макас. Выбор оптимальной тормозной силы на колесной паре с учетом неидеальности противоюзных устройств	117–122
М. А. Хомякова. Интеллектуализация управленческих функций дежурного по станции	123–128

№ 3

А. Е. Миронов, С. М. Захаров, Г. С. Фокс-Рабинович, М. М. Железнов. Анализ состояния производства и качества изготовления бронзо-баббитовых подшипников коленчатого вала тепловозных дизелей	131–137
А. Я. Коган. Оценка интенсивности бокового и вертикального износов рельсов под проходящими поездами	138–145
В. Л. Зобнин, А. Т. Осьминин, Е. А. Сотников, М. А. Осьминин. Технологический процесс работы центра управления перевозками восточного полигона (ЦУП ВП)	146–152
Д. П. Марков, И. Н. Воронин, Н. П. Шипулин, В. И. Маршев, А. В. Сухов, В. В. Гузанов, А. В. Куминов. Стояночные тормозные башмаки. Эксплуатационные испытания	153–158
А. Н. Киреев. Визуализация изображений дефектов при ручном ультразвуковом контроле деталей и узлов подвижного состава железных дорог	159–164
С. В. Петров, Г. В. Райков, А. В. Васильев, С. Е. Гончаров, А. Н. Кемеж. Определение возможности увеличения межремонтных нормативов вагонов-хопперов (цементовозов)	165–173
В. Я. Берент. Перспективность применения металлоуглеродных контактных вставок для токосъема на железных дорогах России	174–180
Д. Н. Хомченко. Влияние новой конструкции щеткодержателей на эксплуатационный ресурс щеток тяговых электродвигателей электровозов	181–186
В. М. Бельков. Моделирование вибродемпфирующих свойств упруговязкопластических слоев земляного полотна. Постановка задачи 1	187–192

№ 4

- А. В. Савин, В. В. Третьяков, В. Н. Каплин, А. В. Петров, К. И. Третьяков.** Результаты испытаний безбалластных конструкций пути на Экспериментальном кольце АО «ВНИИЖТ» 195–201
- А. В. Саидова, А. М. Орлова.** Уточнение параметров модели износа Арчарда для вычисления износа колес грузовых вагонов с осевой нагрузкой 25 тс 202–208
- Г. А. Грановская, Р. В. Мурзин, О. А. Суслов.** Оценка эффективности эксплуатации грузовых вагонов с улучшенными техническими характеристиками для ОАО «РЖД» на основе проведения испытаний 209–216
- Ю. М. Лазаренко, Д. Н. Аршинцев, И. С. Ермишкин, Е. В. Капускина, Е. А. Митина.** Двухэтажные пассажирские вагоны максимально возможного габарита подвижного состава T_6 217–220
- Д. А. Мачерет, А. В. Кудрявцева.** Экономическая методология управления инновационно-ориентированным развитием железнодорожного транспорта 221–230
- В. С. Коссов, Э. С. Оганьян, М. Н. Овечников, Г. М. Волохов, А. Л. Протопопов, М. В. Тимаков.** Исследование резонансных явлений в колесной паре локомотива на основе расчета собственных частот и форм их колебаний на конечно-элементных моделях 231–237
- К. В. Шапетько.** Исследования накопления деформаций железнодорожного пути на участке испытаний вагонов с осевой нагрузкой 27 тс 238–242
- Е. А. Сидорова.** Исследование влияния геометрических параметров железнодорожного пути в плане, представленных в виде геометрических моделей, на показатели динамического взаимодействия пути и подвижного состава 243–248
- В. О. Певзнер, И. С. Смелянская.** Корифей путейской науки (к 100-летию со дня рождения доктора технических наук О. П. Ершкова) 249–252

№ 5

- Е. А. Сотников, К. П. Шенфельд.** Стратегическое прогнозирование состояния сложной производственной системы — железнодорожный транспорт 255–265
- Л. А. Герман, А. Ю. Попов, А. В. Саморуков, Д. В. Ишкин, Д. В. Якунин, К. С. Субханвердиев.** Новый алгоритм автоматизации электроснабжения тяговой сети переменного тока с постом секционирования на выключателях 266–272
- С. С. Пастухов, К. В. Стельмашенко.** Исследование влияния параметров сервисного обслуживания на степень удовлетворенности пассажиров на базе применения аппарата нейронных сетей 273–280
- Н. К. Капустян, Г. Н. Антоновская, И. М. Басакина.** Опыт использования сейсмической регистрации вибраций от поездов для оценки состояния конструкций зданий и сооружений 281–287

- И. А. Жаров, А. А. Алексеев.** Методика оценки работоспособности противоюзных устройств 288–293
- В. М. Варенцов, А. И. Бурьяноватый, М. А. Иванов.** Учет энергии на подстанциях переменного тока при протекании по контактной сети транзитных токов 294–300
- М. Ю. Носков, М. М. Гиншпарт, Н. С. Нестеров.** Результаты испытаний по показателю внешнего шума электровозов на стоянке 301–305
- А. А. Голубин, С. Н. Науменко.** Разработка алгоритма по определению коэффициента теплопередачи кузова изотермического транспортного средства на основе результатов анализа происходящих в нем теплообменных процессов 306–311
- В. М. Бельков.** Моделирование вибродемпфирующих свойств упруговязкопластических слоев земляного полотна. Постановка задачи 2 312–320

№ 6

- А. В. Комиссаров, Е. А. Зубкова, Е. Г. Крохалева, М. А. Евгеньева, Н. Б. Караванова, А. А. Веселова, Р. Ю. Захаров, Ю. А. Иоффе, М. А. Скворцов.** Новая информационная технология централизованного управления пассажирским вагонным парком 323–328
- А. Б. Косарев, Б. И. Косарев.** Методика расчета токораспределения в тяговых сетях переменного тока 329–335
- А. Е. Миронов, И. С. Гершман, Е. И. Гершман, С. М. Захаров, П. А. Подрабинник.** Алюминиевые литейные антифрикционные сплавы с повышенной способностью к приспособляемости поверхностей трения 336–340
- О. Ф. Мирошниченко, А. Е. Огинская.** Развитие системы управленческого учета затрат вокзального комплекса железнодорожного транспорта 341–347
- А. Д. Петрушин, О. Л. Игнатьев, Д. В. Глазунов.** Устройство для смазывания открытых узлов трения 348–353
- Ю. С. Ромен, О. А. Суслов, А. А. Балаяева.** Определение сил взаимодействия в системе колесо — рельс на основании измерения напряжений в шейке рельса 354–361
- П. И. Дыдышко, С. В. Ольхина.** Основные положения проектирования земляного полотна высокоскоростных железнодорожных линий 362–370
- М. Ю. Хвостик, М. А. Стародубцева.** Исследования сконструированных подрельсовых опор 371–376
- А. Н. Киреев, В. А. Витренко.** Применение функции временной регуляции чувствительности при настройке условной чувствительности ультразвукового контроля деталей подвижного состава железных дорог эхо-импульсным методом 377–382
- Содержание журнала «Вестник ВНИИЖТ» за 2017 год** 383–384