

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. Липидус (д-р экон. наук, проф.,
ОАО «РЖД», Москва, Россия),
К. Эсвельд (проф. железнодорожной
инженерии, Технологический университет
Делфта, Зальтбоммель, 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. Благоднарова 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. Левин (д-р техн. наук, проф., МИИТ,
Москва, Россия),
В. И. Сенько (д-р техн. наук, проф.,
Белорусский государственный университет
транспорта, Гомель, Республика Беларусь),
А. С. 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.),
М. М. Железнов (канд. техн. наук, доцент),
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. Гогричани (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, 4/2017
DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2017-76-4>

СОДЕРЖАНИЕ

**Результаты испытаний безбалластных конструкций пути
на Экспериментальном кольце АО «ВНИИЖТ»**

А. В. Савин, В. В. Третьяков, В. Н. Каплин, А. В. Петров,
К. И. Третьяков 195–201

**Уточнение параметров модели износа Арчарда
для вычисления износа колес грузовых вагонов
с осевой нагрузкой 25 тс**

А. В. Саидова, А. М. Орлова 202–208

**Оценка эффективности эксплуатации грузовых вагонов
с улучшенными техническими характеристиками для
ОАО «РЖД» на основе проведения испытаний**

Г. А. Грановская, Р. В. Мурзин, О. А. Сулов 209–216

**Двухэтажные пассажирские вагоны максимально
возможного габарита подвижного состава Т₆**

Ю. М. Лазаренко, Д. Н. Аршинцев, И. С. Ермишкин,
Е. В. Капускина, Е. А. Митина 217–220

**Экономическая методология управления
инновационно-ориентированным развитием
железнодорожного транспорта**

Д. А. Мачерет, А. В. Кудрявцева 221–230

**Исследование резонансных явлений в колесной паре
локомотива на основе расчета собственных частот и
форм их колебаний на конечно-элементных моделях**

В. С. Коссов, Э. С. Оганьян, М. Н. Овечников, Г. М. Волохов,
А. Л. Протопопов, М. В. Тимаков 231–237

**Исследования накопления деформаций
железнодорожного пути на участке испытаний вагонов
с осевой нагрузкой 27 тс**

К. В. Шапетько 238–242

**Исследование влияния геометрических параметров
железнодорожного пути в плане, представленных в виде
геометрических моделей, на показатели динамического
взаимодействия пути и подвижного состава**

Е. А. Сидорова 243–248

**Корифей путейской науки (к 100-летию со дня рождения
доктора технических наук О. П. Ершкова)**

В. О. Певзнер, И. С. Смелянская 249–252

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.
Подписано к печати 22.08.2017.
Дата выхода в свет 29.08.2017.
Формат бумаги 60×90 1/8.
Офсетная печать. Усл. печ. л. 7,5.
Тираж 600 экз. Заказ 973.
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, 4/2017

DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2017-76-4>

Contents

Results of tests of ballastless track designs on the Test Loop of JSC "VNIIZhT"

by A. V. Savin, V. V. Tret'yakov, V. N. Kaplin, A. V. Petrov, K. I. Tret'yakov 195–201

Specification of the Archard's wear model parameters for calculating wheels wear of freight cars with an axial load of 25 tons

by A. V. Saidova, A. M. Orlova 202–208

Performance evaluation of operating freight cars with improved technical characteristics for JSC "Russian Railways" on the testing basis

by G. A. Granovskaya, R. V. Murzin, O. A. Suslov 209–216

Double-deck passenger cars of maximum possible dimension standard for the rolling stock of type T₆

by Yu. M. Lazarenko, D. N. Arshintsev, I. S. Ermishkin, E. V. Kapuskina, E. A. Mitina 217–220

Economic management methodology of rail transport innovation-oriented development

by D. A. Macheret, A. V. Kudryavtseva 221–230

Investigation of resonant phenomena in a locomotive wheelset on the basis of calculation of natural frequencies and modes of their oscillations on finite element models

by V. S. Kossov, E. S. Ogan'yan, M. N. Ovechnikov, G. M. Volokhov, A. L. Protopopov, M. V. Timakov 231–237

Research of the accumulation of railway track deformations in the section of testing of cars with an axial load of 27 tons

by K. V. Shapet'ko 238–242

Research of geometry effects on the railway track in the alignment, represented in the form of geometric models, on the indicators of the dynamic interaction of the track and rolling stock

by E. A. Sidorova 243–248

Coryphaeus of the railway track science (on the occasion to the 100th anniversary of the birth of Doctor of Technical Sciences O. P. Ershkov)

by V. O. Pevzner, I. S. Smelyanskaya 249–252

Editorial Board:

Alexander B. Kosarev
(Dr. Sci. (Eng.), Prof.),
Sergey V. Fedorov
(Dr. Sci. (Eng.), Prof.),
Maksim M. Zhelezov
(Cand. Sci. (Eng.)),
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. Ivnitsky
(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 — Yu. S. Romen, V. M. Bogdanov, V. O. Pevzner, B. E. Glyuzberg

Editor-in-Chief: Joan E. Bedova
E-mail: journal@vniizht.ru
Layout & Design: OOO "IPP "KUNA".
Passed for printing 22.08.2017
Format 60×90 1/8. Circulation 600 copies

Editorial office: 10, 3rd Mytischinskaya,
129626 Moscow, Russian Federation
Tel.: +7 (499) 260 4319
Print: "Printing-office Paradiz LTD".
info@paradiz.ru

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 Xuwei,

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

Alexander S. Nazarov,

Cand. Sci. (Eng.), 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

Результаты испытаний безбалластных конструкций пути на Экспериментальном кольце АО «ВНИИЖТ»

А. В. САВИН¹, В. В. ТРЕТЬЯКОВ¹, В. Н. КАПЛИН¹, А. В. ПЕТРОВ¹, К. И. ТРЕТЬЯКОВ²

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

² ООО «Фосло Бан-Унд Феркерстехник», Москва, 123610, Россия

Аннотация. На Экспериментальном кольце АО «ВНИИЖТ» в декабре 2016 г. были завершены сравнительные испытания четырех типов безбалластных конструкций пути — LVT (РЖДстрой, Россия), FFB (MaxBögl, Германия), NBT (Alstom, Франция), EBS (Tipes, Польша). Пропущенный тоннаж по опытному участку из четырех конструкций составил 600 млн т брутто. Испытания позволили подтвердить работоспособность безбалластного пути для условий Российских железных дорог, выявить особенности текущего содержания каждой из конструкций и дать рекомендации по их совершенствованию. В статье анализируется интенсивность осадки безбалластного пути и переходных участков под поездной нагрузкой.

Проведенные на опытном полигоне АО «ВНИИЖТ» испытания показали, что безбалластный путь может применяться не только для скоростного и высокоскоростного движения, но и для совмещенного и грузового движения. Существенные риски состоят в том, что безбалластный путь более требователен к соблюдению технологии строительства, составу бетонных смесей и качеству подготовки основания.

Ключевые слова: безбалластный путь; осадка; просадка; испытания; переходные участки; текущее содержание

Введение. Решение проблемы освоения растущего объема перевозок грузов и пассажиров при отсутствии резервов провозной и пропускной способности на ряде участков и целых направлений обуславливает необходимость поиска новых конструкций пути, обеспечивающих повышение веса, длины и скорости поездов, минимизации времени на все виды путевых работ.

В современных условиях эксплуатации при повышении осевых нагрузок, росте веса и длины поездов одной из основных проблем становится накопление остаточных деформаций пути. Применение безбалластного пути может стать одним из вариантов повышения стабильности пути.

В мире имеется опыт эксплуатации высокоскоростного движения на балластном и безбалластном верхнем строении пути (БВСП) [1, 2], однако процентное соотношение вновь возводимых линий существенно смещается в сторону безбалластного пути [3, 4, 5, 6]. Вопрос о целесообразности широкого приме-

нения безбалластного пути для условий Российских железных дорог, в том числе для грузового движения, остается открытым.

Испытания безбалластного пути Rheda (RailOne, Германия) на Октябрьской железной дороге [7] и четырех типов БВСП на Экспериментальном кольце АО «ВНИИЖТ» стали одним из основных этапов исследования возможности применения такой конструкции для условий Российских железных дорог. Следующим этапом должны быть испытания на высокоскоростном полигоне, которым, как планируется, станет первая очередь высокоскоростной линии Москва — Казань.

Технология сооружения опытных конструкций. Строительство опытного участка безбалластных конструкций пути производилось в период с августа по третью декаду ноября 2014 г. Обкатка пути с целью стабилизации переходных участков на щебеночном балласте выполнялась до начала декабря 2014 г. В эксплуатацию опытный участок был сдан 3 декабря 2014 г. [8].

Протяженность каждой из четырех безбалластных конструкций составляла 75 м (без переходных участков), суммарная протяженность всего опытного участка — 500 м.

Для всех четырех конструкций на всем фронте работ 500 м земляное полотно сооружалось по одной технологии, одним и тем же подрядчиком, работы проводились на существующем участке второго кольцевого пути. После выемки естественного грунта было уложено два специально подготовленных слоя шириной 7 м с уклоном поверху в поперечном сечении — 0,04 [9].

Первый слой толщиной 50 см представляет собой укрепленный грунт, полученный путем перемещения естественного грунта с полифилизаторами. Среднее значение модуля деформации по второй ветви нагружения с учетом повторной обработки грунта составляет 146 МПа. Проектное значение модуля деформации укрепленного грунта должно быть не менее

■ E-mail: savin.aleksandr@vniizht.ru (А. В. Савин)

80 МПа. Полученные данные статических и динамических испытаний модуля деформации укрепленного полифилизаторами грунта хорошо коррелируют между собой.

Второй слой толщиной 70 см — это щебеночно-гравийно-песчаная смесь (ЩПГС) ТУ 5711-284-01124323-2012. Среднее значение модуля деформации по второй ветви нагружения равно 181,7 МПа, при проектном значении не менее 120 МПа [9].

Верхнее строение пути, а именно сами безбалластные конструкции [8], каждый из производителей соорудил собственными силами.

Условия проведения испытаний. В период с 3 декабря 2014 г. по 20 октября 2016 г. испытания четырех типов безбалластного пути конструкций (Tines, Alstom, MaxBögl, LVT) проводились в прямом участке второго кольцевого пути Экспериментального кольца АО «ВНИИЖТ». Пропущенный тоннаж по опытным участкам составил 606,7 млн т брутто. Нарботка тоннажа обеспечивалась составом, сформированным из электровоза ВЛ80 и 85 полувагонов с нагрузкой 23,5 т на ось. Скорость движения — 70 км/ч. Ежесуточная наработка тоннажа составляла 1,0... 1,2 млн т брутто.

Результаты испытаний. После пропуска установленного методикой тоннажа по опытным участкам конструкций Tines, Alstom, MaxBögl, LVT получены данные по напряжениям в рельсах, ускорениям в элементах верхнего строения пути, по состоянию рельсовых скреплений [10, 11], по геометрии рельсовой колеи и состоянию бетонных слоев [2], а также по деформативности бетонных несущих слоев и пере-

ходных участков. В статье подробнее остановимся на деформативности.

Геодезическая съемка осадки пути. Уровень головки рельса по правой и левой нити представлен на рис. 1 и 2. Средние значения осадок и среднеквадратическое отклонение (СКО) на участках безбалластных конструкций при различном тоннаже (через каждые 100 млн т брутто) представлены в таблице. Общая осадка бетонной части (без переходных участков) после пропуска 600 млн т брутто относительно начального положения имеет следующие значения:

– на участке Tines средняя осадка по правой нити составила 9,44 мм, по левой — 6,88 мм, СКО осадки правой нити — 2,95, левой — 3,52. Из всех конструкций это наименьшие значения осадки и наиболее равномерное распределение по длине. Осадка происходила достаточно равномерно по времени;

– на участке Alstom средняя осадка по правой нити составила 15,86 мм, по левой — 19,46 мм, СКО осадки правой нити — 4,47, левой — 4,09. Это наибольшие значения осадки из всех конструкций. Распределение осадки по длине равномерное. По времени наибольшая осадка произошла в период наработки от 200 до 300 млн т брутто;

– на участке MaxBögl средняя осадка по правой нити составила 13,85 мм, по левой — 14,31 мм, СКО осадки правой нити — 3,76, левой — 2,66. Из всех конструкций это наиболее неравномерное распределение осадки по длине плиты. Осадка существенно изменяется на последних 30 м конструкции по ходу движения поезда. По времени наибольшая осадка произошла в период наработки от 200 до 300 млн т брутто;

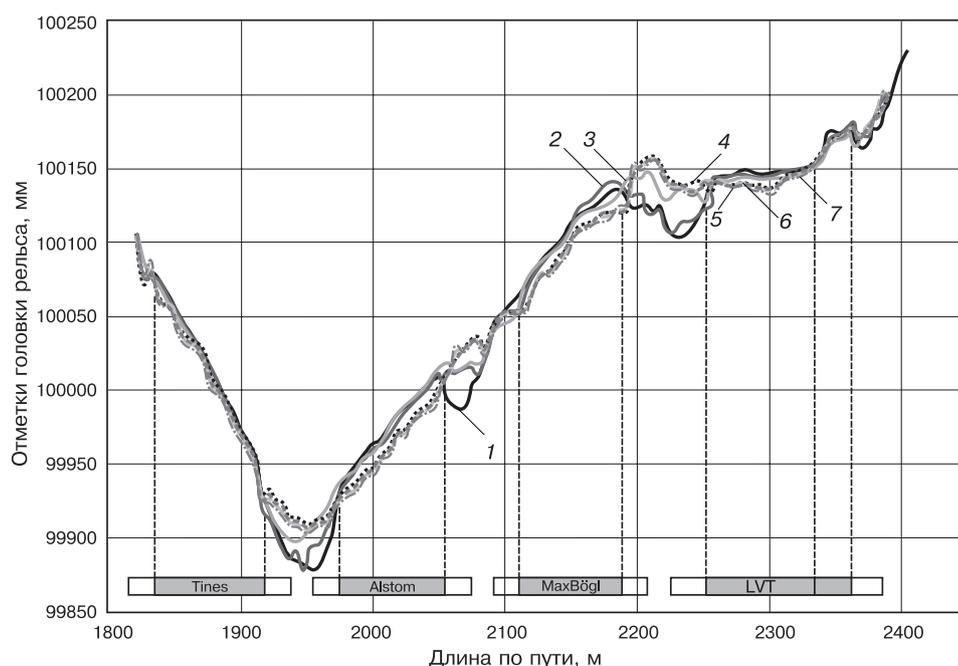


Рис. 1. Уровень головки рельса по правой нити:

- 1 — 01.12.2014 г.;
- 2 — 18.03.2015 г.;
- 3 — 08.07.2015 г.;
- 4 — 09.12.2015 г.;
- 5 — 17.03.2016 г.;
- 6 — 05.07.2016 г.;
- 7 — 19.10.2016 г.

Fig. 1. Level of rail head on right thread:

- 1 — 01.12.2014;
- 2 — 18.03.2015;
- 3 — 08.07.2015;
- 4 — 09.12.2015;
- 5 — 17.03.2016;
- 6 — 05.07.2016;
- 7 — 19.10.2016

Средние значения осадок и СКО на участках безбалластных конструкций при различном тоннаже
 Mean values of sediments and Mean-Square Deviation on sections of ballastless structures with different tonnage

Пропущенный тоннаж, млн т брутто			Tines			Alstom			MaxBögl			LVT		
			переход	плита	переход									
0–100	осадка	пр.	1,33	2,13	5,00	-13,0	1,93	-19,75	5,5	-1,23	-2,5	1,2	1,37	-6,0
		лев.	4,00	1,91	13,20	-6,25	2,71	-13,0	10,75	-0,85	1,5	5,8	1,89	-1,92
	СКО	пр.	1,15	1,50	2,24	2,16	2,37	1,59	4,65	4,22	6,4	9,36	1,21	1,77
		лев.	1,00	1,73	2,59	1,26	1,59	3,74	2,87	5,27	9,33	5,5	1,56	2,31
100–200	осадка	пр.	-0,33	2,47	-8,8	-14,5	-2,50	-3,25	-0,25	2,69	-18,75	-15,8	1,87	0,46
		лев.	1,33	2,63	-1,6	-9,75	-1,14	-2,00	2,5	4,54	-13,5	-10,8	0,79	0,54
	СКО	пр.	1,53	0,97	3,7	1,29	2,93	2,63	2,63	6,12	8,5	6,38	0,91	4,24
		лев.	0,58	0,67	3,58	2,75	3,37	4,08	3,7	5,11	9,33	2,77	1,40	4,71
200–300	осадка	пр.	4,33	-0,59	-13,8	3,5	11,79	-6,75	-2,25	10,0	-8,25	-3,80	0,82	-4,38
		лев.	6,67	-2,03	-16,8	5,75	12,79	-2,5	0,50	8,31	-8,50	-2,8	1,26	-0,58
	СКО	пр.	12,86	5,79	8,11	5,26	2,67	11,53	4,65	5,37	4,92	7,6	3,7	3,06
		лев.	7,02	5,82	5,81	9,32	3,31	7,33	5,74	4,01	6,24	5,97	3,36	2,42
300–400	осадка	пр.	-3,67	2,00	2,60	2,0	1,71	-0,5	0,25	0,46	-0,25	0,80	0,53	0,19
		лев.	-3,33	1,5	3,6	2,75	1,82	-0,75	0,75	0,15	0,00	-1,60	0,79	0,62
	СКО	пр.	0,58	2,13	0,55	0,82	0,73	1,91	0,96	1,2	2,5	3,11	1,22	1,44
		лев.	0,58	3,33	1,34	0,5	0,67	1,5	1,26	1,41	1,41	0,55	0,92	0,90
400–500	осадка	пр.	-2,33	1,44	2,20	1,50	1,57	-0,25	0,75	0,77	0,50	0,40	0,58	0,77
		лев.	-1,0	1,06	1,60	2,0	1,68	0,0	1,00	0,69	0,50	-1,00	0,84	0,92
	СКО	пр.	0,58	0,51	0,84	0,58	0,65	1,50	1,26	1,36	1,73	1,82	0,51	0,82
		лев.	1,73	1,77	0,55	0,82	0,46	1,15	1,41	1,11	1,73	0,71	0,83	0,80
500–600	осадка	пр.	-1,67	2,0	2,40	2,00	1,36	-0,25	1,5	1,15	0,75	1,40	0,84	0,92
		лев.	-1,67	1,81	1,80	1,50	1,61	1,25	1,25	1,46	0,75	-0,60	0,84	0,81
	СКО	пр.	1,15	0,52	0,55	0,00	0,5	1,5	0,56	1,28	1,89	0,55	0,37	0,39
		лев.	0,58	1,22	0,45	0,58	0,49	0,50	0,50	0,52	1,89	0,89	0,60	0,49
0–600	осадка	пр.	-2,33	9,44	-10,4	-18,5	15,86	-30,75	5,50	13,85	-28,50	-15,80	6,00	-8,04
		лев.	6,00	6,88	1,80	-4,00	19,46	-17,0	16,75	14,31	-19,25	-11,0	6,42	0,38
	СКО	пр.	12,66	3,52	9,96	9,15	4,47	9,91	4,12	3,76	4,93	13,75	3,68	4,41
		лев.	9,64	3,52	10,23	5,48	4,09	7,07	2,63	2,66	4,92	13,60	3,72	4,29

– на участке LVT средняя осадка по правой нити составила 6,00 мм, по левой — 6,42 мм, СКО осадки правой нити — 3,68, левой — 3,72. Наибольшая осадка наблюдается в средней части плиты. По времени наибольшая осадка произошла в период наработки от 200 до 300 млн т брутто.

Для всех конструкций характерна наибольшая неравномерность осадки в период наработки тоннажа от 0 до 200 млн т брутто и наибольшая интенсивность осадки в период наработки от 200 до 300 млн т брутто. Неравномерность осадки конструкций связана с различным уровнем грунтовых вод на опытных участках и различиями в уплотнении слоя тощего бетона. Наибольшая интенсивность осадки приходится на весенний период 2015 г., когда наблюдалось активное таяние снега и насыщение земляного полотна тальми водами. Данные результаты касаются только осадок несущих бетонных

плит опытных безбалластных конструкций, осадки переходных участков будут рассмотрены отдельно.

Наибольшие просадки отмечаются в местах разрушения гидравлически связанного несущего слоя (ГСНС), расположенного под бетонным несущим слоем, которое наблюдается на всех конструкциях безбалластного пути. Это связано с тем, что при прогибе несущей бетонной плиты образуется зазор между ней и ГСНС. В этот зазор при движении поезда попадает вода, и вследствие гидравлического удара начинается микроразрушение ГСНС, которое приводит к постепенному увеличению зазора. Это явление начинает наблюдаться в период таяния снега весной и в периоды обильных дождей. На Экспериментальном кольце это явление становится заметным после пропуска 500 млн т брутто, как правило, во второй весенний период после укладки.

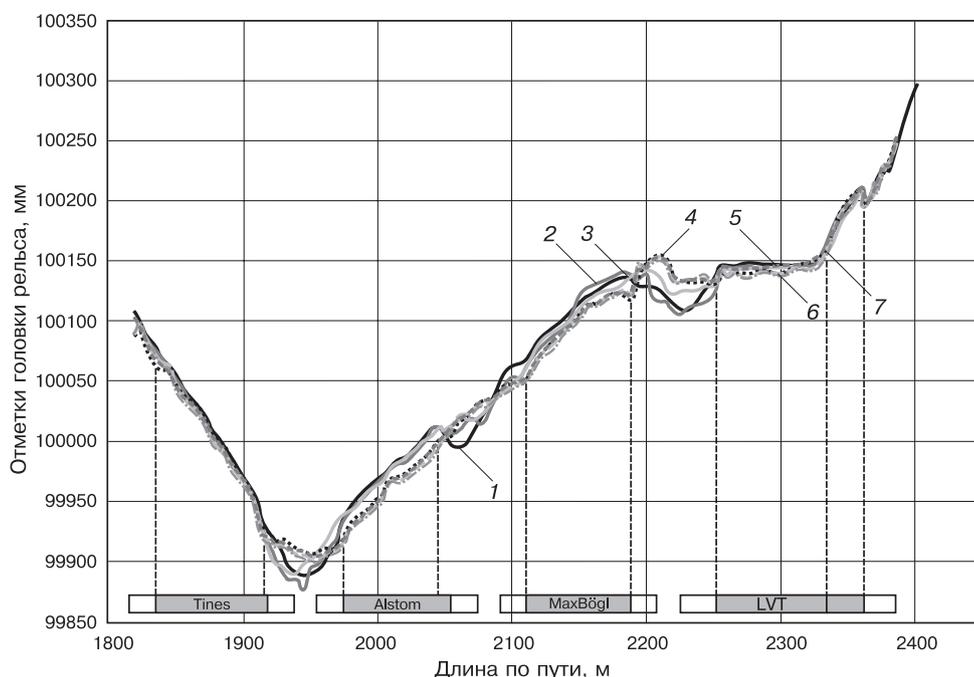


Рис. 2. Уровень головки рельса по левой нити:
1 – 01.12.2014 г.;
2 – 18.03.2015 г.;
3 – 08.07.2015 г.;
4 – 09.12.2015 г.;
5 – 17.03.2016 г.;
6 – 05.07.2016 г.;
7 – 19.10.2016 г.

Fig. 2. Level of rail head on left thread:
1 – 01.12.2014;
2 – 18.03.2015;
3 – 08.07.2015;
4 – 09.12.2015;
5 – 17.03.2016;
6 – 05.07.2016;
7 – 19.10.2016

Состояние переходных участков. Просадка переходных участков как абсолютное перемещение измерялась геодезическими средствами один раз в квартал, как и на безбалластных конструкциях, и представлена на рис. 3–6. При этом интенсивность осадки потребовала проведения работ по периодической выправке пути между безбалластными конструкциями. По этой причине будем анализировать не осадку, а просадку пути, которая измерялась один раз в месяц штатным путеизмерительным вагоном.

Просадки переходных участков [12] проанализированы по результатам проходов путеизмерительных вагонов с периодичностью 1 раз в месяц, или примерно через каждые 30 млн т брутто. Наиболее интенсивные просадки до 35 мм наблюдались в первый месяц эксплуатации, что требовало их еженедель-

ной выправки электрошпалоподбойками (ЭШП) и выправочно-подбивочно-рихтовочной машиной (ВПР). Максимальные просадки, зафиксированные вагоном-путеизмерителем в процессе дальнейшей эксплуатации, составили 16 мм. При этом просадки входных переходных участков существенно больше, чем выходных. Наихудшее состояние по истираемости щебня наблюдается у входного переходного участка LVT, конструктивно выполненного с металлической консолью переменного сечения в щебеночном балласте [12]. При этом лучшее состояние зафиксировано у выходного переходного участка LVT с обрезиненными подошвами шпал и у Alstom на переходном участке с подшпальными прокладками. Следует отметить, что переходные участки Alstom имеют дополнительные рельсы внутри колеи. В процессе эксплуатации потребовалась полная замена креплений для этих рельсов, так как резьбовые шпильки крепления к бетонному основанию не выдерживали нагрузки. Наименьшая величина просадки переходных участков наблюдается у конструкции MaxBögl.

Графики интенсивности просадок на переходных участках по результатам проходов вагона-путеизмерителя и периодичности их выправки представлены на рис. 3–6.

Трудозатраты на текущее содержание. Трудозатраты на текущее содержание примерно сопоставимы для всех конструкций.

Наиболее проблемные места для всех опытных конструкций (Tines, Alstom, MaxBögl, LVT) — это переходные участки между безбалластным путем и путем на балласте. Просадки в этих местах достигли 40 мм и своевременно выправлялись путем подбивки

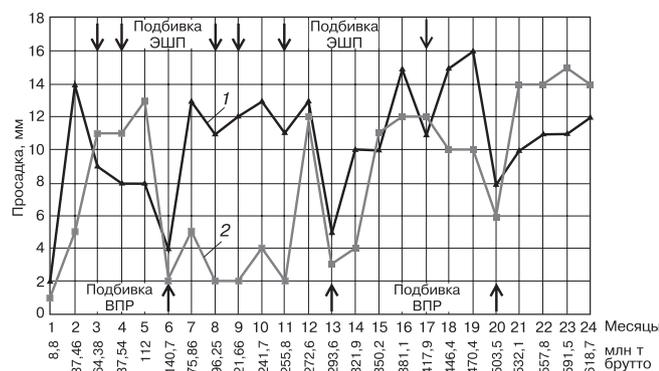


Рис. 3. Просадки переходных участков Tines:
1 – просадка (вход); 2 – просадка (выход)

Fig. 3. Settlements of transitional sections of Tines designs:
1 – settlement (input); 2 – settlement (output)

шпал ЭШП и машиной ВПР. В наихудшем состоянии находился первый переходный участок LVT с металлической консолью переменного сечения в балласте. Интенсивное разрушение нижней части шпал, опирающихся на специальные площадки металлической консоли, потребовало их замены в количестве 5 шт. Кроме того, на этом участке был заменен щебень.

Наименьшие просадки наблюдались на втором переходном участке LVT, где использованы шпалы компании RailOne (Германия), к подошвам которых дополнительно были приклеены полимерные подшпальные прокладки. В процессе эксплуатации выполнены следующие ремонтные работы:

- на участке LVT произведена герметизация многочисленных трещин бетонного слоя. Выполнена замена 64 блоков со скреплением Schwihag (Германия), замена 5 шпал и щебня на первом переходном участке;

- на участке MaxBögl выполнена герметизация продольного стыка плит и асфальтового покрытия междупутья, проведена замена сломанных клемм (3 шт.) и бокового упора (1 шт.) на бетонной плите MaxBögl;

- на участке Alstom произведена замена 16 болтов крепления дополнительных рельсов на шпалах переходных участков, заменены все скрепления дополнительных рельсов на бетонной плите;

- на участке Tines произведена ликвидация выплесков путем герметизации шва бетонной несущей плиты и тощего бетона, выправка по уровню на регулировочные карточки в скреплении Vossloh W30 (Германия) — 13 шт.

Трудозатраты на текущее содержание безбалластных конструкций пути в период наработки 600 млн т брутто составляют:

- Tines — 279,5 чел.ч, 15,5 маш.ч;
- Alstom — 180,5 чел.ч, 6,5 маш.ч;
- MaxBögl — 112,5 чел.ч, 9,0 маш.ч;
- LVT — 210,0 чел.ч, 16,5 маш.ч.

Наименьшее значение трудозатрат на текущее содержание имеет конструкция MaxBögl. Это связано с тем, что путевые бетонные плиты, примененные при укладке, имеют заводское изготовление. Кроме того, это единственная конструкция на опытном участке, у которой междупутье заасфальтировано для уменьшения попадания дождевой и талой воды под плиту.

Сравнительная оценка опытных конструкций. По результатам пропуска 600 млн т брутто можно считать, что все опытные безбалластные конструкции выдержали испытания и соответствуют требованиям безопасности движения.

Сравнительная оценка четырех безбалластных конструкций с учетом весовых коэффициентов их многочисленных характеристик, полученная путем изучения экспертной оценки членов секции «Путевое хозяйство» Научно-технического совета ОАО «РЖД» (Протокол НТС № 16, утвержден старшим

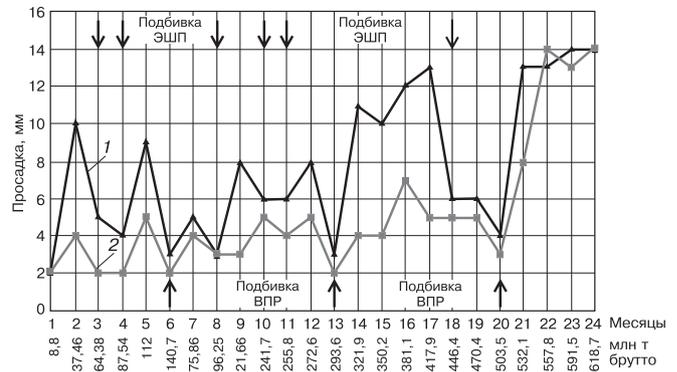


Рис. 4. Просадка переходных участков Alstom: 1 — просадка (вход); 2 — просадка (выход)
Fig. 4. Settlements of transitional sections of Alstom designs: 1 — settlement (input); 2 — settlement (output)

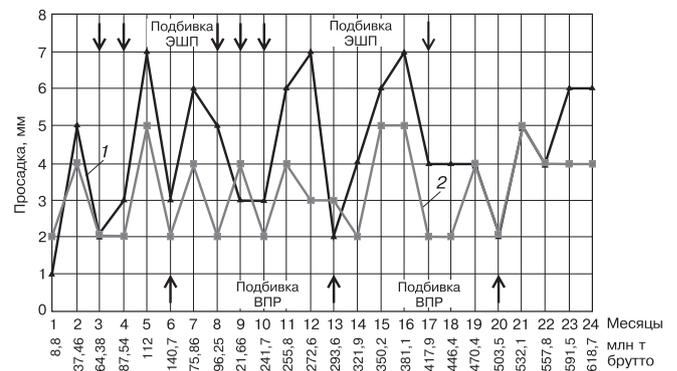


Рис. 5. Просадка переходных участков MaxBögl: 1 — просадка (вход); 2 — просадка (выход)
Fig. 5. Settlements of transitional sections of MaxBögl designs: 1 — settlement (input); 2 — settlement (output)

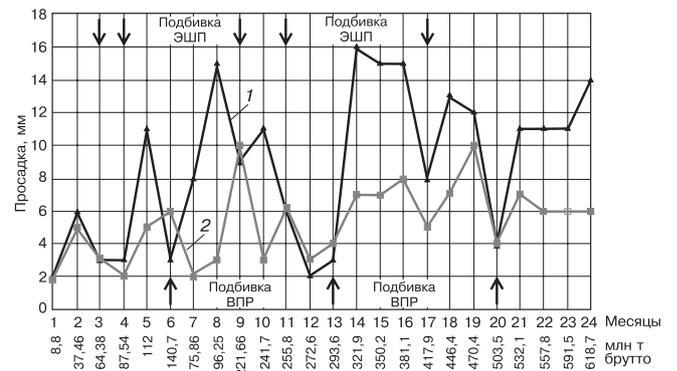


Рис. 6. Просадка переходных участков LVT: 1 — просадка (вход); 2 — просадка (выход)
Fig. 6. Settlements of transitional sections of LVT designs: 1 — settlement (input); 2 — settlement (output)

вице-президентом ОАО «РЖД» В. А. Гапановичем 23 июня 2016 г.), показывает, что по совокупности характеристик условные места распределились следующим образом: 1 место — MaxBögl, 2 — Alstom, 3 — LVT и 4 место — Tines. Это распределение мест относится только к опытным участкам на Эксперимен-

тальном кольце, длина которых для полноценного анализа явно недостаточна. Следует отметить, что такая оценка является условной и в значительной степени зависит от того или иного набора экспертов, определяющих весовые коэффициенты. Кроме того, в данной оценке не учитывалась стоимость сооружения сравниваемых конструкций [13]. Окончательный выбор среди множества конструкций безбалластного пути [14, 15] должен осуществляться на основе продолжительности [16] и стоимости [17] жизненного цикла с учетом соответствующих коэффициентов дисконтирования.

Выводы. 1. Проведенные испытания четырех типов безбалластных конструкций пути LVT (РЖДстрой, Россия), FFV (MaxBögl, Германия), NBT (Alstom, Франция), EBS (Tines, Польша), а также ранее проведенные испытания конструкции Rheda (RailOne, Германия) показали, что для безбалластного пути на земляном полотне наиболее критичными являются не напряжения в элементах конструкции, а величины вертикальных осадков.

В местах максимальных значений осадков верхней несущей бетонной (железобетонной) плиты происходит последующее разрушение нижележащего слоя ГСНС из тощего бетона.

2. Испытания на Экспериментальном кольце под составом с осевой нагрузкой 23,5 т показали, что БВСП может применяться и для грузового движения.

3. Окончательный выбор среди рассматриваемых конструкций безбалластного пути должен осуществляться на основе стоимости жизненного цикла с учетом соответствующих коэффициентов дисконтирования и фактических условий эксплуатации.

4. Безбалластный путь нецелесообразно устраивать на одном из путей двухпутного участка. Необходимо исключить попадание воды между несущей бетонной плитой и ГСНС.

5. Существенные риски состоят в том, что безбалластный путь более требователен к соблюдению технологии строительства, составу бетонных смесей и качеству подготовки основания, о чем свидетельствуют выплески из-под бетонной несущей плиты. Вероятность появления неисправности на безбалластном пути существенно меньше, но риск резкого увеличения затрат на ее устранение существенно выше.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Darr E., Fiebig W. Feste Fahrbahn. Konstruktion und Bauarten für Eisenbahn und Straßenbahn. Hamburg: Eurailpress, 2006. 272 s.
2. Nigel O., Franz Q. Innovative Track Systems Criteria for their Selection. Project funded by the European Community, Directorate General Energy and Transport Under the 'Competitive and Sustainable Growth' Programme. ProMain. Cologne: TÜV Intertraffic, 2001. P. 50–58.

3. Lichtberger B. Track compendium. First edition. Hamburg: Eurailpress, 2005. P. 19–22.

4. Bezin Y., Farrington D., Penny C., Temple B., Iwnicki S. The dynamic response of slab track constructions and their benefit with respect to conventional ballasted track. Manchester: Taylor & Francis, 2010. 56 p.

5. Michas G. Slab Track Systems for High-Speed Railways // Division of Highway and Railway Engineering. Department of Transport Science School of Architecture and the Built Environment. Royal Institute of Technology. Stockholm, 2012. 107 p. URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/69f8/d0e5d9c8572bad83cfdfae1eb2f00262b20d.pdf>.

6. Schilder R., Diederich D. Installation Quality of Slab Track – A Decisive Factor for Maintenance. RTR Special, Austria, 2007. P. 20–25.

7. Ермаков В.М., Загитов Э.Д. Опытный полигон на линии Санкт-Петербург—Москва // Путь и путевое хозяйство. 2011. № 5. С. 2–5.

8. Савин А.В. Экспериментальное кольцо: укладка новых конструкций пути // Путь и путевое хозяйство. 2015. № 2. С. 12–15.

9. Савин А.В., Дыдышко П.И. Безбалластный путь и его основание // Железнодорожный транспорт. 2015. № 12. С. 39–41.

10. Петров А.В., Савин А.В., Лебедев А.В. Рельсовые скрепления, применяемые в безбалластных конструкциях пути на Экспериментальном кольце ОАО «ВНИИЖТ» // Путь и путевое хозяйство. 2015. № 12. С. 2–5.

11. Савин А.В., Петров А.В., Третьяков К.И. Испытания безбалластных конструкций пути // Техника железных дорог. 2016. № 2 (34). С. 28–38.

12. Савин А.В. Участки переменной жесткости для безбалластного пути // Путь и путевое хозяйство. 2014. № 8. С. 2–6.

13. Савин А.В. Выбор конструкции пути для высокоскоростного движения // Вестник ВНИИЖТ. 2014. № 1. С. 55–59.

14. Савин А.В. Итоги испытаний безбалластного пути // Техника железных дорог. 2017. № 1. С. 26–31.

15. Исследования безбалластной конструкции верхнего строения пути / А. В. Савин [и др.] // Вестник ВНИИЖТ. 2015. № 6. С. 23–32.

16. Коган А.Я., Савин А.В. Методика определения расчетного срока службы безбалластного пути // Вестник ВНИИЖТ. 2017. Т. 76. № 1. С. 3–9. DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2017-76-1-3-9>

17. Савин А.В., Разуваев А.Д. Сферы применения безбалластного пути // Техника железных дорог. 2016. № 3. С. 32–41.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

САВИН Александр Владимирович,

канд. техн. наук, заместитель генерального директора — начальник Испытательного центра железнодорожной техники, АО «ВНИИЖТ»

ТРЕТЬЯКОВ Василий Владимирович,

канд. техн. наук, старший научный сотрудник отделения «Комплексные исследования по взаимодействию пути и подвижного состава», АО «ВНИИЖТ»

КАПЛИН Валерий Николаевич,

начальник Экспериментального кольца АО «ВНИИЖТ»

ПЕТРОВ Александр Владимирович,

аспирант, АО «ВНИИЖТ»

ТРЕТЬЯКОВ Кирилл Иванович,

аспирант, АО «ВНИИЖТ»; инженер по проектам, ООО «Фоссло Бан-унд Феркерстехник»

Статья поступила в редакцию 13.03.2017 г., актуализирована 20.06.2017 г., принята к публикации 24.07.2017 г.

Results of tests of ballastless track designs on the Test Loop of JSC “VNIIZhT”

A. V. SAVIN¹, V. V. TRET'YAKOV¹, V. N. KAPLIN¹, A. V. PETROV¹, K. I. TRET'YAKOV²

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

² LLC “Vossloh Bahn- und Verkehrstechnik”, Moscow, 123610, Russia

Abstract. In December 2016 at the Test Loop of JSC “VNIIZhT” comparative testing of four types of ballastless track designs (BVSP) — LVT (RZDstroy, Russia), FFB (MaxBögl, Germany), NBT (Alstom, France), EBS (Tines, Poland) — have been completed. The passed tonnage for the pilot section of the four structures was 600 million tonnes gross. The article analyzes the intensity of settlement of the ballastless track and in transitional sections under the train load.

Conducted tests of four types of ballastless track designs LVT (RZDstroy, Russia), FFB (MaxBögl, Germany), NBT (Alstom, France), EBS (Tines, Poland) and earlier tests of the Rheda (RailOne, Germany) design showed that for the ballastless track on the subgrade, the most critical are not the stresses in the structural elements, but the values of the vertical settlements. In the places of maximum values of the settlement of the upper bearing concrete (reinforced concrete) slab, the underlying layer of the hydraulically linked bearing layer of lean concrete is subsequently destroyed. Tests on the Test Loop of the train with an axial load of 23.5 tons showed that the BVSP design can be used for freight traffic.

It is impractical to arrange ballastless track on one of the track of a two-track section. It is necessary to exclude the ingress of water between the bearing concrete slab and the hydraulically linked bearing layer (HLBL). The significant risks are that the ballastless track is more demanding for maintain the construction technology, the composition of the concrete mixes and the quality of the substrate preparation, as evidenced by splashes from the concrete bearing slabs.

The probability of a malfunction on the ballastless track is much smaller, but the risk of a sharp increase in the costs of its elimination is much higher.

Tests made it possible to confirm the working capacity of the ballastless railway track for the conditions of the Russian railways, to reveal the features of the current maintenance of each design and to give recommendations on its improvement. The tests carried out at JSC “VNIIZhT” test site showed that the ballastless track can be used not only for express and high-speed traffic, but also for combined and freight traffic.

Keywords: ballastless track; depression; settlement; tests; transition sections; track maintenance

DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2017-76-4-195-201>

REFERENCES

1. Darr E., Fiebig W. *Feste Fahrbahn. Konstruktion und Bauarten für Eisenbahn und Straßenbahn*. Hamburg, Eurailpress, 2006, 272 p. (in Ger.).
2. Nigel O., Franz Q. *Innovative Track Systems Criteria for their Selection*. Project funded by the European Community, Directorate General Energy and Transport Under the ‘Competitive and Sustainable Growth’ Programme. ProMain. Cologne, TÜV Intertraffic, 2001, pp. 50–58.
3. Lichtberger B. *Track compendium*. First edition. Hamburg, Eurailpress, 2005, pp. 19–22.
4. Bezin Y., Farrington D., Penny C., Temple B., Iwnicki S. *The dynamic response of slab track constructions and their benefit with respect to conventional ballasted track*. Manchester, Taylor & Francis, 2010, 56 p.
5. Michas G. Slab Track Systems for High-Speed Railways // Division of Highway and Railway Engineering, Department of Transport Science School of Architecture and the Built Environment, Royal Institute of Technology. Stockholm, 2012, 107 p. URL: <https://pdfs.semanticscholar.org/69f8/d0e5d9c8572bad83cfdfae1eb2f00262b20d.pdf>.

6. Schilder R., Diederich D. *Installation Quality of Slab Track – A Decisive Factor for Maintenance*. RTR Special, Austria, 2007, pp. 20–25.

7. Ermakov V.M., Zagitov E.D. *Opytnyy poligon na linii Sankt-Peterburg – Moskva* [Testing ground on the line St. Petersburg – Moscow]. Put' i putevoe khozyaystvo [Railway Track and Facilities], 2011, no. 2, pp. 2–5.

8. Savin A.V. *Eksperimental'noe kol'tso: układka novykh konstruktivnykh puti* [Test Loop: laying of new constructions of the track]. Put' i putevoe khozyaystvo [Railway Track and Facilities], 2015, no. 2, pp. 12–15.

9. Savin A.V., Dydyshko P.I. *Bezballastnyy put' i ego osnovanie* [Ballastless track and its foundation]. Zheleznodorozhnyy transport, 2015, no.12, pp. 39–41.

10. Petrov A.V., Savin A.V., Lebedev A.V. *Rel'sovye skrepleniya, primenyaemye v bezballastnykh konstruktivnykh puti na Eksperimental'nom kol'tse OAO “VNIIZhT”* [Rail fasteners used in ballastless track designs on the Test Loop of JSC “VNIIZhT”]. Put' i putevoe khozyaystvo [Railway Track and Facilities], 2015, no. 12, pp. 2–5.

11. Savin A.V., Petrov A.V., Tret'yakov K.I. *Ispytaniya bezballastnykh konstruktivnykh puti* [Testing of ballastless track designs]. Tekhnika zheleznomykh dorog [Railway engineering], 2016, no. 2(34), pp. 28–38.

12. Savin A.V. *Uchastki peremennoy zhestkosti dlya bezballastnoy puti* [Variable stiffness areas for the ballastless track]. Put' i putevoe khozyaystvo [Railway Track and Facilities], 2014, no. 8, pp. 2–6.

13. Savin A.V. *Vybor konstruktivnykh puti dlya vysokoskorostnogo dvizheniya* [Choosing track design for high-speed traffic]. Vestnik VNIIZhT [Vestnik of the Railway Research Institute], 2014, no. 1, pp. 55–59.

14. Savin A.V. Test results of the ballastless track. Engineerings of the railways, 2017, no. 1, pp. 26–31.

15. Savin A.V., Brzhezovskiy A.M., Tret'yakov V.V., Smelyanskiy I.V., Tolmachev S.V. *Issledovaniya bezballastnoy konstruktivnykh puti* [Studies of a ballastless track superstructure]. Vestnik VNIIZhT [Vestnik of the Railway Research Institute], 2015, no. 6, pp. 23–32.

16. Kogan A. Ya., Savin A.V. *Metodika opredeleniya raschetnoy sroka sluzhby bezballastnogo puti* [Method for determining estimated service life of the ballastless track]. Vestnik VNIIZhT [Vestnik of the Railway Research Institute], 2017, Vol. 76, no. 1, pp. 3–9. DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2017-76-1-3-9>.

17. Savin A.V., Razuvaev A.D. Scopes of application of the ballastless track. Engineerings of the railways, 2016, no. 3, pp. 32–41.

ABOUT THE AUTHORS

Alexander V. SAVIN,

Cand. Sci. (Eng.), Deputy General Director – Head of the Test Center of railway transport, JSC “VNIIZhT”

Vasilij V. TRET'YAKOV,

Cand. Sci. (Eng.), Senior Researcher of the Department “Complex tests on interaction of track and rolling stock”, JSC “VNIIZhT”

Valeriy N. KAPLIN,

Head of the Test Loop of JSC “VNIIZhT”

Alexander V. PETROV,

Post-Graduate, JSC “VNIIZhT”

Kirill I. TRET'YAKOV,

Post-Graduate, JSC “VNIIZhT”; Project Engineer, LLC “Vossloh Bahn- und Verkehrstechnik”

Received 13.03.2017

Revised 20.06.2017

Accepted 24.07.2017

■ E-mail: savin.aleksandr@vniizht.ru (A. V. Savin)

Уточнение параметров модели износа Арчарда для вычисления износа колес грузовых вагонов с осевой нагрузкой 25 тс

А. В. САИДОВА¹, А. М. ОРЛОВА²

¹ Общество с ограниченной ответственностью «Всесоюзный научно-исследовательский центр транспортных технологий», Санкт-Петербург, 199106, Россия

² Публичное акционерное общество «Научно-производственная корпорация «Объединенная Вагонная Компания», Санкт-Петербург, 199106, Россия

Аннотация. Целью исследования являлся обоснованный выбор величины коэффициента износа для сильной и слабой стадий изнашивания в модели абразивного износа Арчарда (Archard J.) и коэффициента трения на гребне и поверхности катания колеса для прогнозирования износа профилей колес с использованием динамических моделей. В статье представлены результаты ресурсных пробеговых испытаний грузового вагона на Экспериментальном кольце АО «ВНИИЖТ», измерений твердости колес в зонах поверхности катания и гребня, математического моделирования износа колес в программном комплексе «MEDYNA».

Ключевые слова: трехэлементная тележка; износ колес; моделирование износа; коэффициент износа; коэффициент трения; твердость колес

Введение. Задача увеличения межремонтного пробега является одной из основных для разработчиков современных грузовых вагонов. В вагонных тележках типов Barber S-2-R (ТВСЗ), Motion Control (ОБК), 18-194-1 (УралВагонЗавод) детали подвешивания обеспечивают нормируемую износостойкость при пробеге до 800 тыс. км. С 2004 г. в тележках грузовых вагонов применяют колеса с увеличенной твердостью обода до 320–360 НВ в сравнении с использовавшимися ранее колесами твердостью 248–285 НВ, показавшие в эксплуатации снижение их повреждаемости и увеличение среднего пробега вагонов до обточки колесных пар до 220 тыс. км. [1]. Математические модели прогноза износа таких колес в настоящее время отсутствуют.

Целью исследования, представленного в статье, являлось уточнение параметров модели абразивного изнашивания Арчарда (Archard J.) [2] и определение параметров взаимодействия колес с упрочненной поверхностью обода с рельсами путем сравнения данных натурных измерений с результатами многовариантного моделирования в программном комплексе «MEDYNA» [3]. В качестве объекта исследований выбран универсальный полувагон на трехэлементных тележках модели 18-9855. База вагона составляет

8,65 м, осевая нагрузка 25 тс и конструкционная скорость 120 км/ч. Вагон оборудован колесными парами с S-образной формой диска и упрочненной до 320–360 НВ поверхностью обода колеса.

Результаты обмера колес вагона в ходе испытаний. Ресурсные пробеговые испытания проводились для одного вагонокомплекта тележек модели 18-9855, установленного под универсальным полувагоном с разгрузочными люками модели 12-9853, на Экспериментальном кольце АО «ВНИИЖТ» (Московская область, ст. Щербинка) с июля по январь путем включения испытываемого вагона в грузовой поезд. Опытный вагон в составе поезда следовал по второму кольцевому пути (ширина колеи 1522 мм) в одном направлении (по часовой стрелке) около 10 часов в сутки со средней скоростью 70 км/ч. Правый рельс являлся внутренним, а левый — наружным. При измерениях стороны вагона (правая и левая, передняя и задняя) были приняты по ходу движения поезда.

Измерения профилей колес проводились до начала испытаний и после пробега 53300 км с помощью профилометра ИКП-5 [4] методом лазерного сканирования в четырех сечениях поверхности катания колеса (через каждые 90°). Толщина гребня определялась как расстояние между внутренней и наружной поверхностями, измеренное по горизонтали на высоте 18 мм от вершины гребня. Прокат определялся как разность между измеренной на расстоянии 70 мм от наружной грани колеса высотой гребня и ее номинальным значением (28 мм).

Усредненные по четырем сечениям на каждом колесе значения износа поверхностей катания и гребней колес представлены в табл. 1.

Погрешность измерения износа профиля колеса включает в себя погрешность прибора, которым были проведены измерения до начала эксперимента ($\pm 0,1$ мм для износа поверхности катания и $\pm 0,3$ мм для толщины гребня), погрешности профилометра ($\pm 0,1$ мм для всех измерений после пробега 53 тыс. км.)

■ E-mail: av-saidova@yandex.ru (А. В. Саидова)

Таблица 1

Усредненные значения износа колес вагона после пробега 53,3 тыс. км по Экспериментальному кольцу АО «ВНИИЖТ»

Table 1

Averaged values of wear of the car wheels after a run of 53,3 thousand km along the Test Loop of JSC "VNIIZhT"

Колесная пара по ходу движения	Износ гребня колеса, мм		Износ поверхности катания (прокат) колеса, мм	
	набегающего (левого)	ненабегающего (правого)	набегающего (левого)	ненабегающего (правого)
Первая	3,8	0,3	1,2	1,1
Вторая	0,6	0,6	1,9	0,9
Третья	4,1	0,4	1,6	0,8
Четвертая	0,7	0,5	1,0	0,8

и разброса значений износа для четырех точек (сечений) колеса ($\pm 0,2$ мм для износа поверхности катания и $\pm 0,5$ мм для износа гребня). Общая погрешность измерений составила $\pm 0,4$ мм для износа поверхности катания и $\pm 0,9$ мм для гребня.

Динамическая модель движения вагона, дополненная моделью износа Арчарда. Прогнозирование изнашивания производилось с использованием математической модели движения полувагона [5], разработанной в программном комплексе «MEDYNA», имеющей параметры подвешивания в соответствии с измеренными у испытуемого вагона. Модель состоит из 23 твердых тел (1 кузов, 2 надрессорные балки, 4 боковые рамы, 4 колесные пары, 8 участков рельсов и 4 участка пути) со связями между ними (упругими, фрикционно-упругими, типа «шарнир», элементами-упорами и элементами, описывающими работу сил сухого трения).

Модель абразивного износа Арчарда внедрена в «MEDYNA» как параллельный алгоритм моделирования. Масса изношенного материала пропорциональна работе сил трения в пятне контакта

$$I = k_v A, \quad k_v = \begin{cases} k_{v1}, & \text{если } P \leq P_{\text{пер}} \\ k_{v2}, & \text{если } P > P_{\text{пер}} \end{cases}, \quad (1)$$

где I — масса изношенного материала, г; k_v — коэффициент износа, г/Н·м; A — работа сил трения, Н·м; P — мощность сил трения в контакте колеса с рельсом, отнесенная к площади контакта, Вт/м²; $P_{\text{пер}}$ — значение мощности сил трения в контакте колеса с рельсом, отнесенной к площади контакта, при котором происходит переход от слабой стадии изнашивания к сильной, Вт/м².

Фазы слабого и сильного изнашивания имеют различные коэффициенты пропорциональности между объемом изношенного материала и работой сил трения (k_{v1} и k_{v2} соответственно). Коэффициент износа k_v зависит от типа материала, твердости, плотности, контактного давления, касательных напряжений и т. д. Обзор литературы показал, что значения k_v могут лежать в диапазоне от 10^{-7} до 10^{-5} г/Н·м.

Работа сил трения на участке профиля вычисляется по формуле

$$A = P_k L, \quad (2)$$

где P_k — фактор износа, Н; L — длина пятна контакта, м. Фактор износа определяется из выражения

$$P_k = s_x T_x + s_y T_y, \quad (3)$$

где $s_{x/y}$ — продольное/поперечное псевдопроскальзывание (крип) в пятне контакта; $T_{x/y}$ — сила крипа в продольном/поперечном направлении, Н.

Значение мощности сил трения в контакте колеса с рельсом, отнесенной к площади контакта, при котором происходит переход от слабой стадии изнашивания к сильной, определяется по формуле

$$P_{\text{пер}} = \frac{P_k v_0}{F}, \quad (4)$$

где v_0 — скорость движения вагона, м/с; F — площадь пятна контакта колеса и рельса, м²;

Условия численного эксперимента соответствуют пробегу, пройденному вагоном при испытаниях на экспериментальном кольце АО «ВНИИЖТ». Некоторые исходные параметры не могли быть получены прямыми измерениями в эксперименте, поэтому они варьировались для оценки их влияния на износ колес и установления возможных значений.

Влияние неровностей пути на износ в условиях Экспериментального кольца. Данные о величине неровностей Экспериментального кольца и их распределении вдоль пути отсутствуют. Поэтому была проведена серия моделирований движения груженого полувагона с постоянной скоростью 70 км/ч в кривой радиусом 956 м с неровностями трех видов: согласно РД 32.68–96 [6] в первом случае, с увеличенными в 1,5 раза неровностями — во втором и уменьшенными в 2 раза — в третьем. Профили первых по ходу движения наружных колес, полученные после пробега 50 тыс. км в сравнении с новым неизношенным профилем по ГОСТ 10791–2011 [7], показаны на рис. 1.

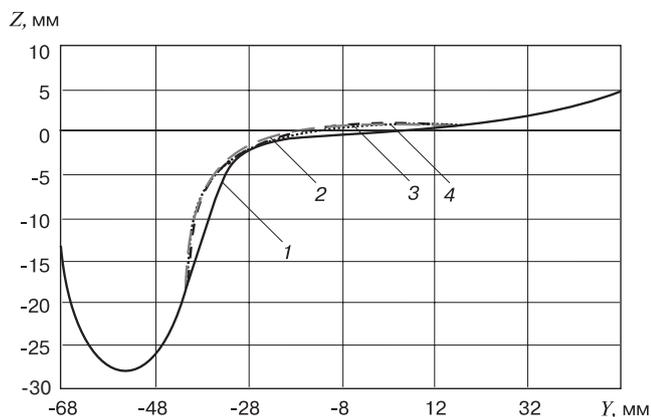


Рис. 1. Профили поверхности обода колес при различных величинах неровностей пути:

1 — неизношенный профиль; 2 — профиль при неровностях по РД 32.68–96; 3 — профиль при увеличенных неровностях; 4 — профиль при уменьшенных неровностях

Fig. 1. Wheel profiles with different track irregularity values:

1 — no wear profile; 2 — profile with irregularities along RD 32.68–96; 3 — profile with increased irregularities; 4 — profile with reduced irregularities

Анализ результатов расчета показал, что полученные профили поверхности обода колес для всех трех случаев отличаются между собой по величине линейного износа на поверхности катания и гребня не более чем на 5%, что позволяет сделать вывод о незначительности влияния величины неровностей на износ при движении вагона по круговому пути Экспериментального кольца и о возможности использования нормативных неровностей пути согласно РД 32.68–96 при поиске сходимости результатов натурного и численного экспериментов в дальнейшем.

Определение точки перехода между слабой и сильной стадиями изнашивания. Обзор литературы в области моделирования износа колес показал, что мощность сил трения в контакте колеса с рельсом, отнесенная к площади контакта, при которой происходит переход от слабой стадии изнашивания к сильной, может варьироваться в диапазоне от 10^4 до 10^6 Вт/м² [8]. Поэтому возникла необходимость определения переходного значения мощности для условий российских железных дорог.

В этих целях моделировалось движение универсального полувагона в порожнем (осевая статическая нагрузка 6 тс) и груженом до максимальной грузоподъемности состоянии в кривых радиусами 956 м (кольцо «ВНИИЖТ»), 650 м (среднего радиуса) и 350 м (кривая малого радиуса) при скорости 70 км/ч. Длина прямого участка пути в кривых малого и среднего радиуса (650 и 350 м) составила 20 м, переходного — 100 м, возвышение наружного рельса — 150 мм.

Для каждого пятна контакта вычислялась мощность сил трения. Для определения точки перехода между слабой и сильной стадиями изнашивания было принято допущение, что все гребни колес и наружные поверхности катания испытывают сильный износ, а внутренние находятся в стадии слабого износа. На прямом участке пути гребни находятся в фазе сильного износа, поверхности катания — в фазе слабого.

Результаты расчета средней мощности сил трения в контакте колесо—рельс, отнесенной к площади пятна контакта, первой по ходу движения (подверженной наиболее интенсивному износу) колесной

Таблица 2

Результаты расчета средней мощности сил трения, отнесенной к площади пятна контакта

Table 2

The results of calculating the average power of frictional forces, referred to the area of the contact spot

Режим движения	Значение средней мощности сил трения, отнесенной к площади пятна контакта, МВт/м ² , на колесе					
	слева (набегающее)			справа (ненабегающее)		
	поверхность катания	гребень, первое пятно контакта	гребень, второе пятно контакта	поверхность катания	гребень, первое пятно контакта	гребень, второе пятно контакта
Груженный вагон, прямая	6,3	119,0	0,0	6,4	101,0	0,0
Груженный вагон, кривая радиусом 956 м	7,2	78,1	0,0	6,2	79,0	0,0
Груженный вагон, кривая радиусом 650 м	20,2	78,7	1350,0	4,0	72,7	0,0
Груженный вагон, кривая радиусом 350 м	40,1	133,0	2630,0	9,7	82,3	0,0
Порожний вагон, прямая	6,7	67,0	0,0	6,0	68,3	0,0
Порожний вагон, кривая радиусом 956 м	7,4	58,8	0,0	5,4	80,9	0,0
Порожний вагон, кривая радиусом 650 м	9,0	150,0	0,0	3,8	890,0	0,0
Порожний вагон, кривая радиусом 350 м	18,0	210,0	0,0	6,0	1270,0	0,0

пары полувагона в различных режимах его движения представлены в табл. 2.

Анализ результатов расчета показал, что среднее значение мощности сил трения, отнесенной к площади пятна контакта, на поверхности катания левого и правого колес в прямых участках пути приблизительно одинаково и составляет не более 7,0 МВт/м². В кривых участках пути мощность, отнесенная к площади, на поверхности катания набегающего колеса выше таковой для ненабегающего (7,2–20,2 МВт/м² по сравнению с 3,8–6,2 МВт/м² для кривых большого и среднего радиусов и 18,0–40,1 МВт/м² по сравнению с 6,0–9,7 МВт/м² для кривых малого радиуса). Это позволяет принять значение мощности, отнесенной к площади пятна контакта, 7,0 МВт/м² в качестве переходного между слабой и сильной стадиями износа.

Результаты измерения твердости поверхности катания колес. Ранними исследованиями было установлено, что хорошая сходимости результатов измерений и моделирования износа колес может быть получена при задании твердости на гребне выше, чем на поверхности катания колеса [9]. Твердость определяет глубину внедрения контактирующих поверхностей и, таким образом, влияет на объем материала, втянутого в деформацию.

При моделировании разница твердостей в различных зонах колеса и рельса может быть задана различными коэффициентами трения для этих зон. Известно, что для неизношенных новых колес разница значений твердостей обода, измеренных по периме-

тру колеса, не должна превышать 20 НВ (8 %) (согласно ГОСТ 10791–2011).

Из четырех предельно изношенных колес, изготовленных из стали марки 2 ГОСТ 10791–2011, были вырезаны образцы с отсутствием на их поверхности выщерблин, ползунов, трещин и других дефектов, которые могли бы оказать влияние на результаты измерения твердости. Результаты измерения твердости образцов в трех точках на поверхности катания и гребне по методу Роквелла (HRC) представлены в табл. 3. Полученные данные были пересчитаны в твердость по Бринеллю (НВ).

Анализ результатов измерений показал, что твердость колес на поверхности катания больше таковой на гребне в среднем на 13 % (данные, полученные для образца № 2, были приняты как выброс значений, поскольку на них могли оказать влияние качество изготовления колеса, режим эксплуатации и т. п.). Поэтому при многовариантных расчетах коэффициент трения на гребне варьировался в диапазоне на 10–20 % больше, чем для поверхности катания.

Определение влияния коэффициента трения между колесом и рельсом и коэффициента износа на износ. Многовариантные расчеты износа колес полувагона на тележках модели 18-9855 при движении по круговому пути радиусом 956 м со скоростью 70 км/ч (имитация условий пробеговых испытаний на Экспериментальном кольце АО «ВНИИЖТ», пробег около 53 тыс. км) проводились для коэффициентов износа в диапазоне от 10^{-6} г/Н·м до $3 \cdot 10^{-6}$ г/Н·м и

Таблица 3

Результаты измерения твердости

Table 3

Hardness measurement results

№ образца и точки	Твердость на поверхности катания		Твердость на гребне		Среднее значение твердости, НВ		Разница значений твердости на поверхности катания и гребне, %	
	HRC	НВ	HRC	НВ	на поверхности катания	на гребне		
1	1	35	331	22	237	274	236	13,5
	2	26	262	21	233			
	3	20	229	22	237			
2	1	17	217	17	217	220	218	1,4
	2	18	221	18	221			
	3	18	221	17	217			
3	1	23	241	21	233	271	236	12,9
	2	30	294	22	237			
	3	28	277	22	237			
4	1	29	285	26	262	295	257	12,9
	2	36	338	26	262			
	3	26	262	24	248			

Таблица 4

Расхождение результатов расчета и эксперимента

Table 4

The discrepancy between the calculation results and the experiment

Колесо в колесной паре по ходу движения		Износ, мм, полученный по результатам				Расхождение результатов, мм	
		измерений для		расчета для			
		гребня	поверхности катания	гребня	поверхности катания	гребень	поверхность катания
1	набегающее	3,8	1,2	3,6	1,1	0,2	0,1
	ненабегающее	0,3	1,1	0,6	1,0	0,3	0,1
2	набегающее	0,6	1,9	0,6	1,5	0,0	0,4
	ненабегающее	0,6	0,9	0,5	0,8	0,1	0,1
3	набегающее	4,1	1,6	3,9	1,2	0,2	0,4
	ненабегающее	0,4	0,8	0,6	1,1	0,2	0,3
4	набегающее	0,7	1,0	0,3	0,7	0,4	0,3
	ненабегающее	0,5	0,8	0,6	1,0	0,1	0,2

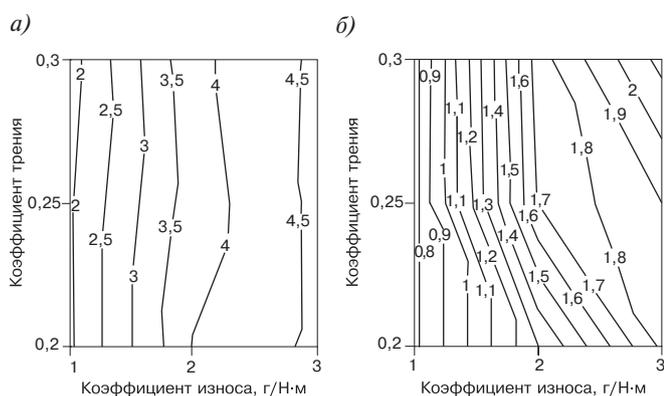


Рис. 2. Зависимости линейного износа, мм, левого (набегающего) колеса первой по ходу движения колесной пары от коэффициентов износа и трения:

a — на гребне; *б* — на поверхности катания

Fig. 2. Dependences of linear wear, mm, of the left (oncoming) wheel of the first wheelset in the direction of travel from wear and friction coefficients:

a — on the flange; *b* — on the rolling surface

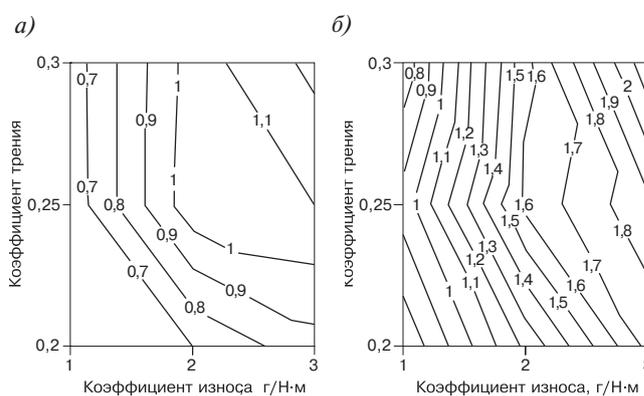


Рис. 3. Зависимости линейного износа, мм, правого (ненабегающего) колеса первой по ходу движения колесной пары от коэффициентов износа и трения:

a — на гребне; *б* — на поверхности катания

Fig. 3. Dependences of linear wear, mm, of the right (non-running) wheel of the first wheelset in the direction of travel from wear and friction coefficients:

a — on the flange; *b* — on the rolling surface

коэффициентов трения между колесом и рельсом в диапазоне от 0,2 до 0,3. Ширина колеи составляла 1522 мм.

По результатам моделирования построены диаграммы зависимости износа поверхности катания и гребня колеса от коэффициентов износа и трения между колесом и рельсом, позволяющие выбрать наилучшую пару значений. На рис. 2–3 представлены диаграммы износа, построенные для колес первой (ведущей) колесной пары.

Лучшая сходимость результатов расчета с данными эксперимента была получена при величине коэф-

фициента трения между гребнем колеса и боковой гранью рельса 0,28, поверхностью катания и головкой рельса 0,25; коэффициентом износа для сильной стадии $2,2 \cdot 10^{-6}$ г/Н·м и $1,4 \cdot 10^{-6}$ г/Н·м для слабой. Расхождение данных моделирования и результатов измерений представлено в табл. 4.

По двенадцати контрольным точкам расхождение результатов расчета и данных эксперимента составило не более 0,4 мм при погрешности измерения линейного износа $\pm 0,4$ мм для поверхности катания и $\pm 0,9$ мм для гребня колеса, что говорит о высокой достоверности полученных результатов.

Заключение. Сравнение полученных данных по износу колес с упрочненной поверхностью катания для условий Экспериментального кольца АО «ВНИИЖТ» позволило установить параметры абразивной модели износа Арчарда, такие как коэффициенты износа для слабой и сильной стадий и точка перехода между стадиями в зависимости от коэффициента трения в системе колесо — рельс. Для колес с упрочненными поверхностями установлены следующие значения:

- коэффициент износа $2,2 \cdot 10^{-6}$ г/Н·м для стадии сильного износа;
- коэффициент износа $1,4 \cdot 10^{-6}$ г/Н·м для стадии слабого износа;
- отношение мощности сил трения в пятне контакта колеса с рельсом к его площади, соответствующее переходу от слабого износа к сильному, 7 МВт/м²;
- коэффициент трения на поверхности катания 0,25;
- коэффициент трения на гребне 0,28.

В дальнейших исследованиях уточненные параметры модели износа могут быть использованы для разработки новых тележек грузовых вагонов, обеспечивающих пониженное изнашивание профилей колес, а также для оценки влияния различных факторов на износ колес в существующих конструкциях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лосев Д. Н. Организация ТОР инновационного подвижного состава: опыт, проблемы и перспективы // Инновации транспорта. 2013. № 4. С. 9–10.
2. Archard J. Elastic deformation and the laws of friction // Proc. Royal Society. London, 1957. Ser. A 243. P. 190–205.

3. Лесничий В.С., Орлова А.М. Компьютерное моделирование задач динамики железнодорожного подвижного состава. Ч. 3: Моделирование динамики грузовых вагонов в программном комплексе MEDYNA: учеб. пособие. СПб: ПГУПС, 2002. 35 с.

4. Лазерный профилометр поверхности катания колесной пары. Серия ИКП: руководство по эксплуатации / ООО «РИФТЭК» (Беларусь). Минск, 2010. 63 с.

5. Саидова А.В., Орлова А.М. Разработка математических моделей вагонов на тележках 18-9810 и 18-9855 для исследования износов колес // Наука и прогресс транспорта. Вестник Днепровского национального университета железнодорожного транспорта. 2013. № 2. С. 118–123.

6. РД 32.68–96. Руководящий документ. Расчетные неровности железнодорожного пути для использования при исследованиях и проектировании пассажирских и грузовых вагонов. Введ. 1997-01-01. М.: ВНИИЖТ, 1996. 17 с.

7. ГОСТ 10791–2011. Колеса цельнокатанные. Технические условия. Введ. 2012-01-01. М.: Стандартинформ, 2011. 33 с.

8. Kik W. Wear simulation using AC-wheel-rail-element. Computer Aided Railway Engineering. ArgeCare, Templin, 2013. 18 p.

9. Kik W., Moelle D. Parallel or on-line simulation of wear using general wheel rail element // Presentation of 4th VI-grade Users' Conference (18.10.2011–19.10.2011), Udine, Italy. URL: http://www.vi-grade.com/index.php?pagid=4th_vigrade_conference.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

САИДОВА Алина Викторовна,

канд. техн. наук, старший научный сотрудник ДПХЧ, ООО «Всероссийский научно-исследовательский центр транспортных технологий»

ОРЛОВА Анна Михайловна,

д-р техн. наук, заместитель генерального директора по научно-техническому развитию ПАО «Научно-производственная корпорация «Объединенная Вагонная Компания»

Статья поступила в редакцию 26.04.2017 г., принята к публикации 17.07.2017 г.

Specification of the Archard's wear model parameters for calculating wheels wear of freight cars with an axial load of 25 tons

A. V. SAIDOVA¹, A. M. ORLOVA²

¹Limited Liability Company "All-Union Scientific Research Center for Transport Technologies", St. Petersburg, 199106, Russia

²Public Joint-Stock Company "Scientific and Production Corporation" United Wagon Company", St. Petersburg, 199106, Russia

Abstract. The purpose of the study was a reasonable choice of the wear coefficient for the strong and weak stages in the Archard's abrasive wear model and the coefficient of friction on the flange and the rolling surface of the wheel for calculating the wear of the wheel profiles using dynamic models. 12-9853 universal gondola car with unloading hatches on three-element bogies of model 18-9855 was chosen as an object of research.

At the first stage, the car wheels were measured (the thickness of the flange, quality of rolling) before and after the endurance running tests of the gondola car at the Test Loop of the JSC "VNIIZhT".

At the second stage in the "MEDYNA" software complex, a dynamic model of the car motion was developed, supplemented by the Archard model of wear. The effect of irregularities of the track

on wear is determined under the conditions of the Test Loop and the value of the frictional force attributed to the contact area of the wheel with the rail is determined from the results of modeling the motion in tangent and curved sections of the track at which the transition from a weak wear stage to a strong one occurs.

In the third part of the work, the hardness of the various areas of the surface of the worn wheel (4 samples) was measured in order to establish the ratio of the coefficient of friction on the flange and the surface of the wheel.

In the final part, a multivariate calculation of the wear of the gondola wheels were carried out based on the results of which the wear curves of the rolling surface and the flange of the wheel were plotted on the coefficients of wear and friction between the wheel and the rail. This allowed choosing a pair of

values ensuring the best convergence of the calculation results to the experimental results and, thus, to establish parameters of the Archard wear abrasive model for wheels with a hardened rolling surface.

The specified parameters of the wear model can be used to develop new freight car bogies that provide a reduced wear of the wheel profiles, as well as to evaluate the influence of various factors on wheel wear in existing structures.

Keywords: three-piece bogie; wheel wear; wear modeling; wear coefficient; friction coefficient; wheel hardness

DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2017-76-4-202-208>

REFERENCES

1. Losev D. N. *Organizatsiya TOR innovatsionnogo podvizhnogo sostava: opyt, problemy i perspektivy* [TOR organization of innovative rolling stock: experience, problems and prospects]. Innovatsii transporta [Innovations in transport], 2013, no. 4, pp. 9–10.
2. Archard J. *Elastic deformation and the laws of friction*. Proc. Royal Society. London, 1957, ser. A 243, pp. 190–205.
3. Lesnichiy V. S., Orlova A. M. *Komp'yuternoe modelirovanie zadach dinamiki zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava. Chast' 3: Modelirovanie dinamiki gruzovykh vagonov v programnom komplekse MEDYNA: uch. posobie* [Computer modeling of the dynamics of railway rolling stock. Part 3: Modeling the dynamics of freight cars in the MEDYNA software package: textbook]. Saint-Petersburg, PGUPS Publ., 2002, 35 p.
4. *Laser profilometer of the rolling surface of the wheel pair*. IKP series. User manual. Belarus, Minsk, RIFTEK Publ., 2010, 63 p.

5. Saidova A. V., Orlova A. M. *Razrabotka matematicheskikh modeley vagonov na telezhkakh 18-9810 i 18-9855 dlya issledovaniya iznosov koles* [Development of mathematical models of cars on bogies 18-9810 and 18-9855 for the study of wheel wear]. Nauka i progress transporta. Vestnik Dnepropetrovskogo natsional'nogo universiteta zheleznodorozhnogo transporta [Science and transport progress. Bulletin of Dnepropetrovsk National University of Railway Transport], 2013, no. 2, pp. 118–123.

6. RD 32.68–96. *Guidance document. Estimated unevenness of the railway track for use in research and design of passenger and freight cars*. Moscow, VNIIZhT Publ., 1996, 17 p. (in Russ.).

7. GOST 10791–2011. *Solid-rolled wheels. Technical specifications*. Moscow, Standartinform Publ., 2011, 33 p. (in Russ.).

8. Kik W. *Wear simulation using AC-wheel-rail-element*. Computer Aided Railway Engineering, ArgeCare, Templin, 2013, 18 p.

9. Kik W., Moelle D. *Parallel or on-line simulation of wear using general wheel rail element*. Presentation of 4th VI-grade Users' Conference (18.10.2011–19.10.2011), Udine, Italy. URL: http://www.vi-grade.com/index.php?pagid=4th_vigrade_conference.

ABOUT THE AUTHORS

Alina V. SAIDOVA,

Cand. Sci. (Eng.), Senior Researcher, LLC "All-Union Scientific Research Center for Transport Technologies"

Anna M. ORLOVA,

Dr. Sci. (Eng.), Deputy General Director on scientific-technological development of PJSC "Scientific and Production Corporation "United Wagon Company"

Received 26.04.2017

Accepted 17.07.2017

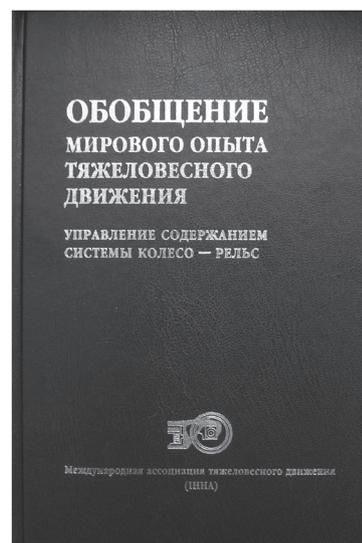
E-mail: av-saidova@yandex.ru (A. V. Saidova)

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, расширяющих 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.

Оценка эффективности эксплуатации грузовых вагонов с улучшенными техническими характеристиками для ОАО «РЖД» на основе проведения испытаний

Г. А. ГРАНОВСКАЯ, Р. В. МУРЗИН, О. А. СУСЛОВ

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

Аннотация. Изложен механизм оценки эффективности эксплуатации грузовых вагонов с улучшенными техническими характеристиками на инфраструктуре железных дорог на основе проведения испытаний. Он позволяет определить влияние эксплуатации таких вагонов на расходы ОАО «РЖД» в части составляющих, в состав которых входят затраты на топливно-энергетические ресурсы для тяги поездов, на содержание пути, на содержание и эксплуатацию грузовых локомотивов, на обслуживание грузовых вагонов в пути следования. Важной особенностью оценки является то, что она базируется на данных, полученных в результате проведения испытаний в условиях реальной эксплуатации.

Ключевые слова: экономический эффект; инновационный вагон; вагон с улучшенными техническими характеристиками; экономия затрат; испытания вагонов; основное удельное сопротивление движению; воздействие на путь; вертикальные и боковые силы; отцепки вагонов; гарантийные участки обращения

Введение. Начиная с 2016 г. парк грузовых вагонов, эксплуатируемых на инфраструктуре ОАО РЖД, достаточно активно пополняется моделями с улучшенными техническими характеристиками, в том числе благодаря решению Правительства о продолжении программы субсидирования производителей и покупателей вагонов [1]. В текущем году на эти цели будет направлено около 5 млрд руб. [2]. Как показал анализ, процессы обновления парка за счет инновационных вагонов активно идут во многих странах [3, 4, 5]. В связи с этим особую важность приобретают вопросы расчета эффективности новых вагонов для перевозчика и владельца инфраструктуры.

В 2015–2016 гг. специалистами АО «ВНИИЖТ» был выполнен комплекс работ по определению влияния инновационных грузовых вагонов на эксплуатационные и экономические показатели работы ОАО «РЖД» на основе проведения испытаний в условиях реальной эксплуатации в рамках договоров, заключенных с ОАО «РЖД» и с заводами-изготовителями вагонов АО «ТВСЗ» и АО «Алтайва-

гон», а также с крупнейшим оператором вагонного парка АО «ФГК».

Технико-экономические расчеты и испытания проводились для следующих моделей грузовых вагонов: 12-9853 и 12-9869 (производства АО «ТВСЗ»); 12-196-01 и 12-196-02 (производства АО «НПК «Уралвагонзавод») и 12-2143 (производства АО «Алтайвагон») в соответствии с требованиями стандарта ОАО «РЖД» 10.002–2015 «Вагоны грузовые инновационные. Правила оценки экономической эффективности» [6], а также согласно программе и графику проведения апробационных испытаний, утвержденным ОАО «РЖД».

Методическая база для расчетов. В целях упорядочения и обеспечения прозрачности процедуры оценки эффекта от эксплуатации инновационных вагонов в 2015 г. был разработан стандарт СТО РЖД 10.002–2015 «Вагоны грузовые инновационные. Правила оценки экономической эффективности» (далее — СТО), который введен в действие с 1 сентября 2016 г. Данный стандарт содержит правила и методологию расчета экономической эффективности применения инновационных вагонов на основании результатов испытаний вагонов в условиях реальной эксплуатации. Такой подход принципиально отличается от применявшегося ранее, когда расчеты проводились на основе результатов математического моделирования.

Правила оценки экономической эффективности эксплуатации инновационных вагонов на инфраструктуре ОАО «РЖД» предусматривают расчет изменения текущих расходов ОАО «РЖД» в зависимости от их конструктивных характеристик, подтвержденных испытаниями, и требований руководства по эксплуатации. Данные правила основаны на едином порядке учета и определения эксплуатационных затрат, связанных с использованием инновационных вагонов.

Оценка результативности для владельца железнодорожной инфраструктуры выполняется на основе сравнения текущих затрат ОАО «РЖД» от использо-

■ E-mail: granovskaya.galina@vniizht.ru (Г. А. Грановская)

вания модели грузового вагона с улучшенными техническими характеристиками и серийно выпускаемого вагона-аналога, обладающего наилучшими техническими характеристиками, на одинаковый объем перевозочной работы.

Порядок выполнения работ по определению экономической эффективности для ОАО «РЖД» от эксплуатации инновационных вагонов предусматривает:

- анализ конструкторской документации инновационного вагона;
- анализ результатов приемочных и сертификационных испытаний с составлением заключения на соответствие критериям инновационности;
- выбор вагона-аналога на основе анализа технических характеристик и данных об эксплуатационном парке вагонов, тип и назначение которых соответствуют рассматриваемой модели вагона, заявленного как инновационный, с составлением соответствующего заключения;
- испытания по определению основного удельного сопротивления движению инновационных вагонов и вагонов-аналогов;
- испытания по определению показателей воздействия инновационных вагонов и вагонов-аналогов на железнодорожный путь;
- подконтрольную эксплуатацию инновационных грузовых вагонов и вагонов-аналогов, которую проводят в соответствии с программой и методикой, разработанными на основе Единой программы и методики организации и проведения подконтрольной эксплуатации новых моделей грузовых вагонов и их составных частей [7]. До 26 октября 2016 г. использовалась Типовая методика организации и проведения подконтрольной эксплуатации новых моделей грузовых вагонов и их составных частей [8];

– расчет экономической эффективности для ОАО «РЖД» от эксплуатации инновационных вагонов.

Таким образом, итогом выполненных работ является расчет экономической эффективности от использования инновационных вагонов, который выполняется для среднесетевых условий эксплуатации рассматриваемой модели вагонов.

Экономическая эффективность использования инновационных вагонов подлежит периодическому подтверждению при внесении изменений в конструкцию вагона и/или технологию перевозок, влияющих на определяющие ее показатели.

В общем виде изменение затрат ОАО «РЖД» при эксплуатации грузовых вагонов с улучшенными техническими характеристиками $\sum \Delta E_i$ рассчитывается в рублях на один вагон в год по формуле

$$\sum \Delta E_i = \eta(\Delta E_1^M + \Delta E_2^M + \Delta E_3^M + \Delta E_4^M) + (1 - \eta)(\Delta E_1^{nb} + \Delta E_3^{nb} + \Delta E_4^{nb}), \quad (1)$$

где $\Delta E_1^M, \Delta E_1^{nb}$ — изменение затрат на топливно-энергетические ресурсы для тяги поездов, связанное с изменением основного удельного сопротивления движению, для маршрутных и повагонных отправок соответственно; η — среднесетевая доля маршрутных отправок в общем грузообороте, осуществляемом вагонами рассматриваемого типа, по данным владельца инфраструктуры; ΔE_2^M — изменение затрат на содержание локомотивов и локомотивных бригад в результате изменения участковой скорости движения поездов, учитывается только по маршрутным отправлениям при условии увеличения допускаемых скоростей движения на инфраструктуре РЖД; $\Delta E_3^M, \Delta E_3^{nb}$ — изменение затрат на содержание пути в результате изменения воздействия на путь вертикальных и боковых сил и, как следствие, повреждаемости пути различными моделями вагонов для маршрутных и повагонных отправок соответственно; $\Delta E_4^M, \Delta E_4^{nb}$ — изменение затрат на обслуживание грузовых вагонов в пути следования по маршрутным и повагонным отправлениям соответственно

$$\Delta E_4^M = \Delta E_{41}^M + \Delta E_{42}^M + \Delta E_{43}^M; \quad (2)$$

$$\Delta E_4^{nb} = \Delta E_{43}^{nb}, \quad (3)$$

где ΔE_{41}^M — изменение затрат на технический осмотр грузовых вагонов в пути следования, связанный с увеличением длины гарантийных участков, учитывается только по маршрутным отправлениям; ΔE_{42}^M — изменение затрат, связанных с сокращением продолжительности занятия станционных путей при техническом осмотре вагонов, учитывается только по маршрутным отправлениям; $\Delta E_{43}^M, \Delta E_{43}^{nb}$ — изменение затрат, связанных с сокращением времени маневровой работы по отцепке технически неисправных вагонов, для маршрутных и повагонных отправок соответственно.

Выполненные расчеты базируются на данных, полученных на основе испытаний, проведенных по специально разработанным программам и методикам, а также на информации, содержащейся в статистической, управленческой отчетности и корпоративных хранилищах ОАО «РЖД».

При определении величин изменения затрат ОАО «РЖД» использовались расходные ставки, которые определяются на основе установленных взаимосвязей между зависящими от объема перевозок затратами и измерителями эксплуатационной работы. В состав расходных ставок включаются расходы в соответствии с порядком, изложенным в Методических рекомендациях по расчету единичных и укрупненных расходных ставок для использования в экономических задачах ОАО «РЖД» по перевозочным видам деятельности [9], которые актуализированы с учетом

Порядка ведения раздельного учета доходов и расходов субъектами естественных монополий в сфере железнодорожных перевозок. Данный порядок утвержден приказом Минтранса России № 225 от 12 августа 2014 г. [10].

Все испытания проводились в открытом режиме с участием представителей заводов-изготовителей и ОАО «РЖД». Полувагоны с улучшенными техническими характеристиками сравнивались с полувагоном-аналогом (модель 12-132) при средневзвешенной номенклатуре грузов, перевозимых в данном подвижном составе. Оценка изменения затрат ОАО «РЖД» при использовании грузовых вагонов с улучшенными техническими характеристиками осуществлялась в зависимости от технологии перевозок (для маршрутных и повагонных отправок) и в среднем по всем видам отправок.

Технические характеристики испытываемых вагонов приведены в таблице.

Основные составляющие эффекта. Составляющие экономии затрат от эксплуатации инновационных вагонов для ОАО «РЖД» связаны с уменьшением динамического воздействия на путь, снижением основного удельного сопротивления движению и объема технического обслуживания вагонов в пути следования, с сокращением затрат на содержание локомотивов (при условии изменения участковой скорости движения грузовых поездов), а также с повышением

погонной нагрузки вагонов. В методологии и расчетах было учтено, что эффект от повышения нагрузки вагона заложен в действующем Прейскуранте 10-01, который предусматривает сокращение платы за перевозку одной тонны груза при росте загрузки вагона. Так как СТО не предусматривает расчет изменения доходов в связи с ростом загрузки вагона, то изменение расходов в связи с указанным фактором тоже не рассматривалось.

Изменение затрат на топливно-энергетические ресурсы. Основным фактором, влияющим на расход топливно-энергетических ресурсов для тяги поездов, является изменение основного удельного сопротивления движению.

Изменение затрат на топливо и электроэнергию для тяги поездов в связи с уменьшением основного удельного сопротивления движению было определено на основе результатов испытаний вагонов-аналогов и вагонов с улучшенными техническими характеристиками в сопоставимых условиях в соответствии с утвержденными программами и методами испытаний.

В целях определения основного удельного сопротивления выполнены испытания полувагонов с УТХ и полувагонов-аналогов на участке Алтайская—Карасук Западно-Сибирской железной дороги. Указанный участок был выбран как наиболее соответствующий методике в части плана и профиля пути и при этом

**Характеристики грузовых вагонов (по данным технической документации)
Characteristics of freight cars (according to technical documentation)**

Производитель Характеристики	АО «ТВСЗ»		АО «НПК Уралвагонзавод»		АО «Алтайвагон»	Вагон-аналог
	12-9853 (люковый)	12-9869 (глухонный)	12-196-01 (люковый)	12-196-02 (люковый)	12-2143 (глухонный)	12-132, код 677 (люковый)
Модель тележки	18-9855	18-9855	18-194-1	18-194-1	18-194-1	18-100
Грузоподъемность, т	75	77	75	75	77	70
Объем кузова, м ³	88 (92)	92 (98)	88	94	94	88
Нагрузка на ось, т	25	25	25	25	25	23,4
Масса тары, т	24,0–25,0	22,0–23,0	23,6–25,0	25,0–26,0	22,5–23,0	23,5–24,0
Погонная нагрузка, т/м	7,18	7,18	7,18	7,18	7,184	6,75
Длина по осям сцепления автосцепок, м	13920±25	13920±25	13920±25	13920+33–20	13920	13920
Пробег между ТО* вагона, км	до 6000	до 6000	до 6000	до 6000	до 6000	1227**
Год начала серийного производства***	2012	2014	2008	2015	2015	1992

Примечания:

* По данным заводов-изготовителей, кроме вагона-аналога.

** Среднесетевой пробег между ТО по данным ЦВ ОАО «РЖД».

*** По данным справочника моделей вагонов ГВЦ ОАО «РЖД».

ТО — техническое обслуживание.

имелась возможность относительно быстро выполнить загрузку одной группы вагонов параллельно с испытаниями другой. Опытные поездки проводились силами АО «ВНИИЖТ» с использованием двух вагонов-лабораторий, что позволяло одновременно испытывать два состава. Вагоны испытывались в изношенном и новом состоянии в трех вариантах загрузки: порожний, полугруженный и груженный. По каждому варианту формировался поезд, состоящий из 65 вагонов.

Совместно с рабочей группой, созданной на Западно-Сибирской железной дороге, были разработаны режимы движения и соответствующие нитки графика движения для опытных составов на данном участке. Для получения необходимого объема исходных данных с каждым составом выполнялось по две поездки в четном и нечетном направлениях по одному и тому же участку. После второй поездки состав из опытных вагонов отправлялся на загрузку, а вагоны-лаборатории перецеплялись к следующей группе вагонов. Благодаря четко организованной работе по загрузке-выгрузке опытных составов и их своевременному прибытию на станцию отправления удалось за относительно короткий промежуток времени провести испытания всех представленных моделей вагонов. В совокупности за время испытаний было совершено более 60 поездок.

После обработки результатов испытаний и нахождения зависимостей основного удельного сопротивления от скорости в соответствии с Приложением А СТО был определен коэффициент изменения основного удельного сопротивления движению — k_{ω} . При этом стало очевидным, что формула определения коэффициента изменения основного удельного сопротивления движению

$$k_{\omega} = \frac{w_0^{\text{инн}}}{w_0^{\text{ан}}}, \quad (4)$$

где $w_0^{\text{инн}}$ — основное удельное сопротивление инновационного вагона, Н/т; $w_0^{\text{ан}}$ — основное удельное сопротивление грузового вагона-аналога, Н/т, неточно отражает зависимость изменения расхода топливно-энергетических ресурсов от изменения сопротивления движению у вагонов с улучшенными техническими характеристиками по сравнению с вагонами-аналогами. Затраты топливно-энергетических ресурсов связаны не только с преодолением основного сопротивления движению, но и с другими составляющими, в том числе с сопротивлением от профиля и плана пути. Указанные составляющие в общем расходе топливно-энергетических ресурсов на тягу примерно одинаковы как для инновационных вагонов, так и для вагонов-аналогов.

Учитывая, что коэффициент изменения основного удельного сопротивления движению k_{ω} входит в фор-

мулу для расчета изменения расходов на топливно-энергетические ресурсы, необходимо чтобы указанный коэффициент учитывал влияние на расход топлива и электроэнергии только изменяющегося фактора, а именно основного удельного сопротивления движению.

Принимая во внимание, что влияние остальных факторов не различается по рассматриваемым моделям вагонов, получим, что разница в расходе топлива и электроэнергии будет зависеть от разницы сопротивлений

$$a_{\omega}^{\text{инн}} - a_{\omega}^{\text{ан}} = \frac{[w_0^{\text{ан}}(v_{\text{ср}}) - w_0^{\text{инн}}(v_{\text{ср}})]}{0,36}, \quad (5)$$

где $a_{\omega}^{\text{инн}}$, $a_{\omega}^{\text{ан}}$ — расход топливно-энергетических ресурсов, затрачиваемых на перемещение вагонов с улучшенными техническими характеристиками и вагонов-аналогов соответственно; 0,36 — переводной коэффициент Н/т в кВт·ч/10⁴ т·км; $v_{\text{ср}}$ — среднетехническая скорость движения грузовых поездов, км/ч.

Соответственно, чтобы найти удельный вес изменения расхода топливно-энергетических ресурсов в связи с преодолением основного сопротивления движению в общем их расходе, используем формулу (6)

$$\frac{a_{\tau}^{\text{инн}} - a_{\tau}^{\text{ан}}}{a_{\tau}^{\text{ср}}} = \frac{[(w_0^{\text{ан}} - w_0^{\text{инн}}) / 0,36]}{a_{\tau}^{\text{ср}}}, \quad (6)$$

где $a_{\tau}^{\text{ср}}$ — среднее значение удельного расхода топливно-энергетических ресурсов на тягу по сети.

Окончательный вид для определения k_{ω} представлен в формуле (7)

$$k_{\omega} = 1 - \frac{w_0^{\text{ан}} - w_0^{\text{инн}}}{0,36a_{\tau}^{\text{ср}}}. \quad (7)$$

Учитывая, что перевозки выполняются разными видами тяги, рекомендуется принимать величину $a_{\tau}^{\text{ср}}$ с учетом структуры видов тяги — электровозной и теплово-зной — в объеме тонно-километровой работы брутто

$$a_{\tau}^{\text{ср}} = a_3\beta_3 + v_{\tau}(1 - \beta_3) \cdot 8,141, \quad (8)$$

где a_3 , v_{τ} — удельный расход электроэнергии и дизельного топлива соответственно, кВт·ч (кг) на 10⁴т·км брутто. Показатели удельного расхода электроэнергии (a_3) и дизельного топлива (v_{τ}) принимают по данным отчетности ОАО «РЖД»; β_3 — доля грузооборота брутто, выполняемого электровозной тягой в общем грузообороте брутто; 8,141 — коэффициент перевода кг условного топлива в кВт·ч.

На первом этапе расчетов коэффициент k_{ω} был рассчитан при средней технической скорости, равной 46,4 км/ч. Проведение испытаний и последующая обработка полученных данных с целью

определения k_{ω} показали, что разница в расходе топливно-энергетических ресурсов между вагоном с улучшенными техническими характеристиками и вагоном-аналогом в значительной степени зависит от величины скорости движения поезда, при которой она определяется, т. е. кривые, выражающие зависимость основного удельного сопротивления от скорости вагонов-аналогов и инновационных вагонов не конформны (см. рисунок). Следовательно, на результаты расчетов k_{ω} оказывает влияние значение скорости.

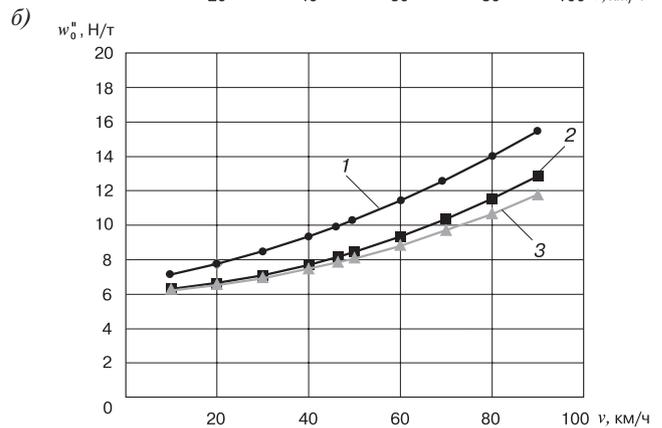
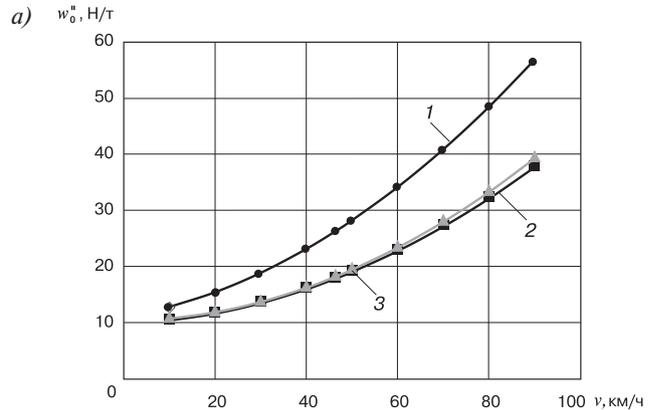
В дальнейших расчетах по определению k_{ω} с целью более точного учета скоростей движения целесообразно при определении основного удельного сопротивления w_0'' использовать весь диапазон значений скорости с учетом их вероятности в соответствии с таблицей 6 ГОСТ 33211–2014 [11], при этом в качестве конструкционной принимается максимальная скорость, с которой эксплуатируются вагоны.

На основе полученных данных было определено основное удельное сопротивление движению инновационных вагонов и вагонов-аналогов, это позволило определить значения коэффициентов, характеризующих изменение затрат топливно-энергетических ресурсов на тягу поездов. Снижение затрат на электроэнергию и топливо составило от 5,2 до 11% в зависимости от модели вагона по сравнению с вагоном-аналогом.

Изменение затрат на содержание пути. Сравнительные испытания по определению воздействия инновационных вагонов на путь проводились на перегонах Калманка — блок-пост Южный и Кузнечная — Присягино Западно-Сибирской железной дороги. Грузовые поезда формировались из 65 вагонов каждой модели в двух технических состояниях: новом и изношенном.

Всего для определения воздействия на путь было сформировано 10 составов, выполнено более 200 измерительных поездок. Испытания проводились как в прямых участках пути, так и в кривых радиусом от 333 до 650 м в диапазоне скоростей от 40 до 90 км/ч. В результате испытаний были получены значения вертикальных и боковых сил, передаваемых от колеса на рельс, определяющих воздействие вагонов на путь. На их основе по методике, изложенной в СТО РЖД 10.002–2015, рассчитывалось изменение затрат на содержание верхнего строения пути при использовании на сети грузовых инновационных вагонов.

Определение разницы в повреждаемости пути различными моделями подвижного состава сводится к определению показателя относительной повреждаемости k_{τ} , который является численным значением коэффициента изменения затрат на текущее содержание пути.



Зависимость основного удельного сопротивления движению от скорости для вагонов в изношенном состоянии: а — порожних; б — груженых; 1 — аналоги; 2 — 12-9853; 3 — 12-9869

Dependence of the main resistivity to movement on speed for cars in a worn condition: а — empty; б — loaded; 1 — analogues; 2 — 12-9853; 3 — 12-9869

$$k_{\tau} = \gamma_{\text{В}} \frac{\left(\frac{[\langle Q_1 \rangle + \lambda \tilde{Q}_1]^2}{[\langle Q_2 \rangle + \lambda \tilde{Q}_2]^2} \right)^{\frac{\chi}{2}}}{\left(\frac{[\langle Y_{\text{В}1} \rangle + \lambda \tilde{Y}_{\text{В}1}]^2}{[\langle Y_{\text{В}2} \rangle + \lambda \tilde{Y}_{\text{В}2}]^2} \right)^{\frac{\chi}{2}}} + \gamma_{\text{ВВ}} \frac{\left(\frac{[\langle Q_1 \rangle + \lambda \tilde{Q}_1]^2}{[\langle Q_2 \rangle + \lambda \tilde{Q}_2]^2} \right)^{\frac{\chi}{2}}}{\left(\frac{[\langle Y_{\text{В}1} \rangle + \lambda \tilde{Y}_{\text{В}1}]^2}{[\langle Y_{\text{В}2} \rangle + \lambda \tilde{Y}_{\text{В}2}]^2} \right)^{\frac{\chi}{2}}}, \quad (9)$$

где $\gamma_{\text{В}}$ — доля повреждаемости пути, связанная с воздействием вертикальных сил: выправки пути, износ подрельсовых прокладок, подкладок, прокладок под подкладки, шпал (по результатам исследований для бесстыкового пути составляет от 0,60 до 0,65); Q_1, Q_2 — значение вертикальной силы, передаваемой от колеса на рельс, для инновационных вагонов и вагонов-аналогов соответственно, кН; \tilde{Q}_1, \tilde{Q}_2 — среднеквадратичное отклонение вертикальной силы, передаваемой от колеса на рельс, для инновационных вагонов и вагонов-аналогов соответственно, кН; $\gamma_{\text{ВВ}}$ — доля повреждаемости пути, связанная с суммарным

воздействием вертикальных и боковых сил: рихтовка, регулировка ширины колеи, замена рельс, болтов, шурупов, износ прокладок под подкладки в крутых кривых, изолирующих элементов скреплений (по результатам исследований для бесстыкового пути составляет 0,35–0,40); Y_{B_1}, Y_{B_2} — значение боковой силы, передаваемой от колеса на рельс, для инновационного вагона и вагона-аналога соответственно, кН; $\tilde{Y}_{B_1}, \tilde{Y}_{B_2}$ — среднеквадратичное отклонение боковой силы, передаваемой от колеса на рельс, для инновационного вагона и вагона-аналога соответственно, кН; λ — нормирующий множитель, характеризующий заданный уровень вероятности (рекомендуемое значение равно 2,5).

$$\langle Q_{i,2} \rangle = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \langle Q_i^{1,2} \rangle k_B; \quad (10)$$

$$\langle Y_{B_{i,2}} \rangle = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \langle Y_{B_i}^{1,2} \rangle k_B; \quad (11)$$

$$\tilde{Q}_{i,2} = k_B \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\tilde{Q}_i^{1,2})^2}; \quad (12)$$

$$\tilde{Y}_{B_{i,2}} = k_B \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\tilde{Y}_{B_i}^{1,2})^2}, \quad (13)$$

где $\langle Q_i^{1,2} \rangle$ — среднее значение вертикальной силы, передаваемой от i -го колеса на рельс, для инновационных вагонов и вагонов-аналогов соответственно, кН; $\langle Y_{B_i}^{1,2} \rangle$ — среднее значение боковой силы, передаваемой от i -го колеса на рельс, для инновационного вагона и вагона-аналога соответственно, кН; $\tilde{Q}_i^{1,2}$ — среднеквадратичное отклонение вертикальной силы, передаваемой от i -го колеса на рельс, от ее среднего значения для инновационного вагона и вагона-аналога соответственно, кН; $\tilde{Y}_{B_i}^{1,2}$ — среднеквадратичное отклонение боковой силы, передаваемой от i -го колеса на рельс, от ее среднего значения для инновационного вагона и вагона-аналога соответственно, кН; i — номер колеса в подвижной единице; N — число колес в подвижной единице; k_B — коэффициент изменения вертикального воздействия; k_B — коэффициент изменения бокового воздействия.

Коэффициенты изменения вертикального и бокового воздействий применяют в том случае, если количество осей в тележках инновационных вагонов и вагонов-аналогов различно. Средние значения и среднеквадратичные отклонения для вертикальной и боковой сил у каждого колеса инновационного вагона и вагона-аналога в зависимости от характеристики плана линии и скорости движения определяют экспериментальным и расчетным методом по верифицированным моделям.

Экспериментальное определение необходимых параметров вертикальной и боковой сил выполняют

в соответствии с требованиями ГОСТ Р 55050–2012 [12] по результатам испытаний.

Для определения значения изменения затрат на содержание пути на определенном маршруте следования применяется приведенное значение показателя относительной повреждаемости, определенное с учетом фактических значений параметров плана линии и скоростей движения на рассматриваемом маршруте.

Согласно результатам испытаний и проведенным на их основе расчетам изменение затрат на содержание верхнего строения пути при использовании на сети грузовых инновационных вагонов составило 0,8–3,0% в зависимости от модели вагона.

Изменение затрат на техническое обслуживание вагонов в пути следования. Расчет изменения затрат на обслуживание грузовых вагонов в пути следования (составляющая ΔE_4) проведен на основе данных анализа эксплуатационной работы инновационных вагонов за 12 месяцев 2015 г. и первое полугодие 2016 г., представленного ПКБ ЦВ, данных ЦВ и заводов-изготовителей о длине гарантийных участков обслуживания вагонов.

При определении количества отцепок, происходящих на 1 000 000 ваг-км пробега, в целях обеспечения сопоставимости имеющихся исходных данных были сделаны выборки по количеству отцепок вагона-аналога по годам ввода в эксплуатацию для осуществления сравнения вагонов одинакового возраста. Выборка по вагонам-аналогам (модель 12-132), введенным в эксплуатацию с 2008 по 2016 г., использовалась для сравнения с моделью 12-196-01; с 2012 по 2016 г. — с моделью 12-9853; с 2014 по 2016 г. — с моделями 12-9869 и 12-2142; с 2015 по 2016 г. — с моделями 12-196-02 и 12-2143.

В связи с этим формулы расчета составляющих ΔE_{41} (изменение затрат, связанных с техническим обслуживанием грузовых вагонов в пути следования) и ΔE_{43} (изменение затрат на маневровую работу по отцепке технически неисправных вагонов) адаптированы к имеющимся исходным данным и имеют следующий вид

$$\Delta E_{41} = 365 e_{\text{вкм}} \left(1 - \frac{n_{\text{то}}^{\text{н}}}{n_{\text{то}}^{\text{а}}} k_N \right) S_{\text{сут}}^{\text{ваг}}; \quad (14)$$

$$\Delta E_{43} = 365 e_{\text{ман}} t_{\text{ман}} S_{\text{сут}}^{\text{ваг}} n_{\text{оа}} \left(1 - \frac{n_{\text{оа}}^{\text{н}}}{n_{\text{оа}}^{\text{а}}} \right) \cdot 10^{-6}, \quad (15)$$

где $e_{\text{вкм}}$ — расходная ставка на вагоно-км грузовых вагонов парка различной принадлежности, руб.; $n_{\text{то}}^{\text{а}}$ — количество технических обслуживаний за оборот вагона-аналога; $n_{\text{то}}^{\text{н}}$ — количество технических обслуживаний за оборот вагона с улучшенными техническими характеристиками; k_N — коэффициент изменения числа погрузок вагона с улучшенными техническими характеристиками (УТХ) в результате увеличения его загрузки; $S_{\text{сут}}^{\text{ваг}}$ — среднесуточный пробег грузового ва-

гона, км; $e_{\text{ман}}$ — расходная ставка на локомотиво-час маневровой работы, руб.; $t_{\text{ман}}$ — время выполнения маневровым локомотивом работы по отцепке неисправного вагона, ч; $n_{\text{он}}$ — количество отцепок вагонов с УТХ на 1 000 000 ваг-км пробега; $n_{\text{оа}}$ — количество отцепок вагонов-аналогов на 1 000 000 ваг-км пробега.

Изменение затрат на маневровую работу по отцепке технически неисправных вагонов учтено как по маршрутным, так и по повагонным отправлениям, так как вероятность отцепки вагона в расчете на 1 000 000 ваг-км не зависит от вида отправки.

Экономия расходов на обслуживание грузовых вагонов в пути следования в среднем составляет 2,1–4,0 тыс. руб. на 1 вагон в год.

Затраты на содержание локомотивов и локомотивных бригад. В исследовании было определено, что участковая скорость движения поездов не зависит от модели вагонов и определяется Нормами допустимых скоростей подвижного состава по железнодорожным путям колеи 1520 (1524) мм федерального железнодорожного транспорта [13]. Нормы допустимых скоростей одинаковы для вагонов с улучшенными техническими характеристиками и вагона-аналога, график движения поездов не зависит от модели грузового вагона, следовательно коэффициент изменения участковой скорости k_v равен 0. В этом случае изменение затрат на содержание локомотивов и локомотивных бригад в результате изменения скорости (составляющая ΔE_2) тоже равно 0.

Выводы. Техничко-экономическую оценку изменения затрат ОАО «РЖД» в случае эксплуатации инновационных грузовых вагонов следует использовать для разработки бюджетов в увязке с планами приобретения новых вагонов, при подготовке предложений по развитию тарифных механизмов, стимулирующих приобретение вагонов с улучшенными техническими характеристиками, которые обеспечивают дополнительный экономический эффект, связанный со снижением расходов владельца инфраструктуры. Целью таких механизмов является, с одной стороны, стимулирование обновления подвижного состава за счет инновационных вагонов, с другой — повышение эффективности работы железнодорожного транспорта. Опираясь на проведенную АО «ВНИИЖТ» оценку эффекта для ОАО «РЖД», экспертная комиссия Федеральной антимонопольной службы РФ 27 апреля 2017 г. одобрила применение тарифной схемы 25 (4) с пониженной платой за порожний пробег вагонов для полувагонов модели 12-2143 производства АО «Алтайзавод».

Согласно установленным в настоящее время тарифным преференциям для ряда моделей инновационных вагонов эффект от их эксплуатации на инфраструктуре РЖД в полном объеме включен в тарифные схемы. Для повышения заинтересованности ОАО «РЖД» в эксплуатации инновационных вагонов представляется целесообразным оставлять у владельца инфраструктуры от 30 до 50 % величины экономического эффекта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 21 января 2016 г. № 57-р. Программа поддержки транспортного машиностроения на 2016 год.
2. Лушников А. В. Видеть перспективу, работать на нее // Транспорт России. 2017. 1–7 мая. URL: <http://transportrussia.ru/item/3626-18-981-1-7-maya-2017-goda.html> (дата обращения: 04.05.2017 г.).
3. Collaboration avec l'Autriche // Le Rail. 2016. № 225/226. P. 6–10.
4. High-capacity van // Railway Gazette International. 2016. № 6. P. 19–20.
5. Білоруські залізничники задоволені якістю інноваційних вантажних вагонів КВБЗ: за матеріалами // Вагонний парк: міждунар. інформаційний науч.-техн. журнал. 2016. № 7/8. URL: <http://www.kvsz.com> (дата обращения: 20.05.2017 г.).
6. Стандарт СТО РЖД 10.002–2015. Вагоны грузовые инновационные. Правила оценки экономической эффективности: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 26.04.2016 г. № 763 с изм. и доп., введенными распоряжением ОАО «РЖД» от 30.08.2016 г. № 1826р. Екатеринбург: УралЮрИздат, 2016. 38 с.
7. Единая программа и методика организации и проведения подконтрольной эксплуатации новых моделей грузовых вагонов и их составных частей: утв. Советом по железнодорожному транспорту государств — участников Содружества; утв. приказом Минтранса России от 21.11.2016 г. № 348. 19 с.
8. Типовая методика организации и проведения подконтрольной эксплуатации новых моделей грузовых вагонов и их составных частей: утв. распоряжением НП «ОПЖТ» от 22.10.2013 г. № 23. 34 с.
9. Методические рекомендации по расчету единичных и укрупненных расходных ставок для использования в экономических задачах ОАО «РЖД» по перевозочным видам деятельности: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 08.12.2015 г. № 2874р. 29 с.
10. Порядок ведения раздельного учета доходов и расходов субъектами естественных монополий в сфере железнодорожных перевозок: утв. приказом Минтранса России от 12.08.2014 г. № 225. 831 с. URL: <https://rg.ru/2014/12/29/perevozki-dok.html>.
11. ГОСТ 33211–2014. Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам. М.: Стандартинформ, 2016. 53 с.
12. ГОСТ Р 55050–2012. Железнодорожный подвижной состав. Нормы допустимого воздействия на железнодорожный путь и методы испытаний. М.: Стандартинформ, 2013. 15 с.
13. Нормы допустимых скоростей движения подвижного состава по железнодорожным путям колеи 1520 (1524) мм федерального железнодорожного транспорта: утв. приказом МПС России от 12.11.2001 г. № 41. М.: Транспорт, 2001. 121 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

ГРАНОВСКАЯ Галина Ананьевна,
канд. экон. наук, ведущий научный сотрудник,
АО «ВНИИЖТ»

МУРЗИН Роман Вилорьевич,
канд. техн. наук, заместитель генерального директора,
АО «ВНИИЖТ»

СУСЛОВ Олег Александрович

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

Статья поступила в редакцию 18.05.2017 г., актуализирована
24.07.2017 г., принята к публикации 07.08.2017 г.

Performance evaluation of operating freight cars with improved technical characteristics for JSC “Russian Railways” on the testing basis

G. A. GRANOVSKAYA, R. V. MURZIN, O. A. SUSLOV

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

Abstract. The article describes the mechanism for evaluating the efficiency of operating freight cars with improved technical characteristics on the infrastructure of railways on the basis of complex tests. It allows determining the impact of the operation of such cars on the costs of JSC “Russian Railways”, including the costs of fuel and energy resources for traction of trains, the maintenance of the railway track, the maintenance and operation of freight locomotives and the maintenance of freight cars along the route. An important feature of the assessment is that it is based on data obtained as a result of testing in real-world conditions.

Technical and economic assessment of the change in costs of JSC “Russian Railways” in the case of the operation of innovative freight cars should be used in the development of budgets in conjunction with the plans to purchase new cars, to prepare proposals for the development of tariff mechanisms that stimulate the purchase of cars with improved technical characteristics that provide additional economic benefits, associated with a decrease in the costs of the owner of the infrastructure. The purpose of such mechanisms is, on the one hand, to stimulate the renewal of rolling stock through innovative carriages, on the other hand, to improve the efficiency of rail transport. Based on JSC “VNIIZhT” assessment of the effect for JSC “Russian Railways”, the expert commission of the Federal Antimonopoly Service of the Russian Federation approved the application of the tariff scheme 25 (4) with a reduced fee for the empty run of cars for 12-2143 gondola cars produced by JSC “AltaiZavod”.

According to the current price list for freight transportation, the effect of operating a number of models of innovative cars on the infrastructure of JSC “Russian Railways” is fully included in tariff preferences. However, to increase the interest of Russian Railways in the operation of innovative cars, it seems advisable to leave the owner of the infrastructure between 30 and 50 % of the economic effect.

Keywords: economic effect; innovative car; car with improved technical characteristics; cost saving; car testing; main resistivity to motion; impact on the track; vertical and lateral forces; cars uncoupling; guarantee sections for handling

DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2017-76-4-209-216>

REFERENCES

1. Order of the Government of the Russian Federation of January 21, 2016, no. 57-r. *Support program for transport engineering for 2016* (in Russ.).
2. Lushnikov A.V. *To see the future, to work on it*. Transport of Russia. 1–7 May, 2017. URL: <http://transportrussia.ru/item/3626-18-981-1-7-maya-2017-goda.html> (retrieved on 04.05.2017).
3. *Collaboration avec l’Autriche*. Le Rail, 2016, no. 225/226, pp. 6–10. (in French).
4. *High-capacity van*. Railway Gazette International, 2016, no. 6, pp. 19–20.

5. *Білоруські залізничники задоволені якістю інноваційних вантажних вагонів КВБЗ: За матеріалами*. Wagon fleet: International Informational Scientific and Technical Journal, 2016, no. 7/8. URL: <http://www.kvsz.com> (retrieved on 20.05.2017).

6. Standard STO RZD 10.002–2015. *Innovative freight cars. Rules for assessing economic efficiency*. Approved by the order of JSC “RZD” of 26.04.2016, no. 763 with amendments and additions introduced by the order of JSC “RZD” of August 30, 2016, no. 1826r. Ekaterinburg, UralYurlzdat Publ., 2016, 38 p. (in Russ.).

7. *Unified program and methodology for the organization and conduct of controlled operation of new models of freight cars and its components*. Approved by the Council for Rail Transport of the Commonwealth Member States, approved by the Ministry of Transport of Russia on November 21, 2016, no. 348, 19 p. (in Russ.).

8. *Typical methodology for the organization and carrying controlled operation of new models of freight cars and its components*. Approved by the order of NP “OPZhT” of October 22, 2013, no. 23, 34 p. (in Russ.).

9. *Methodical recommendations on the calculation of single and aggregate expenditure rates for use in the economic objectives of JSC “RZD” for transportation activities*. Approved by the order of JSC “RZD” from December 8, 2015, no. 2874r, 29 p. (in Russ.).

10. *The order of separate accounting of incomes and expenses by subjects of natural monopolies in the sphere of railway transportation*. Approved by the order of the Ministry of Transport of Russia on August 12, 2014, no. 225, 831 p. (in Russ.). URL: <https://rg.ru/2014/12/29/perevozki-dok.html>.

11. GOST 33211–2014. *Freight cars. Requirements for strength and dynamic qualities*. Moscow, Standartinform Publ., 2016, 53 p.

12. GOST R 55050–2012. *Railway rolling stock. Norms of permissible impact on the railway track and test methods*. Moscow, Standartinform Publ., 2013, 15 p.

13. *Norms of permissible speeds of rolling stock on the railway tracks of 1520 (1524) mm gauge of the Federal Railway Transport*. Approved by the order of the Ministry of Railways of November 12, 2001, no. 41. Moscow, Transport Publ., 2001, 121 p. (in Russ.).

ABOUT THE AUTHORS

Galina A. GRANOVSKAYA,
Cand. Sci. (Econ.), Leading Researcher, JSC “VNIIZhT”

Roman V. MURZIN,
Cand. Sci. (Eng.), Deputy General Director, JSC “VNIIZhT”

Oleg A. SUSLOV,
Cand. Sci. (Eng.), Director of the Research Center “Track infrastructure and issues of wheel — rail interaction” (NTs TsPRK), JSC “VNIIZhT”

Received 18.05.2017

Revised 24.07.2017

Accepted 07.08.2017

■ E-mail: granovskaya.galina@vniizht.ru (G. A. Granovskaya)

Двухэтажные пассажирские вагоны максимально возможного габарита подвижного состава T_6

Ю. М. ЛАЗАРЕНКО¹, Д. Н. АРШИНЦЕВ¹, И. С. ЕРМИШКИН², Е. В. КАПУСКИНА¹, Е. А. МИТИНА¹

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

² Открытое акционерное общество «Тверской вагоностроительный завод» (ОАО «ТВЗ»), Тверь, 170003, Россия

Аннотация. Рассматриваются вопросы применения увеличенных габаритов подвижного состава, разработанных АО «ВНИИЖТ», для конструирования инновационного подвижного состава. Главное внимание уделяется созданию на Тверском вагоностроительном заводе двухэтажного пассажирского вагона с использованием габарита T_6 — самого большого в мире габарита подвижного состава. Еще не все габариты приближения строений объектов инфраструктуры на сети железных дорог обеспечивают безопасный пропуск вагонов габарита T_6 .

В статье освещаются мероприятия, осуществляемые Центральной дирекцией инфраструктуры ОАО «РЖД», по проверке фактических габаритов сооружений и устройств на маршрутах обращения поездов с двухэтажными вагонами габарита T_6 , а также по расширению полигона уже эксплуатируемых двухэтажных вагонов габарита $T_{пр}$.

Ключевые слова: увеличенный габарит подвижного состава; двухэтажные пассажирские вагоны; подготовка маршрутов обращения двухэтажных вагонов; габарит приближения строений объектов инфраструктуры; контрольное очертание приближения строений; габариты подвижного состава $T_{пр}$, $T_{ц}$, T_a , T_6

Введение. Центральная дирекция инфраструктуры ОАО «РЖД» по просьбе Тверского вагоностроительного завода (ОАО «ТВЗ») в конце декабря 2016 г. приняла решение о проверке фактических габаритов сооружений и устройств на маршрутах обращения поездов с двухэтажными вагонами, а также об устранении препятствий для них в рамках программы «Год пассажира».

На ОАО «ТВЗ» ранее уже были спроектированы и изготовлены двухэтажные вагоны моделей 61-4465, 61-4472, 61-4473, 61-4492. Проведенные на Экспериментальном кольце АО «ВНИИЖТ» испытания габаритов двухэтажных вагонов габарита $T_{пр}$ подтвердили их полное соответствие требованиям ГОСТ 9238–2013, и в настоящее время они эксплуатируются на железных дорогах Российской Федерации (рис. 1) [1–5].

С габарита подвижного состава $T_{пр}$ начинается ряд разработанных АО «ВНИИЖТ» увеличенных габаритов для создания в перспективе нового более эффективного подвижного состава. Приказом МПС СССР № 22Ц в 1982 г. было дано задание железным дорогам о подготовке сети к 2000 г. к практическому применению этих габаритов.

В 2005 г. руководством ОАО «РЖД» было принято решение о строительстве полувагонов по габариту $T_{пр}$, которые эксплуатируются в настоящее время на маршруте Заозерная — Мариинск — Исылькуль — Кропачево — Ряжск — Вослебово — Рязанская ГРЭС.

Следующий увеличенный габарит $T_{ц}$ разработан институтом для цистерн с диаметром кузова до 3600 мм (вместо 3100, 3250 по обычному габариту), однако в настоящее время практически не используется. Сооружения сети в основном не имеют ограничений на его применение.

Увеличенный габарит подвижного состава T_a широко используется для создания скоростных и высокоскоростных поездов, в числе которых Сапсан, Ласточка, Аллегро.

Последний в ряду увеличенных габаритов подвижного состава как самый емкий не только в России, но и в мире, имеющий наибольшее число габаритных ограничений и расходов на их устранение и потому остающийся пока в числе невостребованных, — это габарит T_6 . На сегодня вопросы практического использования этого габарита являются актуальными и рассматриваются в данной статье.

Актуальность и условия применения габарита T_6 . Учитывая опыт эксплуатации и с целью устранения недостатков в комфорте перевозимых пассажиров на верхней полке купе второго этажа вагона габарита $T_{пр}$, ОАО «ТВЗ» обратился в ОАО «РЖД» с просьбой разрешить применение габарита T_6 (рис. 2) (полный габарит T с верхним очертанием по штриховой линии $1 - b - b_1 - a_2 - 4 - 10$ рис. 1 ГОСТ 9238–2013) для создания новых двухэтажных вагонов.

Следует заметить, что применение данного габарита создает условия для решения задачи обеспечения регулирования температуры в вагоне.

Габарит T_6 — это максимальное верхнее очертание габарита T , которое включено в ГОСТ 9238–2013, но из-за несоответствия ему верхней части внутренних очертаний еще имеющихся негабаритных тоннелей, галерей, мостов с ездой понизу, путепроводов, пешеходных мостов, нарушающих габарит приближения строений C , по условиям безопасности движения не разрешено для создания подвижного состава, под-



Рис. 1. Двухэтажный поезд габарита T_{np} на маршруте Москва—Адлер
 Fig. 1. Double-deck passenger train of T_{np} dimension standard on the route Moscow—Adler

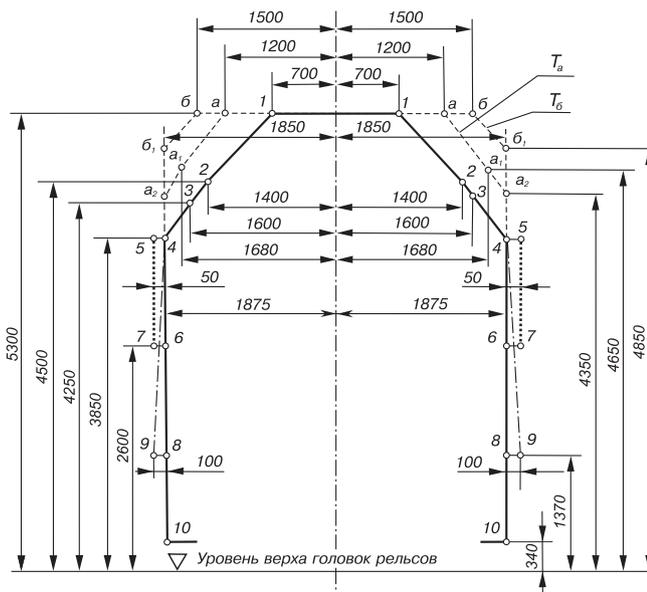


Рис. 2. Статический габарит T

- — только для сигнальных устройств и зеркал заднего вида;
- — — — — для выступающих частей: поручней, подлокотников, козырьков для стока воды, параванов и др. В открытом положении параваны должны вписываться в очертание для сигнальных устройств;
- — очертание применяется по согласованию с владельцем инфраструктуры (для железнодорожных путей общего пользования ОАО «РЖД»)

Fig. 2. Static dimension standard T

- — only for signaling devices and rear-view mirrors;
- — — — — for protruding parts: handrails, armrests, screens for water drainage, paravanes, etc. In the open position, the paravanes should fit into the outline for signaling devices;
- — the outline is applied in agreement with the owner of the infrastructure (for the railway tracks of the general use of JSC "Russian Railways")

лежащего эксплуатации на железнодорожных путях общего пользования. Чтобы дать такое разрешение,

необходимо провести исследование фактических габаритов сооружений и убедиться, что указанные сооружения приведены в соответствие с габаритом приближения строений С.

При выявлении негабаритного сооружения необходимо сделать дополнительную проверку его соответствия контрольному очертанию приближения строений, которое меньше, чем габарит С, но обеспечивает безопасный пропуск двухэтажных вагонов и может временно эксплуатироваться до необходимости реконструкции объекта по физическому состоянию. АО «ВНИИЖТ» для указанной проверки разработал два вида контрольных очертаний: KO_{65} — для двухэтажных вагонов уже созданных моделей 61-4465, 61-4472, 61-4473, 61-4492 и KO_{16} — для новых вагонов в габарите T_6 . Разработанные институтом очертания утверждены распоряжением ОАО «РЖД» № 2778р от 29.12.2016 г., и по завершению проверки соответствия всех маршрутов указанным габаритным нормам планируется подготовить рекомендации по условиям обращения на сети двухэтажных пассажирских вагонов габаритов T_{np} и T_6 , а также предложения по уточнению условий применения габарита T_6 в ГОСТ 9238—2013 при его актуализации [6–7].

Выводы. 1. Применение увеличенного габарита подвижного состава T_6 при создании ОАО «ТВЗ» новых двухэтажных вагонов является актуальным решением для устранения выявленного в процессе эксплуатации двухэтажных вагонов модели 61-4465 (72, 73, 92) недостатка в комфорте пассажиров на верхней полке купе второго этажа вагона габарита T_{np} .

2. Для решения задачи обеспечения регулирования температуры в вагоне применение увеличенного габарита подвижного состава T_6 создает необходимые условия.

3. С целью подготовки маршрутов обращения двухэтажных поездов увеличенного габарита T_6 ОАО «РЖД» приняты разработанные АО «ВНИИЖТ» требования к фактическим габаритам приближения строений для пропуска вагонов габарита T_6 .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лазаренко Ю. М. Исторические и научно-технические предпосылки нового стандарта «Габариты железнодорожного подвижного состава и приближения строений» // Вестник ВНИИЖТ. 2014. № 5. С. 21–29.
2. Богданов В. М. Использование габаритных возможностей сети для повышения провозной способности // Увеличение габаритов и повышение погонных нагрузок грузовых вагонов: сб. науч. тр. ВНИИЖТ / под ред. В. М. Богданова. М.: Транспорт, 1983. Вып. 660. С. 4–17.
3. Вериго М. Ф., Богданов В. М. Основные проблемы, связанные с введением на сети железных дорог СССР габарита Т. Повышение эффективности использования габаритов приближения строений и подвижного состава железных дорог: сб.

тр. ВНИИЖТ / под ред. А. Б. Острова. М.: Транспорт, 1976. Вып. 553. С. 22–29.

4. Современные габаритные возможности железных дорог / Ю. М. Лазаренко [и др.] // Железнодорожный транспорт. 1978. № 4. С. 61–66.

5. Лазаренко Ю. М., Богданов В. М. Совершенствование габаритов на железных дорогах ОСЖД // Бюллетень ОСЖД. 1980. № 4. С. 9–13.

6. Объемы работ по подготовке железных дорог и путей промышленного транспорта для применения грузовых вагонов увеличенного габарита. Требования к габаритам сооружений и между путей при подвижном составе габарита T_{np} / А. Б. Остров [и др.] // Увеличение габаритов и повышение погонных нагрузок грузовых вагонов: сб. науч. тр. ВНИИЖТ / под ред. В. М. Богданова. М.: Транспорт, 1983. Вып. 660. С. 17–33.

7. Контрейлерный габарит погрузки, проблемы и процесс внедрения / Ю. М. Лазаренко [и др.] // Вестник ВНИИЖТ. 2017. Т. 76. № 1. С. 31–37. DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2017-76-1-31-37>.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

ЛАЗАРЕНКО Юрий Михайлович, канд. техн. наук, заведующий лабораторией, АО «ВНИИЖТ»

АРШИНЦЕВ Дмитрий Николаевич, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник, АО «ВНИИЖТ»

ЕРМИШКИН Иван Сергеевич, первый заместитель главного конструктора, ОАО «ТВЗ»

КАПУСКИНА Елена Владимировна, ведущий инженер, АО «ВНИИЖТ»

МИТИНА Елена Алексеевна, научный сотрудник, АО «ВНИИЖТ»

Статья поступила в редакцию 07.04.2017 г., принята к публикации 15.06.2017 г.

Double-deck passenger cars of maximum possible dimension standard for the rolling stock of type T_6

Yu. M. LAZARENKO¹, D. N. ARSHINTSEV¹, I. S. ERMISHKIN², E. V. KAPUSKINA¹, E. A. MITINA¹

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

²Joint Stock Company "Tver Car Plant" (JSC "TVZ"), Tver, 170003, Russia

Abstract. Double-deck cars of the models 61-44465, 61-4442, 61-4473, 61-4442 were designed and manufactured at the Tver Car Building Plant. Tests of dimensions of double-deck cars of T_{np} dimension standard carried out on the Test Loop of JSC "VNIIZhT" confirmed their full compliance with the requirements of GOST 9238–2013 and currently they are operated on the railways of the Russian Federation. The article deals with the application of increased dimensions of the rolling stock developed by JSC "VNIIZhT" to create an innovative rolling stock. The main attention is paid to the creation of a double-deck passenger car at Tver Car Plant using the T_6 dimension standard — the world's largest overall size of rolling stock. The structure clearance gauge of infrastructure facilities on the railway network provides insufficiently safe passage of cars of T_6 dimensions.

The article highlights activities carried out by the Central Directorate of Infrastructure of JSC "Russian Railways" to check the actual dimensions of structures and devices on the routes of trains with double-deck cars of T_6 dimension, as well as to expand the range of double-deck cars of T_{np} standard being already in operation.

Identified in the operation of double-deck cars of model 61-4465 (72, 73, 92) passenger discomfort on the upper berth of the second deck compartment of car with T_{np} dimension standard the Tver Car Plant decided to eliminate due to application of dimensions T_6 . It should be separately noted that the use of this dimension creates conditions for solving the problem of providing temperature control in the car.

The requirements developed by JSC "VNIIZhT" for the actual structure clearance gauge for the passage of cars of T_6 dimensions have been accepted by JSC "Russian Railways" for the preparation of circulation of double-deck trains of T_6 dimension standard.

Keywords: increased rolling stock dimensions; double-deck passenger cars; route preparation for double-deck train circulation; structure clearance gauge for infrastructure objects; control outline of structure gauge; rolling stock dimension standards T_{np} , $T_{ц}$, T_a , T_6

DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2017-76-4-217-220>

REFERENCES

1. Lazarenko Yu. M. *Istoricheskie i nauchno-tehnicheskie predposylki novogo standarta "Gabarity zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava i priblizheniya stroeniy"* [Historical, scientific and technical prerequisites of the new standard "Dimensions of railway rolling stock and structure gauge"]. Vestnik VNIIZhT [Vestnik of the Railway Research Institute], 2014, no. 5, pp. 21–29.

2. Bogdanov V. M. *Ispol'zovanie gabaritnykh vozmozhnostey seti dlya povysheniya provoznoy sposobnosti. Uvelichenie gabaritov i povyshenie pogonnykh nagruzok gruzovykh vagonov*. Sb. tr. VNIIZhT [Using dimension capabilities of the network to increase the carrying capacity. Increase in dimensions and increase in running loads of freight cars. Proc. of VNIIZhT]. Moscow, Transport Publ., 1983, no. 660, pp. 4–17.

3. Verigo M. F., Bogdanov V. M., Ostrov A. B. *Osnovnye problemy, svyazannye s vvedeniem na seti zheleznykh dorog SSSR gabarita T. Povyshenie effektivnosti ispol'zovaniya gabaritov priblizheniya stroeniy i podvizhnogo sostava zheleznykh dorog*. Sb. tr. VNIIZhT [The main problems associated with the introduction of T dimension standard on the network of railways of the USSR. Increasing the efficiency of using the dimensions of approaching buildings and rolling stock of railways. Proc. of VNIIZhT]. Moscow, Transport Publ., 1976, no. 553, pp. 22–29.

4. Lazarenko Yu. M., Bogdanov V. M., Ostrov A. B., Vol'kovich Yu. N. *Sovremennye gabaritnye vozmozhnosti zheleznykh dorog* [Modern overall dimension capacities of railways]. Zheleznodorozhnyy transport [Railway transport], 1978, no. 4, pp. 61–66.

5. Lazarenko Yu. M., Bogdanov V. M. *Sovershenstvovanie gabaritov na zheleznykh dorogakh OSZhD* [Improvement of overall dimensions on the railways of OSZhD]. Bulletin' OSZhD [OSJD Bulletin], 1980, no. 4, pp. 9–13.

6. Ostrov A. B., Lazarenko Yu. M., Vol'kovich Yu. N. *Ob'emy rabot po podgotovke zheleznykh dorog i putey promyshlennogo transporta dlya primeneniya gruzovykh vagonov uveli-*

chennogo gabarita. Trebovaniya k gabaritam sooruzheniy i mezhduputiy pri podvizhnom sostave gabarita T_{np} [Amount of work for the preparation of railways and industrial transport routes for enlarged freight cars. Requirements for obstruction and intertrack clearance for T_{np} clearance gauge of rolling stock]. Sb. tr. VNIIZhT [Proc. of VNIIZhT]. Moscow, Transport Publ., 1983, no. 660, pp. 17–33.

7. Lazarenko Yu. M., Arshintsev D. N., Zavertalyuk A. V., Bondarev V. N., Mitina E. A., Kapuskina E. V. *Kontreylernyy gabarit pogruzki, problemy i protsess vnedreniya* [Piggyback loading gauge, the problem and the process of implementation]. Vestnik VNIIZhT [Vestnik of the Railway Research Institute], 2017, Vol. 76, no. 1, pp. 31–37. DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2017-76-1-31-37>.

■ E-mail: lazarenko_um@list.ru (Yu. M. Lazarenko)

ABOUT THE AUTHORS

Yuriy M. LAZARENKO,
Cand. Sci. (Eng.), Head of the laboratory, JSC "VNIIZhT"

Dmitriy N. ARSHINTSEV,
Cand. Sci. (Eng.), Leading Researcher, JSC "VNIIZhT"

Ivan S. ERMISHKIN,
First Deputy of Chief Engineer, JSC "TVZ"

Elena V. KAPUSKINA,
Leading Engineer, JSC "VNIIZhT"

Elena A. MITINA,
Researcher, JSC "VNIIZhT"

Received 07.04.2017

Accepted 15.06.2017

ВЫШЛИ В СВЕТ ТРУДЫ ВНИИЖТ

Берент В. Я. Сильноточный скользящий контакт (свойства, повреждаемость и процессы, протекающие в нем). М.: АНАЛИТИКА РОДИС, 2016. 328 с.

Рассмотрены процессы, протекающие в материалах сильноточного скользящего контакта при их взаимодействии, а также свойства различных электротехнических медных сплавов применительно к проводам контактной сети электрифицированных железных дорог. Проведена классификация дефектов и поврежденных контактных проводов и токосъемных элементов ползцов токо-

АСУ «Экспресс» — автоматизированная система управления пассажирскими перевозками на железнодорожном транспорте / А. В. Комиссаров [и др.]; под ред. А. В. Комиссарова. М.: АНАЛИТИКА РОДИС, 2016. 126 с. (Труды ОАО «ВНИИЖТ»).

В книге рассмотрены бизнес-процессы пассажирских перевозок с использованием автоматизированной системы управления пассажирскими перевозками «Экспресс-3». Читателю предоставляется возмож-

Антюхин Г. Г., Поварков И. Л. Совершенствование учета расхода моторного масла тепловозами. М.: АНАЛИТИКА РОДИС, 2016. 101 с.

Обоснованы направления совершенствования учета расхода моторного масла тепловозами и разработаны методические подходы к его реализации.

Косарев А. Б., Косарев Б. И., Сербиненко Д. В. Электромагнитные процессы в системах энергоснабжения железных дорог переменного тока. М.: ВМГ-Принт, 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. С привлечением методов линейной алгебры и теории многополиусиков рассмотрены матричные методы анализа энергетических соотношений в современных системах тягового электроснабжения при учете несинусоидального характера токов

приемников в эксплуатации. Показана перспективность использования нанотехнологии для изготовления проводов и токосъемных элементов ползцов из медных дисперсно-упрочненных композитов и сделано технико-экономическое обоснование целесообразности использования новых разработок.

Книга предназначена для использования в работе специалистами служб электрификации и локомотивного хозяйства ОАО «РЖД», а также может быть полезна преподавателям и студентам транспортных вузов.

ность ознакомиться с этапами развития информационных технологий пассажирского комплекса ОАО «РЖД» на базе АСУ «Экспресс-3».

Издание предназначено для руководителей и инженерно-технического состава пассажирского комплекса, специалистов, связанных с разработкой и внедрением информационных технологий на железных дорогах РФ, научных работников, преподавателей и студентов транспортных вузов.

Книга предназначена для научных и инженерно-технических работников железнодорожной отрасли, занимающихся вопросами расходования горюче-смазочных материалов тягового подвижного состава, а также может быть полезна преподавателям и студентам транспортных вузов.

электровозов. Основные технические решения по обеспечению электромагнитной совместимости систем тягового электроснабжения защищены авторскими свидетельствами и патентами на полезную модель.

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

По вопросам приобретения книг 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.

Экономическая методология управления инновационно-ориентированным развитием железнодорожного транспорта

Д. А. МАЧЕРЕТ^{1, 2}, А. В. КУДРЯВЦЕВА¹

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

² Российский университет транспорта (МИИТ), Москва, 127994, Россия

Аннотация. Для обеспечения стратегической конкурентоспособности железнодорожной отрасли ее долгосрочное развитие должно быть инновационно-ориентированным. Экономический инструментарий управления инновационно-ориентированным развитием железнодорожного транспорта должен базироваться на адекватной экономической методологии, разработка которой является актуальной научной задачей.

В статье рассмотрены методологические подходы к управлению инновационно-ориентированным развитием. На основе синтеза этих подходов предложена методология отбора перспективных инновационных проектов и решений, учитывающая как социально-экономическое, так и отраслевое измерение. Пояснено, что представленная методология содержит исключительно качественные подходы к оценке перспективности инноваций согласно принципу субъективной оценки ценности. Приведены примеры и рассмотрены четыре варианта результатов проведения оценки перспективности инновации с социально-экономических и отраслевых позиций.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт; инновационно-ориентированное развитие; экономическая методология; социально-экономическая перспективность; проактивное управление; индекс инновационности

Актуальность. В настоящее время железнодорожный транспорт находится в третьей фазе своего эволюционного развития — фазе инновационного ренессанса, для которой характерно сочетание интенсификации деятельности существующих железных дорог с расширением железнодорожной сети на новой технической основе, позволяющей осуществлять (прежде всего на специализированных линиях) движение тяжеловесных поездов для перевозки грузов и высокоскоростных — для перевозки пассажиров [1].

В то же время происходит активизация инноваций и на других видах транспорта [2], которые стремятся достичь инновационного лидерства, в том числе и по таким параметрам, по которым железные дороги традиционно имеют преимущество в транспортной системе, например, уровню безопасности и экологичности [3].

В этих условиях для обеспечения стратегической конкурентоспособности долгосрочное раз-

витие железнодорожного транспорта должно быть инновационно-ориентированным [4].

Модель долгосрочного развития железнодорожного транспорта показывает, что существуют предпосылки формирования в отрасли новой инновационной волны, которая по своим масштабам может быть сопоставима с инновационной волной, вызванной появлением железных дорог в первой половине XIX в. [4, 5].

Для того чтобы эти предпосылки в полной мере реализовать, необходимо эффективное управление инновационно-ориентированным развитием железнодорожного транспорта. (Данный тезис следует трактовать не как желательность централизованного управления инновационно-ориентированным развитием отрасли, а как необходимость активного управления инновационно-ориентированным развитием для каждой компании, работающей в сфере железнодорожного транспорта и транспортного машиностроения.)

Для эффективного управления инновационно-ориентированным развитием железнодорожного транспорта требуется соответствующий экономический инструментарий. Следует особо подчеркнуть, что управление инновационно-ориентированным развитием железнодорожного транспорта — экономическая, а не техническая задача. Как обоснованно в работе [6], научно-техническая политика на железнодорожном транспорте должна быть инструментом реализации экономической стратегии. (Представляется, что это справедливо и для других отраслей.)

Экономический инструментарий управления инновационно-ориентированным развитием железнодорожного транспорта, в свою очередь, должен базироваться на адекватной экономической методологии, разработка которой является актуальной научной задачей.

Научные проблемы управления инновационно-ориентированным развитием. Главными факторами, определяющими проблемы управления инновационно-ориентированным развитием, являются долгосрочность и неопределенность (при этом неопреде-

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

ленность, безусловно, связана с долгосрочностью). Можно сказать, что управление инновационно-ориентированным развитием железнодорожного транспорта — это управление движением в неопределенное и весьма отдаленное будущее.

Долгосрочность (можно даже сказать сверхдолгосрочность, так как речь идет о более чем двадцатитридцатилетней перспективе) приводит к тому, что получаемые от реализации перспективные эффекты будут нивелироваться дисконтированием [7]. Это означает, что практически неприменимы, особенно если речь идет о радикальных («подрывных») инновациях, оказываются традиционные («стандартные») методы оценки эффективности проектов с помощью таких критериев, как чистый дисконтированный доход, индекс доходности и внутренняя норма доходности. («Подрывными», в соответствии с определением К. Кристенсена [8], являются инновации, обеспечивающие смену устоявшихся технологий и начало нового цикла развития, т. е. служащие источником развития.)

Следовательно, даже если предположить возможность точного определения эффектов от рассчитанных на долгосрочную перспективу инноваций, применение стандартных методов не позволит адекватно оценить их эффективность. Но и предположить такую возможность крайне сложно, поскольку технико-экономические параметры «подрывных» инноваций очень существенно меняются (улучшаются) в процессе их диффузии под воздействием улучшающих и микроинноваций [4, 9]. Очевидно, что при появлении первого электровоза в 1879 г. [10], вряд ли можно было достоверно оценить технико-экономические параметры электровозов 1920-х и тем более 1950-х гг., спрогнозировать те колоссальные эффекты, которые принесла массовая электрификация железных дорог во второй половине XX в. Точно так же в настоящее время чрезвычайно сложно оценить параметры вакуумно-левитационных поездов на долгосрочную перспективу и эффекты от их внедрения, и приходится ограничиваться методологическими подходами и вариантными гипотетическими оценками [11].

Однако непредсказуемость изменения технико-экономических параметров инновационных технических средств и технологий — только один фактор неопределенности, в условиях которой должно осуществляться управление инновационно-ориентированным развитием железнодорожного транспорта. Существуют и иные, даже более фундаментальные факторы. Так, радикальные («подрывные») инновации должны ориентироваться на человеческие потребности и другие условия отдаленного будущего, о которых можно судить только гипотетически. Соответственно, нельзя однозначно оценить

не только возможную широту их внедрения, но и сделать заключение, будут ли они вообще востребованы в долгосрочной перспективе. Дополнительную неопределенность вносит появление в будущем иных, альтернативных решений, также труднопредсказуемое. Причем чем активнее и динамичнее идут общие процессы инновационного развития экономики, тем больше альтернатив может появиться, а значит — тем неопределеннее перспективы конкретных инноваций в каждой отрасли, в том числе в железнодорожной. В таких условиях полагать, что управление долгосрочным инновационным развитием может осуществляться на основе «просчитанных», централизованно принимаемых решений, — означало бы впадать, если пользоваться терминологией Нобелевского лауреата Ф. А. фон Хайека, в «пагубную самонадеянность» [12].

Наилучшей для управления инновационно-ориентированным развитием в принципе представляется модель конкурентного предпринимательства, когда нацеленность каждого венчурного предпринимателя на реализацию различных инновационных проектов, лишь некоторые из которых могут оказаться успешными, дополняется конкретными усилиями со стороны других предпринимателей. Учитывая роль конкуренции для открытия новых, еще неизвестных возможностей [13], такая организация инновационно-ориентированного развития позволяет охватить наиболее широкий спектр потенциально эффективных инновационных решений и в процессе реализации пилотных проектов выявить среди них реально эффективные. На железнодорожном транспорте реализация модели конкурентного венчурного предпринимательства, безусловно, затрудняется высоким уровнем концентрации, который, в свою очередь, обусловлен значительным эффектом масштаба. Кроме того, все технико-технологические элементы железных дорог гораздо более взаимосвязаны и подчинены взаимосвязанным жестким стандартам чем, например, на автомобильном транспорте, что затрудняет конкуренцию [14], в том числе и конкуренцию разных инновационных решений. Представляется, что в этих условиях в роли венчурных предпринимателей должны выступать производители железнодорожной техники и разработчики технологий, ориентируясь на глобальный рынок сбыта и необходимость абсорбции предлагаемых инноваций в условиях различных железнодорожных систем. В свою очередь железнодорожные компании должны ориентироваться на предложения глобального рынка железнодорожной техники и технологий и быть готовыми к абсорбции наиболее эффективных инновационных решений. На основе синтеза этих подходов, предложена методология отбора перспективных инновационных проектов и решений, учитывающая как социально-

экономическое, так и отраслевое измерение. В статье рассмотрены теоретически возможные варианты результатов проведения оценки перспективности инновации с социально-экономических и отраслевых позиций.

Методологические подходы к управлению инновационно-ориентированным развитием. Вывод о целесообразности управления инновационно-ориентированным развитием в рамках конкурентного венчурного предпринимательства не умаляет значения выработки консенсусных долгосрочных оценок, таких как Глобальное видение развития мировой железнодорожной системы до 2050 г., сформированное Международным союзом железных дорог [15]. Такие документы, носящие концептуальный, но не предписывающий характер, с одной стороны, задают общий контур поисков конкретных инновационных решений для предпринимателей-инноваторов, что делает этот поиск более целенаправленным и эффективным, а с другой — ни в коей мере не препятствуют поискам и в иных направлениях. Более конкретное описание перспектив инновационного развития, учитывающее Глобальное видение, должно содержаться в программах инновационного развития отдельных железнодорожных систем и железных дорог, таких как «Белая книга» ОАО «РЖД» [16]. Таким образом, разработку глобальных и локальных концептуальных и программных документов в области инновационного развития железных дорог следует считать важным элементом

управления инновационно-ориентированным развитием отрасли.

Осуществляется ли инновационная разработка в соответствии с подобными документами, или выходит за очерченные ими границы, для того чтобы быть успешной, востребованной потребителями она должна отвечать на социально-экономические вызовы.

Важнейшие социально-экономические вызовы, вытекающие из них требования к результатам инновационного развития транспорта и ключевые показатели, с помощью которых может определяться перспективность транспортных инноваций, определены в работе [2]. Они применимы, в том числе и для железнодорожного транспорта (табл. 1).

В то же время инновация должна значимо улучшать ключевые показатели деятельности железнодорожной отрасли, только в этом случае она может быть экономически перспективна.

Методологические подходы к оценке перспективности транспортных инноваций с социально-экономической точки зрения приведены в работе [2], с отраслевой — в работах [4, 5]. На основе синтеза этих подходов предлагается методология отбора перспективных инновационных проектов и решений, учитывающая как социально-экономическое, так и отраслевое измерение.

Для оценки социально-экономической перспективности стратегических инновационных проектов и решений предлагается использовать специальный

Таблица 1

Социально-экономические вызовы и требования к результатам инновационного развития транспортной отрасли

Table 1

Socio-economic challenges and requirements to the results of innovative development of the transport industry

Важнейшие социально-экономические вызовы	Требования к результатам инновационного развития транспорта	Ключевые показатели социально-экономической перспективности транспортных инноваций
Замедление экономического роста	Удешевление и ускорение грузовых перевозок, ориентированность обслуживания на специфические требования клиентов	Скорость, надежность и стоимость перевозки грузов, гибкость обслуживания грузовладельцев
Старение населения и существенные межрегиональные различия в соотношении спроса и предложения трудовых ресурсов	Обеспечение мобильности населения на основе ускорения и удешевления перевозок пассажиров. Адаптация транспортного обслуживания к потребностям людей с ограниченными возможностями. Повышение производительности труда и реализация «безлюдных» технологий	Скорость, надежность и стоимость перевозки пассажиров, уровень адаптированности к потребностям людей с ограниченными возможностями, уровень производительности труда, уровень автоматизации технологических процессов
Ограниченность земельных ресурсов и традиционных источников энергетических ресурсов	Повышение пространственной эффективности и энергоэффективности, использование альтернативных источников энергии	Уровень пространственной эффективности, уровень энергоэффективности, доля альтернативных источников энергии
Рост экологического давления на общество и экономику	Повышение экологичности транспорта	Экологичность грузовых и пассажирских перевозок
Барьеры, возникающие на пути экономической глобализации	Устранение барьеров между различными видами транспорта	Интероперабельность и соединенность транспортных систем

показатель — Индекс социально-экономической перспективности ($Ise_{инн}^n$), который должен определяться с учетом представленных в табл. 1 ключевых показателей оценки социально-экономической перспективности транспортных инноваций, образующих фокус-группу:

$$Ise_{инн}^n = \sum_{j=1}^n I_{кпэ_j} \alpha_j, \quad (1)$$

где $I_{кпэ_j}$ — индекс j -го показателя фокус-группы; α_j — вес j -го показателя фокус-группы; n — число показателей фокус-группы.

При отборе проектов с помощью предложенного Индекса социально-экономической перспективности можно руководствоваться:

– критерием «разумной достаточности», когда отбираются для дальнейшего развития проекты, Индекс перспективности которых превышает некоторое приемлемое («пороговое») значение $Ise_{инн}^{n*}$:

$$Ise_{инн_k}^n > Ise_{инн}^{n*}; \quad (2)$$

– более сильным критерием максимизации уровня социально-экономической перспективности, когда выбирается проект, обеспечивающий максимальный уровень перспективности:

$$Ise_{инн_k}^n \rightarrow \max. \quad (3)$$

Для оценки перспективности «подрывных» стратегических инновационных проектов с отраслевых позиций предлагается использовать другой показатель — Индекс инновационности стратегических проектов ($I_{инн}^n$). Этот показатель должен определяться исходя из прогнозируемого долгосрочного влияния инновационного стратегического проекта на значимые показатели деятельности железнодорожного транспорта или транспортной компании. При этом под инновационным стратегическим проектом может пониматься как внедрение нового технического или технологического решения (системы решений), так и реализация организационно-управленческих решений или новых рыночных продуктов (услуг). Главное, чтобы в результате открывались новые возможности для роста эффективности.

При этом следует учитывать, что, хотя любой инновационный стратегический проект прямо или косвенно влияет на очень широкий круг ключевых показателей эффективности отрасли (в какой-то мере — на все показатели), реально оценить его влияние лишь на ту группу показателей, на улучшение которых он непосредственно нацелен. Ее можно назвать фокус-группой ключевых показателей эффективности. Через влияние на показатели фокус-группы затем

следует оценивать воздействие инновационного стратегического проекта на обобщающие экономические показатели отрасли (компании) — расходы, доходы, финансовый результат.

Между показателями фокус-группы с точки зрения их влияния на обобщающие экономические показатели может существовать как аддитивная, так и мультипликативная зависимость. В некоторых случаях показатели фокус-группы могут быть интегрированы с использованием комплексного ключевого показателя эффективности. В зависимости от этого подходы к расчету Индекса инновационности стратегических проектов будут различаться.

В случае аддитивной зависимости он может быть определен как средневзвешенная величина индексов показателей фокус-группы. При этом вес каждого показателя может быть определен исходя из его относительного влияния на соответствующий обобщающий экономический показатель. Если это не представляется возможным, веса могут быть определены экспертно или приняты равными. (Согласно некоторым исследованиям, методы, придающие равный вес частным показателям, по точности превосходят другие, в которых веса определяются на основании сложного алгоритма [17].)

В случае мультипликативной зависимости Индекс инновационности стратегических проектов может быть определен как произведение показателей индексов фокус-группы.

И, наконец, если показатели фокус-группы могут быть интегрированы с использованием комплексного показателя эффективности, Индекс инновационности стратегического проекта может быть принят равным индексу этого комплексного показателя.

Таким образом, Индекс инновационности стратегического проекта в общем виде может быть выражен формулой:

$$I_{инн}^n = \begin{cases} \sum_{j=1}^n I_{кпэ_j} \alpha_j & \text{при аддитивной} \\ & \text{зависимости;} \\ \prod_{j=1}^n I_{кпэ_j} & \text{при мультипликативной} \\ & \text{зависимости;} \\ I_{компл} & \text{при интеграции показателей} \\ & \text{фокус-группы с помощью} \\ & \text{комплексного показателя} \\ & \text{эффективности,} \end{cases} \quad (4)$$

где $I_{кпэ_j}$ — индекс j -го показателя фокус-группы; α_j — вес j -го показателя фокус-группы; n — число показателей фокус-группы; $I_{компл}$ — индекс комплексного показателя эффективности, интегрирующего показатели фокус-группы.

При отборе перспективных инновационных стратегических проектов с помощью предложенного Индекса инновационности также можно руководствоваться:

– критерием «разумной достаточности» уровня инновационности, когда в качестве перспективных рассматриваются проекты, Индекс инновационности которых превышает некоторое приемлемое («пороговое») значение $I_{инн}^{п*}$:

$$I_{инн_k}^п > I_{инн}^{п*}; \quad (5)$$

– критерием максимизации уровня инновационности, когда выбирается проект, обеспечивающий максимальный уровень инновационности:

$$I_{инн_k}^п \rightarrow \max. \quad (6)$$

У каждого из предложенных критериев есть преимущества и недостатки.

Использование критерия «разумной достаточности» требует правильного определения «порогового» значения индекса инновационности, что само по себе является нетривиальной задачей применительно к перспективным «подрывным», стратегическим, инновационным проектам и должно осуществляться в конкретных условиях с использованием логико-аналитического подхода [18, 19]. При этом указанному критерию может соответствовать целый ряд инновационных проектов, так что подобный отбор следует считать первичным («черновым»), за которым в будущем должен последовать вторичный («чистойой») отбор.

Но получение в результате такого первичного отбора нескольких перспективных стратегических проектов является и главным достоинством данного критерия, так как только в ходе практического решения перспективных задач инновационно-ориентированного развития может выявиться предпочтительный проект. Примером является переход с паровой на современные (а для того времени инновационные) виды тяги — электрическую и тепловозную. В ходе его реализации в конкретных условиях предпочтительными оказались или электрическая тяга (железные дороги Швейцарии), или тепловозная (железные дороги США), или их сочетание (отечественные железные дороги). При этом многие линии сначала переводились на тепловозную тягу, а затем после длительной эксплуатации и с учетом изменения экономических условий деятельности электрифицировались. Сделать же однозначный предварительный выбор между реализацией проекта электрификации и проекта перехода на теплотягу в сетевом масштабе было невозможно.

То же можно сказать и о вариантах реализации на железнодорожном транспорте интермодальных перевозок с использованием контейнерных и контейнерных технологий и о многих других альтернативных, а нередко и взаимодополняющих решениях в области инновационного развития железнодорожного транспорта.

Использование критерия максимизации уровня инновационности, напротив, позволяет сделать более однозначный выбор предпочтительного стратегического проекта инновационного развития. Хотя максимальный уровень инновационности может обеспечивать и не один проект, очевидно, что таких проектов вряд ли может быть много. Однако, учитывая существенную неопределенность при оценке «подрывных», стратегических инновационных проектов, возможные значительные отличия фактических результатов от прогнозируемых, при использовании данного критерия может быть упущен реально более перспективный проект.

Выбор критерия должен осуществляться в конкретных условиях. В качестве общей рекомендации можно предложить следующий подход. Если при оценке Индекса инновационности (это относится и к Индексу социально-экономической перспективности) для большого набора стратегических проектов значительное число проектов имеют высокий рейтинг сопоставимого уровня, целесообразнее использовать критерий «разумной достаточности». При наличии среди всех проектов явного лидера по уровню инновационности (или двух-трех лидеров с одинаковым Индексом инновационности) более предпочтительным представляется критерий максимизации уровня инновационности.

В итоге проведения оценки перспективности инновации с социально-экономических и отраслевых позиций теоретически возможны четыре варианта результатов (табл. 2).

В случае первого варианта результата инновация является очевидно перспективной и заслуживает дальнейшего развития, включая пилотное внедрение. В случае четвертого варианта нецелесообразно тратить на нее усилия и средства. Второй и третий варианты требуют проведения глубокого содержательного анализа всех параметров рассматриваемого инновационного проекта и выявления тех его характеристик,

Таблица 2

Возможные варианты результатов оценки перспективности инноваций

Table 2

Possible variants of the results of the evaluation of innovation prospects

Вариант результата оценки	Перспективность с социально-экономической точки зрения	Перспективность с отраслевой точки зрения
I	+	+
II	+	–
III	–	+
IV	–	–

которые не позволяют ему быть привлекательным с отраслевой точки зрения (при втором варианте оценки) или с социально-экономической (при третьем варианте оценки). Затем должны быть рассмотрены все возможности по улучшению соответствующих характеристик, чтобы прийти к первому варианту оценки, т. е. к выводу об однозначной перспективности данной инновации. Если это оказывается невозможным, далее решение целесообразно принимать исходя из следующей логики.

Второй вариант результата оценки означает, что инновация перспективна с точки зрения общества и (или) с макроэкономических позиций, т. е. может создать значимые положительные экстерналии, но не приведет к существенному улучшению отраслевых показателей. Дальнейшая реализация такой инновации возможна либо за счет бюджетного финансирования, либо при принятии регуляторных решений, интернализирующих положительные экстерналии, генерируемые данной инновацией, т. е. частично превращающие их во внутриотраслевые эффекты. При третьем варианте результата оценки инновационный предприниматель может отнести данную инновацию к разряду перспективных, так как она значимо улучшает ключевые внутриотраслевые показатели, но должен понимать риски такого решения. Ведь реально долгосрочную перспективу могут иметь только те инновации, которые отвечают на социально-экономические вызовы. В любом случае окончательное решение остается за оценивающим экономическим субъектом.

Следует подчеркнуть, что представленная методология содержит исключительно качественные подходы к оценке перспективности инноваций, избегая определения каких-либо количественных границ. Последнее является задачей выполняющего оценки экономического субъекта и должно осуществляться исходя из его собственных представлений о значимости улучшения тех или иных показателей в том или ином размере. Такой подход соответствует принятому в экономической теории принципу субъективной оценки ценности [20].

Таким образом, выполняющий оценку экономический субъект может преобразовать представленную универсальную методологию в конкретную методику с учетом специфики рассматриваемой инновации и собственных целей и представлений.

Проактивное управление инновационно-ориентированным развитием. При всей важности обоснованного выбора перспективных инноваций из числа появляющихся идей, предложений и разработок целесообразно изначально направлять научный поиск и опытно-конструкторские разработки на решение конкретных задач по улучшению внутриотраслевых

и социально-экономических показателей, определяемых экономическим субъектом (инновационным предпринимателем или компанией), который, в свою очередь, в качестве ориентиров может использовать глобальные и локальные концепции и стратегии инновационного развития. Другими словами, необходимо осуществлять проактивное управление инновационно-ориентированным развитием железнодорожного транспорта. Понятие «проактивность» имеет целый ряд трактовок (см., в частности, [21, 22, 23]). Применительно к управлению инновационно-ориентированным развитием транспортных систем его можно охарактеризовать как сочетание прогноза тенденций социально-экономического развития и вытекающих из них требований пользователей к транспортным системам будущего (хорошим примером такого прогноза является монография [24]) с активной разработкой и внедрением инноваций, нацеленных на реализацию этих требований.

Необходимым элементом проактивного управления инновационно-ориентированным развитием железнодорожного транспорта является анализ тенденций инновационного развития других отраслей экономики, прежде всего иных видов транспорта. Последнее важно как для того, чтобы железные дороги могли своевременно отвечать на конкурентные вызовы со стороны иных видов транспорта, так и для того, чтобы железнодорожный транспорт имел возможность эффективного встраивания в мультимодальные транспортные цепочки, обеспечивая «бесшовное» транспортное сообщение [25]. Оба указанных аспекта необходимы для обеспечения стратегической конкурентоспособности железнодорожного транспорта.

Для формализации и повышения продуктивности анализа тенденций инновационного развития иных видов транспорта и других отраслей экономики целесообразно использовать классификацию появляющихся там, но важных для железнодорожного транспорта инноваций [26].

Предложенная выше методология отбора перспективных инновационных проектов и решений может быть использована и в рамках проактивного управления инновационно-ориентированным развитием железнодорожного транспорта с учетом необходимой «настройки».

В данном случае исходя из прогноза тенденций социально-экономического развития (в том числе инновационного развития транспортных систем) и соответствующих требований к перспективным характеристикам услуг железнодорожного транспорта должны определяться требования к улучшению как конкретных показателей деятельности самого железнодорожного транспорта (внутриотраслевой аспект), так и ключевых показателей, характеризую-

ших социально-экономическую перспективность инноваций (внеотраслевой аспект). Затем должна выполняться выработка инновационных решений, обеспечивающих улучшение каждого из выбранных показателей не ниже желаемого уровня. Очевидно, что при этом может быть получено несколько вариантов инноваций, соответствующих заданным требованиям, но отличающихся друг от друга по количественным характеристикам. Например, на перспективу до 2030 г. обоснована необходимость повышения в среднем по сети веса поезда нетто на 37,3%, а участковой скорости поездов на 17,2% [27]. Допустим, что один сформированный комплекс инновационных технико-технологических решений может обеспечить повышение веса поезда нетто на 38% и участковой скорости на 19%, а другой — повышение веса поезда нетто на 40% и участковой скорости на 18%. Естественно, возникает вопрос выбора между этими вариантами, каждый из которых соответствует предъявляемым требованиям.

Подобным образом могут различаться варианты инновационных решений и с точки зрения их влияния на показатели, имеющие социально-экономическое значение. Поэтому для каждого варианта должны определяться Индекс социально-экономической перспективности — по формуле (1) и Индекс инновационности — по формуле (4).

При попарном сравнении вариантов инноваций тот вариант, у которого больше как Индекс социально-экономической перспективности, так и Индекс инновационности, однозначно является более перспективным. Проблема с выбором возникает, когда один вариант предпочтительнее с точки зрения Индекса социально-экономической перспективности, а другой — с точки зрения Индекса инновационности. В этом случае можно предложить разные подходы к выбору.

Один подход заключается в определении среднего значения (среднего арифметического — простого или взвешенного, или среднего геометрического) Индекса социально-экономической перспективности и Индекса инновационности для каждого варианта и выбора более перспективного варианта исходя из максимума среднего значения индексов.

Другой подход основывается на том, что в условиях рыночной экономики приоритетом является улучшение не внутриотраслевых показателей, а показателей, важных для клиентов [28]. Последние как раз и характеризуют социально-экономическую перспективность транспортных инноваций. (Следует заметить, что приоритетность социально-экономической перспективности над улучшением внутриотраслевых показателей объясняется не приматом «общественного блага» над «частными интересами» транспортных

компаний, а тем, что, только заботясь о благе своих клиентов, а значит, и о благе общества, транспортные компании могут обеспечить свою долгосрочную конкурентоспособность, а значит — и свои частные интересы. Именно в этом состоит суть «невидимой руки» рынка, по метафоричному определению Адама Смита, направляющей преследующих свои частные интересы экономических субъектов к достижению общественного блага [29, 30].)

Проактивное управление инновационно-ориентированным развитием железнодорожного транспорта должно сочетаться с отбором «спонтанно» возникающих инновационных проектов и идей, в том числе на других видах транспорта и во внетранспортных отраслях. Вообще, спонтанность и непреднамеренные последствия спонтанно возникающих решений играют очень важную роль в социально-экономическом развитии [12]. Само появление железных дорог, ставших эпохальной инновацией, можно считать непреднамеренным последствием макроизобретений, сделанных в других отраслях — парового двигателя и выплавки чугуна с использованием кокса [9]. Поэтому при всей важности проактивного, направленного инновационного поиска нельзя пренебрегать мониторингом инновационных идей и оценкой их перспективности.

Следует отметить, что отбор инновационных решений в качестве перспективных еще не означает экономической целесообразности их применения в том виде, в каком они предложены. Окончательный выбор среди признанных перспективными инноваций должен осуществляться с помощью стандартных критериев оценки общей и сравнительной экономической эффективности. При этом целесообразно использовать не постоянные, а переменные («гибкие») значения таких критериев, определяемые для разных стадий диффузии инноваций, исходя из предполагаемой траектории изменения их эффективности [31]. Перспективные инновации, не отвечающие этим критериям, должны целенаправленно развиваться (прежде всего для повышения их экономичности) с помощью улучшающих инновационных решений и микроинноваций.

Заключение. Для повышения долгосрочной эффективности и стратегической конкурентоспособности железнодорожного транспорта его развитие должно быть инновационно-ориентированным. Представленная в статье методология управления инновационно-ориентированным развитием железнодорожного транспорта может рассматриваться как основа экономического инструментария, необходимого субъектам железнодорожной отрасли для того, чтобы осуществлять отбор и инициировать разработку таких инновационных решений, которые бы позволяли существенно улучшать ключевые внутриотраслевые показатели и одновременно обеспечивать

соответствие перспективным требованиям клиентов железных дорог к ассортименту и характеристикам оказываемых им услуг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лapidус Б. М., Мачерет Д. А. Эволюция железнодорожного транспорта — на пути к инновационному ренессансу // Вестник ВНИИЖТ. 2011. № 1. С. 3–14.
2. Кудрявцева А. В. Социально-экономические перспективы транспортных инноваций // Транспорт Российской Федерации. 2017. № 2 (69). С. 34–39.
3. Лapidус Б. М. Об условиях и трендах эволюции транспорта и научно-технических задачах по созданию вакуумно-левитационных транспортных систем // Бюллетень Объединенного ученого совета ОАО «РЖД». 2016. № 4. С. 1–17.
4. Измайкова А. В. Экономическая оценка инновационно-ориентированного развития железнодорожного транспорта: дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05. М., 2016. 182 с.
5. Мачерет Д. А., Измайкова А. В. Экономическая роль инноваций в долгосрочном развитии железнодорожного транспорта. М.: МИИТ, 2016. 162 с.
6. Лapidус Б. М. Техническая политика как инструмент реализации экономической стратегии на железнодорожном транспорте. Подходы к методологии. М.: Маршрут, 2004. 207 с.
7. Мачерет Д. А. Об экономических проблемах развития транспортной инфраструктуры // Мир транспорта. 2011. Т. 9. № 3 (36). С. 76–83.
8. Кристенсен К. М. Дилемма инноватора. Как из-за новых технологий погибают сильные компании: пер. с англ. М.: Альпина-БизнесБукс, 2004. 244 с.
9. Мачерет Д. А., Измайкова А. В. Значение научных изобретений для железнодорожного транспорта: экономический аспект // Вестник ВНИИЖТ. 2014. № 3. С. 34–38.
10. Сотников Е. А. Железные дороги мира из XIX в XXI век. М.: Транспорт, 1993. 200 с.
11. Лapidус Б. М., Мачерет Д. А. Методология оценки и обеспечения эффективности инновационных транспортных систем // Экономика железных дорог. 2016. № 7. С. 16–25.
12. Хайек Ф. А. фон. Пагубная самонадеянность. Ошибки социализма: пер. с англ. М.: Новости, 1992. 304 с.
13. Хайек Ф. А. фон. Познание, конкуренция и свобода: пер. с англ. СПб.: Пневма, 2003. 288 с.
14. Лapidус Б. М. Пространственные условия конкуренции // Экономика железных дорог. 2011. № 10. С. 34–44.
15. A Global vision for Railways development / International Union of Railways (UIC). Paris, 2015. 40 p.
16. Стратегия научно-технического развития холдинга «Российские железные дороги» на период до 2020 года и перспективу до 2025 года. «Белая книга». М., 2015. 69 с.
17. Kahneman D. Thinking, Fast and Slow. Publ. 1. New York: Farrar, Straus and Giroux, 2011. 512 p.

18. Мачерет Д. А. Методологические проблемы экономических исследований на железнодорожном транспорте // Экономика железных дорог. 2015. № 3. С. 12–26.
19. Мачерет Д. А. Вектор развития экономической науки на транспорте // Транспорт Российской Федерации. 2017. № 2 (69). С. 27–33.
20. Мизес Л. фон. Человеческая деятельность: трактат по экономической теории: пер. с англ. Челябинск: Социум, 2008. 878 с.
21. Ньустром Д., Дэвис К. Организационное поведение: пер. с англ. СПб.: Питер-Юг, 2000. 448 с.
22. Нотин Д. Г. Реактивное и проактивное управление знаниями на различных этапах жизненного цикла развития организации // Фундаментальные исследования. 2015. № 8. С. 582–585.
23. Бабанова Ю. В., Горшенин В. П. Инструментарий проактивного управления инновационным развитием компании // Шумпетеровские чтения. 2014. Т. 1. С. 70–75.
24. Лapidус Б. М., Лapidус Л. В. Железнодорожный транспорт: философия будущего. М.: Прометей, 2015. 232 с.
25. Лapidус Б. М., Лapidус Л. В. Гладкая бесшовная транспортная система как инструмент повышения конкурентоспособности железнодорожного транспорта // Экономика железных дорог. 2016. № 10. С. 27–37.
26. Измайкова А. В. Инновации, значимые для железнодорожного транспорта // Бюллетень Объединенного ученого совета ОАО «РЖД». 2014. № 3. С. 53–69.
27. Мачерет Д. А., Измайкова А. В. Экономическая оценка инноваций, направленных на комплексное повышение веса и скорости поездов // Экономика железных дорог. 2015. № 5. С. 17–33.
28. Мандриков М. Е., Мачерет Д. А. Транспортное обслуживание в условиях рыночной экономики // Железнодорожный транспорт. 1992. № 1. С. 56–59.
29. Смит А. Теория нравственных чувств: пер. с англ. М.: Республика, 1997. 351 с.
30. Смит А. Исследование о природе и причинах богатства народов: пер. с англ. М.: Эксмо, 2009. 960 с.
31. Мачерет Д. А., Кудрявцева А. В. Об оценке эффективности инвестиций в инновационные проекты // Экономика железных дорог. 2016. № 2. С. 21–26.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

МАЧЕРЕТ Дмитрий Александрович,

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

КУДРЯВЦЕВА Анастасия Валерьевна,

канд. экон. наук, научный сотрудник
Объединенного ученого совета ОАО «РЖД»,
АО «ВНИИЖТ»

Статья поступила в редакцию 24.05.2017 г., принята к публикации 26.07.2017 г.

Economic management methodology of rail transport innovation-oriented development

D. A. MACHERET^{1,2}, A. V. KUDRYAVTSEVA¹

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

² Russian University of Transport (MIIT), Moscow, 127994, Russia

Abstract. To ensure the strategic competitiveness of the railway industry, its long-term development must be innovative-oriented. The economic toolkit for managing innovation-oriented

development of rail transport should be based on an adequate economic methodology, the development of which is an urgent scientific task.

The article considers methodological approaches to the management of innovation-oriented development. Based on the synthesis of these approaches, a methodology is proposed for selecting promising innovative projects and solutions, taking into account both socio-economic and sectoral measurements. It is noted that for the success of innovative developments it is necessary that they meet the social and economic challenges. It is explained that the presented methodology contains exclusively qualitative approaches to assessing the prospects of innovation, according to the principle of subjective value evaluation. The article gives examples and considers four variants of the results of the assessment of innovation prospects from socio-economic and industry positions.

The necessity of proactive management of innovation-oriented development of railway transport is substantiated. The paper underlines the importance of analyzing the trends of innovative development of other sectors of the economics (first of all – other modes of transport) under the proactive management of innovation-oriented development. The possibility of using the proposed methodology for selecting promising innovative projects and solutions can be noted in the context of proactive management of innovation-oriented development of rail transport, taking into account the necessary “tuning”.

Keywords: railway transport; innovation-oriented development; economic methodology; socio-economic perspectivity; proactive management; innovation index

DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2017-76-4-221-230>

REFERENCES

- Lapidus B. M., Macheret D. A. *Evolutsiya zheleznodorozhnogo transporta – na puti k innovatsionnomu renessansu* [Evolution of rail transport – on the way to an innovative renaissance]. *Vestnik VNIIZhT* [Vestnik of the Railway Research institute], 2011, no. 1, pp. 3–14.
- Kudryavtseva A. V. *Sotsial'no-ekonomicheskie perspektivy transportnykh innovatsiy* [Socio-economic perspectives of transport innovations]. *Transport Rossiyskoy Federatsii*, 2017, no. 2 (69), pp. 34–39.
- Lapidus B. M. *Ob usloviyakh i trendakh evolyutsii transporta i nauchno-tekhnicheskikh zadachakh po sozdaniyu vakuumno-levitatsionnykh transportnykh sistem* [On the conditions and trends of the evolution of transport and scientific and technical tasks on the creation of vacuum-levitation transport systems]. *Byulleten' Ob"edinennogo uchenogo soveta OAO "RZhD"* [Bulletin of the Joint Scientific Council of the JSC "Russian Railways"], 2016, no. 4, pp. 1–17.
- Izmaykova A. V. *Ekonomicheskaya otsenka innovatsionno-orientirovannogo razvitiya zheleznodorozhnogo transporta*. *Kand. ekon. nauk diss.* [Economic evaluation of innovation-oriented development of rail transport. *Cand. econ. sci. diss.*]. Moscow, 2016, 182 p.
- Macheret D. A., Izmaykova A. V. *Ekonomicheskaya rol' innovatsiy v dolgosrochnom razvitii zheleznodorozhnogo transporta* [Economic role of innovation in the long-term development of rail transport]. Moscow, MIIT Publ., 2016, 162 p.
- Lapidus B. M. *Tekhnicheskaya politika kak instrument realizatsii ekonomicheskoy strategii na zheleznodorozhnom transporte. Podkhody k metodologii* [Technical policy as an instrument for implementing the economic strategy for rail transport. Approaches to methodology]. Moscow, Marshrut [Route] Publ., 2004, 207 p.
- Macheret D. A. *Ob ekonomicheskikh problemakh razvitiya transportnoy infrastruktury* [On economic problems of transport infrastructure development]. *World of Transport and Transportation*, 2011, Vol. 9, no. 3 (36), pp. 76–83.
- Kristensen K. M. *Dilemma innovatora. Kak iz-za novykh tekhnologiy pogibayut sil'nye kompanii* [The innovator's dilemma. How new companies destroy powerful companies]. Moscow, AlpinaBusinessBooks, 2004, 244 p.
- Macheret D. A., Izmaykova A. V. *Znachenie nauchnykh izobreteniy dlya zheleznodorozhnogo transporta: ekonomicheskii aspekt* [The importance of scientific inventions for rail transport: the economic aspect]. *Vestnik VNIIZhT* [Vestnik of the Railway Research Institute], 2014, no. 3, pp. 34–38.
- Sotnikov E. A. *Zheleznnye dorogi mira iz XIX v XXI vek* [Railways of the world from XIX to XXI century]. Moscow, Transport Publ., 1993, 200 p.
- Lapidus B. M., Macheret D. A. *Metodologiya otsenki i obespecheniya effektivnosti innovatsionnykh transportnykh sistem* [Methodology for assessing and ensuring the efficiency of innovative transport systems]. *Ekonomika zheleznykh dorog*, 2016, no. 7, pp. 16–25.
- Hayek F. A. *Pagubnaya samonadeyannost'. Oshibki sotsializma* [Pernicious self-confidence. Errors of Socialism]. Moscow, Novosti Publ., 1992, 304 p.
- Hayek F. A. *Poznanie, konkurentsya i svoboda* [Cognition, competition and freedom]. Saint-Petersburg, Pnevma Publ., 2003, 288 p.
- Lapidus B. M. *Prostranstvennye usloviya konkurentsii* [Spatial conditions of competition]. *Ekonomika zheleznykh dorog*, 2011, no. 10, pp. 34–44.
- A Global vision for Railways development*. International Union of Railways (UIC). Paris, 2015, 40 p.
- Strategy of scientific and technical development of the holding "Russian Railways" for the period until 2020 and the prospect until 2025. "White paper"*. Moscow, 2015, 69 p. (in Russ.).
- Kahneman D. *Thinking, Fast and Slow*. New York, Farrar, Straus and Giroux Publ., 2011, 512 p.
- Macheret D. A. *Metodologicheskie problemy ekonomicheskikh issledovaniy na zheleznodorozhnom transporte* [Methodological problems of economic research in railway transport]. *Ekonomika zheleznykh dorog*, 2015, no. 3, pp. 12–26.
- Macheret D. A. *Vektor razvitiya ekonomicheskoy nauki na transporte* [Vector of development of economic science in transport]. *Transport Rossiyskoy Federatsii*, 2017, no. 2 (69), pp. 27–33.
- Mizes L. *Chelovecheskaya deyatel'nost': traktat po ekonomicheskoy teorii* [Human activity: a treatise on economic theory]. Chelyabinsk, Sotsium Publ., 2008, 878 p.
- Newstrom D., Davies K. *Organizatsionnoe povedenie* [Organizational behaviour]. Saint-Petersburg, Piter-Yung Publ., 2000, 448 p.
- Notin D. G. *Reaktivnoe i proaktivnoe upravlenie znaniyami na razlichnykh etapakh zhiznennogo tsikla razvitiya organizatsii* [Reactive and proactive knowledge management at various stages of the organization's life cycle]. *Fundamental'nye issledovaniya* [Fundamental studies], 2015, no. 8, pp. 582–585.
- Babanova Yu. V., Gorshenin V. P. *Instrumentariy proaktivnogo upravleniya innovatsionnym razvitiem kompanii* [Instrumentation of proactive management of innovative development of the company]. *Shumpeterovskie chteniya* [Schumpeterian readings], 2014, Vol. 1, pp. 70–75.
- Lapidus B. M., Lapidus L. V. *Zheleznodorozhnyy transport: filozofiya budushchego* [Railway transport: the philosophy of the future]. Moscow, Prometey Publ., 2015, 232 p.
- Lapidus B. M., Lapidus L. V. *Gladkaya besshovnaya transportnaya sistema kak instrument povysheniya konkurentosposobnosti zheleznodorozhnogo transporta* [Smooth, seamless transport system as a tool for increasing the competitiveness of railway transport]. *Ekonomika zheleznykh dorog*, 2016, no. 10, pp. 27–37.
- Izmaykova A. V. *Innovatsii, znachimye dlya zheleznodorozhnogo transporta* [Innovations important for railway transport]. *Byulleten' Ob"edinennogo uchenogo soveta OAO "RZhD"* [Bu-

letin of the Joint Scientific Council of the JSC "Russian Railways", 2014, no. 3, pp. 53–69.

27. Macheret D. A., Izmaykova A. V. *Ekonomicheskaya otsenka innovatsiy, napravlennykh na kompleksnoe povyshenie vesa i skorosti poezdov* [Economic evaluation of innovations aimed at a comprehensive increase in weight and speed of trains]. *Ekonomika zheleznikh dorog*, 2015, no. 5, pp. 17–33.

28. Mandrikov M. E., Macheret D. A. *Transportnoe obsluzhivanie v usloviyakh rynochnoy ekonomiki* [Transport services in the market economy]. *Zheleznodorozhnyy transport*, 1992, no. 1, pp. 56–59.

29. Smith A. *Teoriya npravstvennykh chuvstv* [The Theory of Moral Sentiments]. Moscow, Respublika Publ., 1997, 351 p.

30. Smith A. *Issledovanie o prirode i prichinakh bogatstva narodov* [An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations]. Moscow, Eksmo Publ., 2009, 960 p.

31. Macheret D. A., Kudryavtseva A. V. *Ob otsenke effektivnosti investitsiy v innovatsionnye proekty* [On the evaluation of the effectiveness of investments in innovative projects]. *Ekonomika zheleznikh dorog*, 2016, no. 2, pp. 21–26.

ABOUT THE AUTHORS

Dmitriy A. MACHERET,

Dr. Sci. (Econ.), Professor, MIIT; first Deputy Chairman of Joint Scientific Board of JSC "RZD", JSC "VNIIZhT"

Anastasiya V. KUDRYAVTSEVA,

Cand. Sci. (Econ.), Researcher of the Joint Scientific Council of JSC "RZD", JSC "VNIIZhT"

Received 24.05.2017

Accepted 26.07.2017

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

КОНФЕРЕНЦИЯ И ВЫСТАВКА

МИЛАН ВСТРЕЧАЕТ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНИКОВ!

В Милане пройдет ведущая железнодорожная конференция Италии, сопровождаемая выставкой железнодорожной техники. EXPO Ferroviaria-2017 — единственное в Италии мероприятие, посвященное железнодорожной технологии, продукции и системам, будет проходить 3–5 октября в зале Rho Fiera Milano. EXPO Ferroviaria-2017 это:

- Новое пространство в Милане — деловом центре Италии.
- Более 300 участников выставки из 20 стран: от крупных промышленников до представителей малого бизнеса.
- Новая открытая площадка, посвященная демонстрации железнодорожных материалов.
- Участки пути в выставочном зале для демонстрации технологий инфраструктуры.
- 7 000 посетителей со всего света.
- 3 дня конференций, семинаров и технологических презентаций.
- Технические визиты на железнодорожные объекты в пределах Милана.

НОВИНКА!!!! Открытая демонстрация железнодорожной техники в депо Trenord Fiorenza.

Впервые в сотрудничестве с Trenord на выставке будет представлена экспозиция железнодорожной техники на открытом воздухе. Бесплатный автобус будет доставлять посетителей от экспоцентра к демонстрационной зоне. Для посещения открытой выставки необходимо предварительное бронирование и онлайн-оплата в размере 20 Евро за каждого посетителя (оплата доступна на сайте www.expoferroviaria.com).

РЕГИСТРИРУЙТЕСЬ ЗАРАНЕЕ, ЧТОБЫ ПОЛУЧИТЬ ВОЗМОЖНОСТЬ УВИДЕТЬ ЭКСПОЗИЦИЮ!

Вход на основную выставку БЕСПЛАТНЫЙ, если вы заранее зарегистрировались на www.expoferroviaria.com.

THE RAIL INDUSTRY MEETS IN MILAN!

Milan hosts the leading rail event in Italy and its outdoor rolling stock display.

EXPO Ferroviaria 2017, the only event in Italy dedicated to railway technology, products and systems will open its doors on 3–5 October at Rho Fiera Milano and will feature:

- A new venue in Milan, Italy's business hub.
- More than 300 exhibitors from 20 countries: from major international companies to SME.
- A new outdoor area dedicated to rolling stock material display.
- Track sections in the exhibition hall to display infrastructure technology.
- 7,000 visitors expected from all over the world.
- 3 days of conferences, seminars and technical presentations.
- Technical site visits to rail facilities in the Milan area.

NEW!!!! Outdoor rolling stock display at Trenord Fiorenza depot.

For the first time, in collaboration with Trenord, the show will feature an outdoor display area for rolling stock. A free shuttle bus service will operate from the exhibition to the outdoor area. Advance booking and an online payment of €20 per visitor is required on www.expoferroviaria.com.

PRE-REGISTER NOW FOR YOUR VISIT TO THE EXHIBITION!

Entrance to the show is FREE if you register in advance on www.expoferroviaria.com.

Исследование резонансных явлений в колесной паре локомотива на основе расчета собственных частот и форм их колебаний на конечно-элементных моделях

В. С. КОССОВ, Э. С. ОГАНЬЯН, М. Н. ОВЕЧНИКОВ, Г. М. ВОЛОХОВ, А. Л. ПРОТОПОПОВ, М. В. ТИМАКОВ

Акционерное общество «Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава» (АО «ВНИКТИ»), Коломна, 140402, Россия

Аннотация. С использованием конечно-элементной модели (КЭ) колесной пары электровоза выполнены расчеты собственных частот и форм колебания, продемонстрирован случай близости частот крутильных колебаний с участием в них зубчатого колеса электропривода и изгибных (седловидной формы) колебаний ходовых колес, что способно ускорить процессы зарождения и развития в них усталостных трещин. Обсуждены методические вопросы выполнения подобных расчетов, проблемы оценки степени опасности близости частот колебаний элементов конструкций.

Ключевые слова: колесная пара; частота и форма свободных колебаний; седловидная форма колебаний ходового колеса; зарождение и развитие усталостных трещин

Введение. Из практики машиностроительного проектирования известно [1, 2], что при разработке механических систем, работа которых заведомо не основана на явлениях резонанса, самосинхронизации и т. п., следует настороженно относиться к близости частот свободных колебаний в таких механических системах по различным формам. Несмотря на определенную обособленность форм свободных колебаний (ортогональность), у реальных механических систем между ними все же существует некоторая связь, хотя обычно и малая, которая в случае возбуждения колебаний по одной форме может приводить к развитию колебаний по другой, если их частоты близки по значению. Такие процессы опасны по возбуждению в конструкциях значительных величин механических напряжений и их повреждаемости вплоть до разрушения [3]. Указанный эффект может также проявляться и в колесных парах (КП) локомотивов при эксплуатации.

Расчет частот и форм собственных колебаний колесной пары. На рис. 1 приведены расчетные частоты и соответствующие им формы свободных колебаний КП, полученные с использованием КЭ моделирования в программном комплексе MSC.Marc.

Прототипом рассматриваемой в статье КЭ модели послужила КП локомотива с асинхронной трансмиссией, односторонним редуктором и составным бандажным колесом. В таких расчетах исследователь сам устанавливает определенный диапазон частот или количество интересующих его форм колебаний, в данном случае принят диапазон 1–500 Гц (19 форм). Как правило, этот диапазон должен находиться внутри спектра частот широтно-импульсной модуляции (ШИМ) асинхронного привода локомотива. При изучении этого вопроса исследователь также принимает различные граничные условия, отражающие его видение взаимодействия КП с рельсами и тележкой. Здесь КП в отличие от работ [4, 5, 6] рассматривалась незакрепленной, что дало некоторые различия в частотах свободных колебаний.

Анализ полученных данных показывает, что формы X–XIV (рис. 2) соответствуют весьма близким частотам 269,3–269,8 Гц, при этом X–XIII представляют собой седловидные формы изгибных колебаний ходовых колес, а XIV — крутильные колебания КП с заметным участием в них зубчатого колеса электропривода.

При «неподходящем» спектре частот во временной зависимости крутящего момента асинхронного электропривода, а также при боксовании такая система склонна к возникновению в ней резонансных и автоколебательных процессов, что чревато негативными последствиями по прочности составляющих элементов КП. Здесь не рассматриваются детали таких процессов — они требуют отдельного изучения. Однако можно заранее утверждать, что интенсивное возбуждение седловидных форм колебаний колес способно ускорить зарождение и развитие в них усталостных трещин. На сегодня уже имеются наблюдения, подтверждающие такие возможности и позволяющие заключить, что проблема заслуживает внимания и изучения.

■ E-mail: vnikti_odpi@list.ru (Г. М. Волохов)

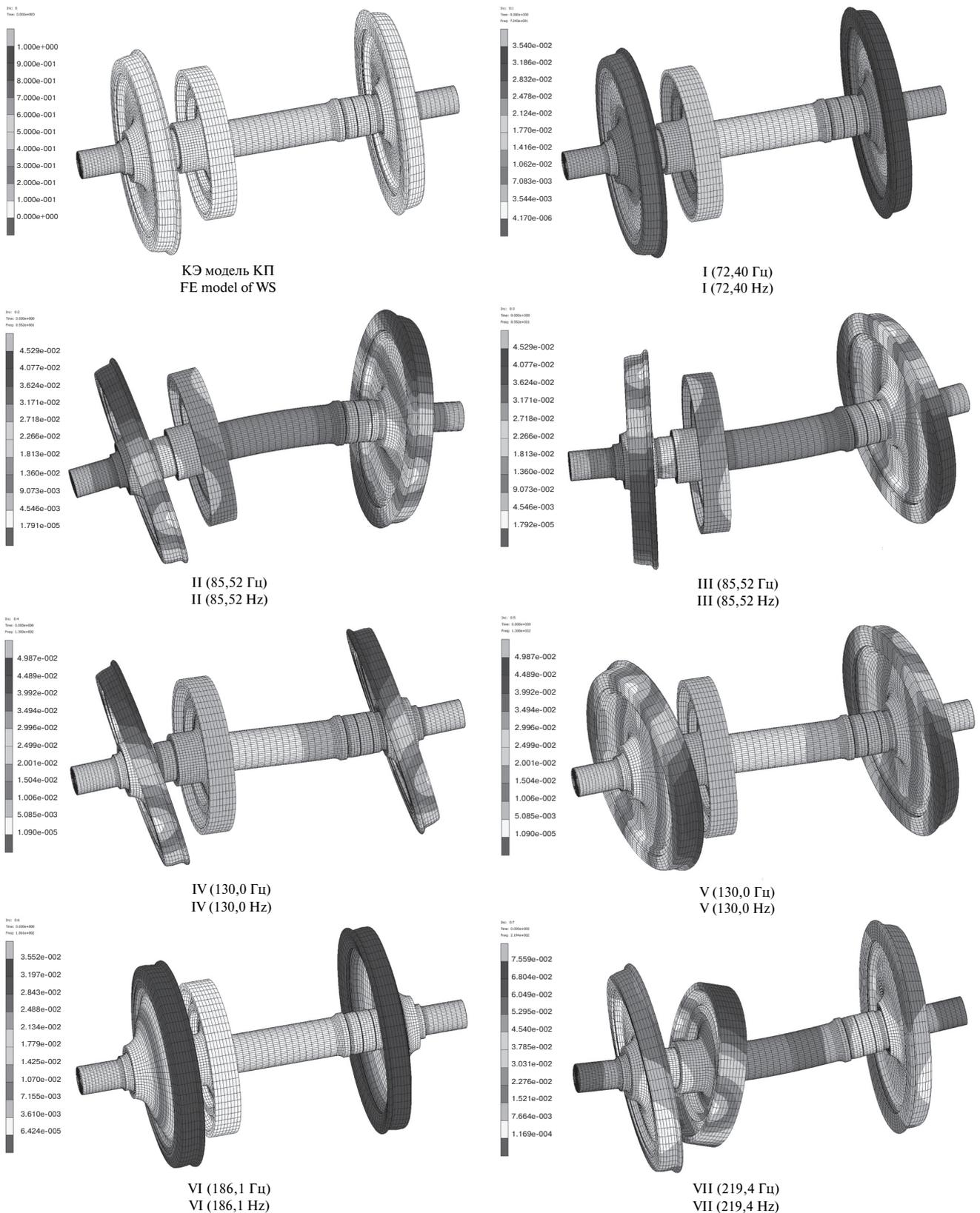
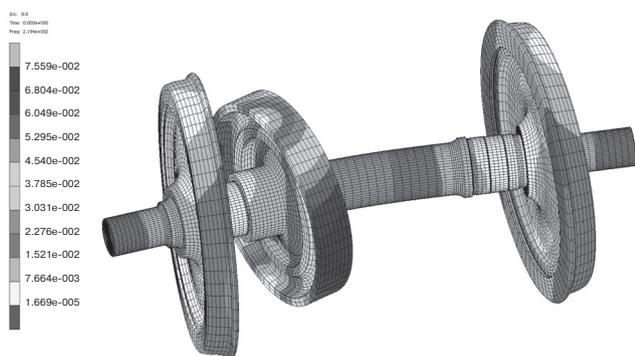
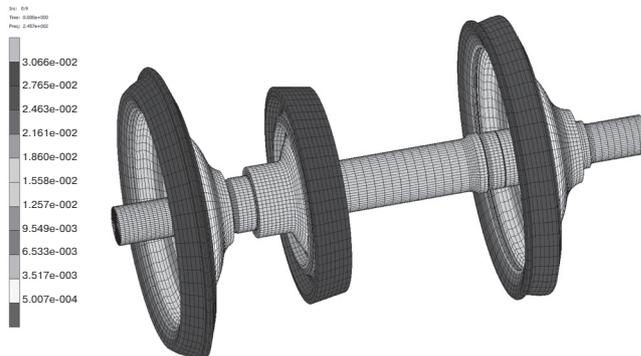


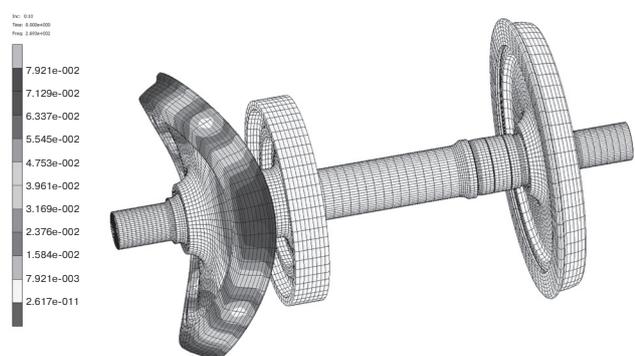
Рис. 1. Формы свободных колебаний КП в диапазоне частот 1–500 Гц (19 форм)
 (продолжение и окончание см. на с. 233 и 234)
 Fig. 1. Forms of free oscillations of WS in the frequency range 1–500 Hz (19 forms)
 (continuation and end see on p. 233 and 234)



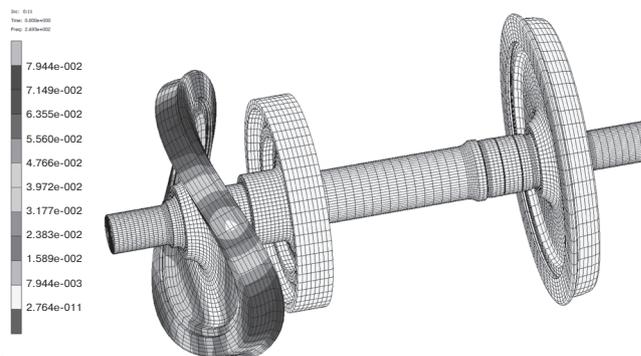
VIII (219,4 Гц)
VIII (219,4 Hz)



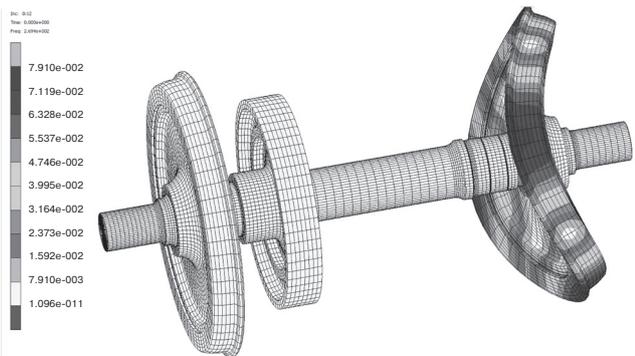
IX (245,7 Гц)
IX (245,7 Hz)



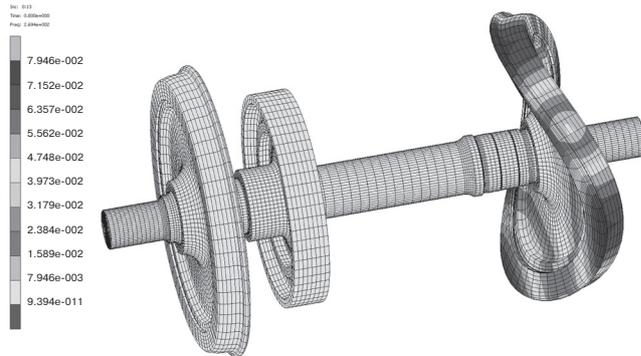
X (269,3 Гц)
X (269,3 Hz)



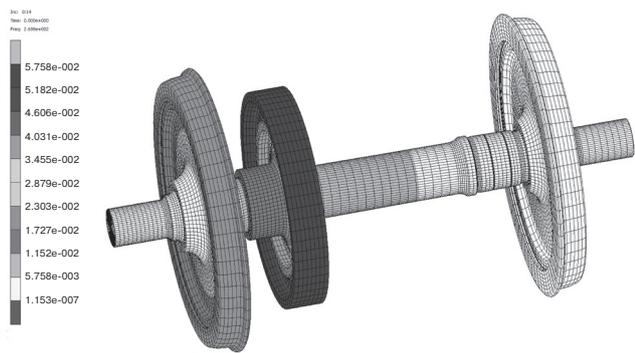
XI (269,3 Гц)
XI (269,3 Hz)



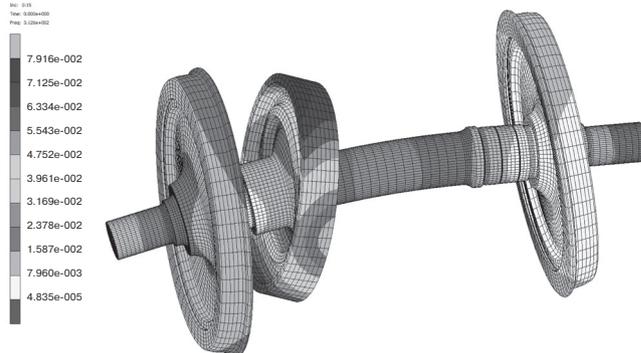
XII (269,4 Гц)
XII (269,4 Hz)



XIII (269,4 Гц)
XIII (269,4 Hz)



XIV (269,8 Гц)
XIV (269,8 Hz)



XV (312,6 Гц)
XV (312,6 Hz)

Рис. 1. Продолжение (начало см. на с. 232, окончание — на с. 234)
Fig. 1. Continuation (see the beginning on p. 232, the end — on p. 234)

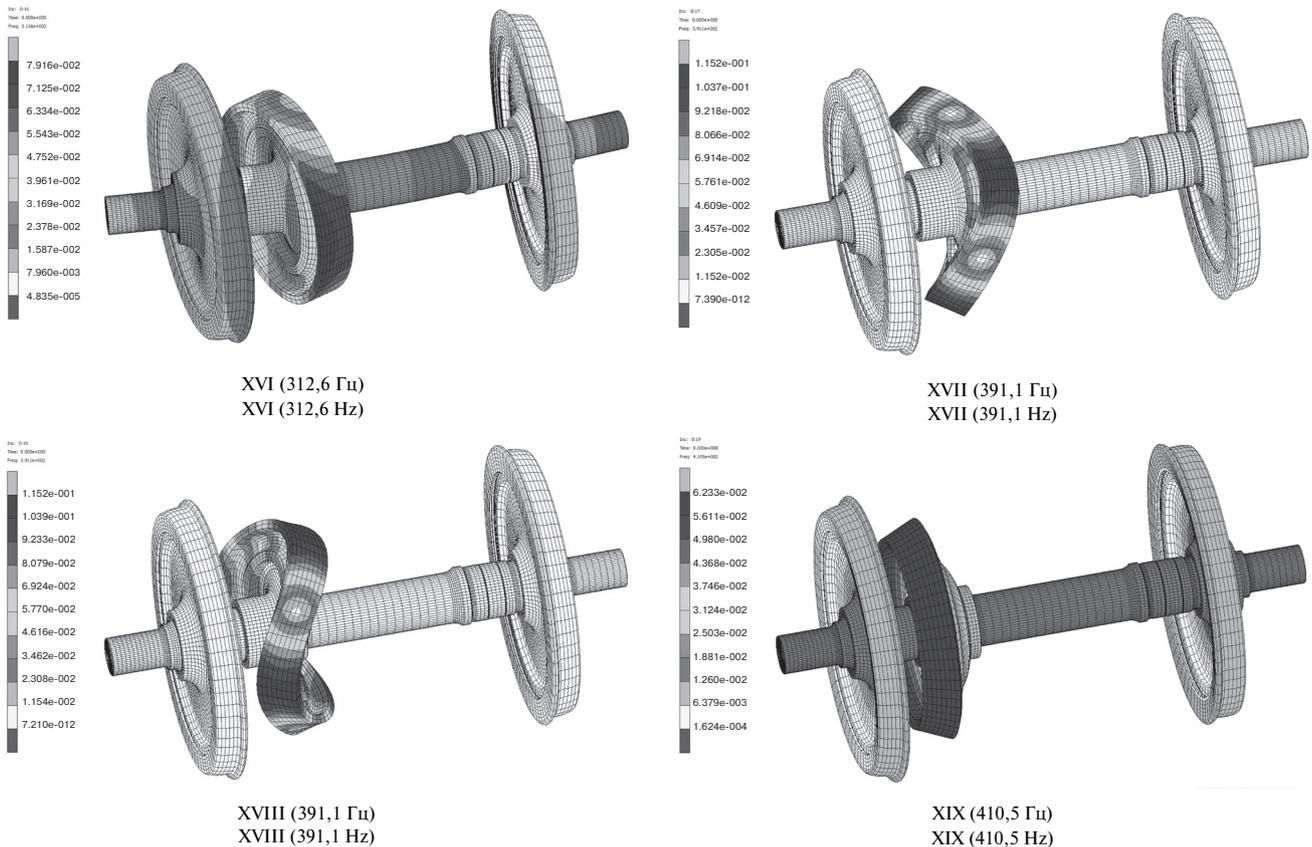


Рис. 1. Окончание (начало см. на с. 232 и 233)
 Fig. 1. The end (see the beginning on p. 232 and 233)

Рисунки отображены в тонах серого. При таком отображении информативность шкалы утрачивается (в отличие от цветной, показывающей полные пространственные смещения в КП и информативно дублирующей отображенные на рисунках формы). Качественный визуальный анализ приведенных форм позволяет уже в первом приближении определить наиболее повреждаемые зоны и установить места для более детального экспериментального исследования.

Если продемонстрированная выше близость частот выявляется на стадии проектирования КП, то целесообразна дополнительная проработка конструктивных мер по их разнесению. Ниже рассмотрена попытка выработать некоторый методический подход выполнения специальных расчетов, которые позволяли бы на этапе проектирования КП оценивать в какой мере близость частот представляется опасной. Важное прикладное значение, которое может иметь решение данной проблемы, не вызывает сомнений. Косвенным подтверждением ее актуальности и важности представляется тот факт, что в новом стандарте США по КП (AAR S-669 [7]) появился раздел с требованием расчета колеса на седловидную форму колебания [8].

При выполнении расчетов КП встает проблема оценки близости частот или частоты воздействия на колесо и частоты седловидной формы колеса. Согласно стандарту AAR S-669 оценка по частотным характеристикам проводится на основе расчета гармонического окружного воздействия на обод колеса со стороны рельса с частотой $f = f_n(1,0 + 0,00002)$, где f_n — частота свободных колебаний колеса по седловидной форме, вычисленная с точностью не менее трех значащих цифр. Другие подробности можно почерпнуть непосредственно из стандарта.

В блоках динамических расчетов современных программных комплексов имеются разные инструменты расчета указанного воздействия.

Наиболее естественным представляется подход на основе пошагового интегрирования уравнений (Dynamic Transient в MSC.Mentat или Transient Dynamic в MSC.Patran). Однако практика расчетов показала существенный разброс по полученным амплитудам и даже по характеру ответного сигнала в зависимости от выбранного метода интегрирования, от параметров задачи. Для эффективного применения этого подхода требуются дальнейшие исследования.

Другой подход — частотный отклик (Dynamic Harmonic в MSC.Mentat или Frequency Response в MSC.Patran) предполагает решение системы линейных уравнений в окрестности некоторой изучаемой собственной частоты. Проведенные расчеты показали, что такой подход дает большие значения перемещений (и соответствующих им напряжений).

Отметим, что при использовании Dynamic Harmonic силу (в MSC.Marc) необходимо задавать как специальную силу Harmonic Point Load, а для вывода контурного распределения напряжений заказывать напряжения Harmonic stress.

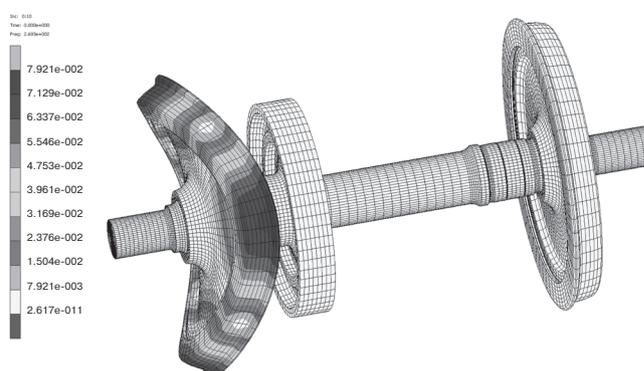
Оценить, какой из этих двух подходов ближе к истине, особенно в зоне окolorезонансных частот, представляется затруднительным. Даже если результаты пошагового интегрирования ближе к истинным, превышения амплитуд для подхода, связанного с частотным откликом, могут быть приняты как запас. Стандарт США AAR S-669 для оценки частных характеристик колеса предполагает использование именно частотного отклика — Dynamic Harmonic.

Согласно требованиям стандарта AAR S-669 полученные значения сводятся в таблицу и отправляются в специализированную организацию, которая принимает решение о пригодности колеса к эксплуатации. Подробности процедуры принятия такого решения в имеющейся редакции AAR S-669 не приводятся.

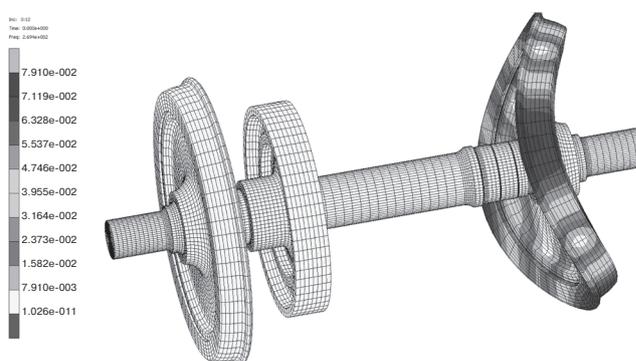
Из вышеизложенного можно сделать следующие выводы. Полученные результаты расчетов в сочетании с их визуализацией дают достаточно полное представление о поведении КП в составе тягового привода, позволяют при этом исследовать напряженно-деформированное состояние ее деталей, а также представляют возможность для выявления повреждаемых элементов и зон.

Подобные исследования на виртуальных моделях весьма целесообразно выполнять при анализе работы конструкций и агрегатов локомотива в экстремальных условиях эксплуатации (например, при боксовании), что экспериментальными методами нереализуемо или опасно.

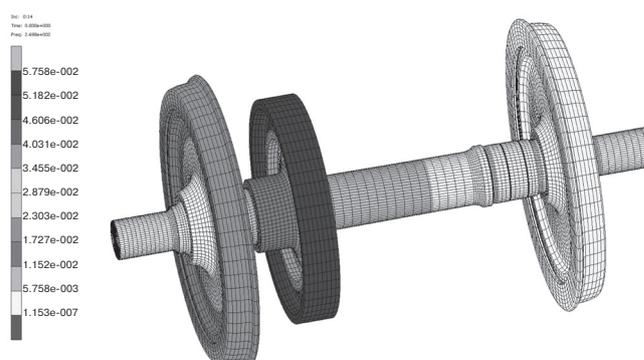
В порядке расширения области применения разработанной модели рекомендуется использование ее для расчетов различных режимов работы и движения локомотива. Следует отметить, что изложенная методика частотного анализа колесных пар чрезвычайно актуальна для локомотивов с асинхронным приводом. Это связано с возможностью возбуждения приведенных форм колебаний колес в диапазоне ШИМ синусоиды питания тяговых электродвигателей, которая у локомотивов может находиться в диапазоне частот от 1 до 1000 Гц.



X, XI седловидные формы колебаний левого колеса (269,3 Гц)
X, XI saddle forms of left wheel oscillations (269.3 Hz)



XII, XIII седловидные формы колебаний правого колеса (269,4 Гц)
XII, XIII saddle forms of oscillations of the right wheel (269.4 Hz)



XIV крутильная форма колебаний КП (269,8 Гц)
XIV torsional vibration mode of the WS (269.8 Hz)

Рис. 2. Близкие по частоте формы свободных колебаний КП
Fig. 2. Frequency-related forms of free oscillations of the WS

Возможно, оговоренные выше проблемы заставили разработчиков стандарта AAR S-669 рекомендовать оценку склонности колес к возбуждению в них седловидных форм колебаний.

Заключение. Представляется целесообразным на стадии проектирования КП проводить ее частотный анализ изложенным образом и по его результатам осуществлять резонансную отстройку конструктивным или программным способом в диапазоне частот ШИМ работы асинхронного привода.

Для этого по аналогии со стандартом AAR S-669 необходимо разработать отечественный нормативный документ применительно к проектируемым локомотивам с асинхронным приводом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Опыт создания и испытаний колесных пар и их элементов для инновационного подвижного состава / В.И. Грек [и др.] // Вестник ВЭЛНИИ. 2016. № 1. С. 38–51.
2. Методы определения ресурса и циклической прочности конструкций экипажной части локомотивов / Н.А. Махутов [и др.] // Транспорт: наука, техника, управление. 2016. № 10. С. 3–12.
3. Методы определения ресурса конструкций локомотивов / Н.А. Махутов [и др.] // Живучесть и конструкционное материаловедение (ЖивКоМ-2016). М.: ИМАШ РАН, 2016. С. 76–81.
4. Standard S-660. Wheel designs, locomotive and freight car – analytic evaluation. Adopted: 1981; Last Revised: 2009. AAR Manual of Standards and Recommended Practices Wheels and Axles. USA, 1981. 8 p.
5. Gordon J., Perlman A. Estimation of residual stresses in railroad commuter car wheels following manufacture. IME Congress in Anaheim, CA, Nov. 1998. E. J. Wolf, editor. Vol. 15. ASME RTD, USA, 1998.
6. Gordon J., Perlman A. Estimation of residual stresses in railroad commuter car wheels following manufacture. Final Report, MA 02142-1093, June 2003. U. S. Department of Transportation, Federal Railroad Administration, Research and special programs administration John A. Volpe, National Transportation systems Center. Cambridge, 2003. P. 13–19.

7. Standard S-669. Analytic Evaluation of Locomotive Wheel Designs. Adopted: 2011. AAR Manual of Standards and Recommended Practices Wheels and Axles. USA, 2011. 18 с.

8. Oganyan E.S., Ovechnikov M.N., Volokhov G.M. et al. (Russian Railways, JSC "VNIKTI"). Approbation of US AAR-660 and AAR-669 standards' criteria for rolling stock wheel durability research. 17th International Wheelset Congress, 22–27 Sept. 2013, Kiev, Ukraine. Proc. Part 2. Kiev, 2013. P. 161–172.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

КОССОВ Валерий Семенович,
д-р техн. наук, профессор,
генеральный директор АО «ВНИКТИ»

ОГАНЬЯН Эдуард Сергеевич,
д-р техн. наук, заведующий отделом, АО «ВНИКТИ»

ОВЕЧНИКОВ Михаил Николаевич,
д-р техн. наук, заведующий лабораторией,
АО «ВНИКТИ»

ВОЛОХОВ Григорий Михайлович,
д-р техн. наук, заведующий отделением,
АО «ВНИКТИ»

ПРОТОПОПОВ Андрей Леонидович,
старший научный сотрудник,
АО «ВНИКТИ»

ТИМАКОВ Максим Владимирович,
научный сотрудник, АО «ВНИКТИ»

Статья поступила в редакцию 31.05.2017 г., актуализирована 19.07.2017 г., принята к публикации 01.08.2017 г.

Investigation of resonant phenomena in a locomotive wheelset on the basis of calculation of natural frequencies and modes of their oscillations on finite element models

V. S. KOSOV, E. S. OGAN'YAN, M. N. OVECHNIKOV, G. M. VOLOKHOV, A. L. PROTOPOPOV, M. V. TIMAKOV

Joint Stock Company "Research, Design and Technological Institute of Rolling Stock" (JSC "VNIKTI"), Kolomna, 140402, Russia

Abstract. From the practice of engineering design it is known that in the development of mechanical systems, the operation of which is certainly not based on the phenomena of resonance, self-synchronization, etc., one should be wary of the proximity of the frequencies of free oscillations in such mechanical systems in different forms. Transient processes are dangerous due to the excitation of significant quantities of mechanical stresses and their damage to structures before destruction. This effect can also be appeared in wheel pairs (WS) of locomotives during operation.

On the finite element model (FE) of the electric locomotive wheelset, calculations of natural frequencies and vibration modes are performed, the case of torsional oscillation frequencies with the participation of the electric drive gear and bending (saddle-shaped) oscillations of the running wheels is demonstrated, which can accelerate the processes of origin and development in its fatigue cracks. Paper discusses methodical issues of performing such calculations, problems of assessing the degree of danger of proximity of vibration frequencies of structural elements.

The prototype of the finite-element model considered in the article was the WS of a locomotive with an asynchronous transmission, a one-way reducer and a composite retaining wheel.

Methodical issues of performing such calculations, problems of assessing the degree of danger of proximity of vibration frequencies of structural elements are discussed.

The results of calculations in combination with their visualization give a fairly complete idea of the behavior of the wheelset in the traction drive, while allowing studying the stress-strain state of its parts, and also providing an opportunity to identify the damaged elements and zones. It is highly advisable to carry out similar studies on virtual models when analyzing the operation of locomotive structures and assemblies under extreme operating conditions (for example, in case of boxing), which is not practicable or dangerous by experimental methods.

It is possible, as shown, and it is necessary at the design stage of the WS to conduct its frequency analysis in the manner described in the article and, based on its results, perform a resonant detuning in a constructive or software way in the frequency range of the modulation of the operation of an asynchronous drive.

To this end, by analogy with the AAR S-669 standard (USA), it is necessary to develop a domestic regulatory document for the projected locomotives with an asynchronous drive.

Keywords: wheelset; frequency and form of free oscillations; saddle shape of running wheel oscillations; origin and development of fatigue cracks

DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2017-76-4-231-237>

REFERENCES

1. Grek V.I., Mikhaylov G.I., Volokhov G.M., Oguenko V.V. *Opyt sozdaniya i ispytaniy kolesnykh par i ikh elementov dlya innovatsionnogo podvizhnogo sostava* [Experience in the creation and testing of wheelsets and their elements for innovative rolling stock]. Vestnik VelNII [Bulletin of the JSC All-Russian Scientific Research and Design Institute of Electric Locomotive Industry], 2016, no. 1, pp. 38–51.
2. Makhutov N.A., Gapanovich V.A., Kossov V.S., Ogan'yan E.S., Krasuykov N.F., Volokhov G.M. *Metody opredeleniya resursa i tsiklicheskoj prochnosti konstruktsiy ekipazhnoj chasti lokomotivov* [Methods for determining resource and cyclic strength of the carriage-part of locomotives]. Transport: nauka, tekhnika, upravlenie, 2016, no. 10, pp. 3–12.
3. Makhutov N.A., Kossov V.S., Ogan'yan E.S., Volokhov G.M., Gasyuk A.S., Krasuykov N.F., Protopopov A.L. *Metody opredeleniya resursa konstruktsiy lokomotivov* [Methods for determining the resource of locomotive designs]. Zhivuchest' i konstruktsionnoe materialovedenie (ZhivKoM-2016) [Viability and structural materials science (ZhivKom-2016)]. Moscow, IMASH RAN Publ., 2016, pp. 76–81.
4. Standard S-660. *Wheel designs, locomotive and freight car — analytic evaluation*. Adopted: 1981; Last Revised: 2009. AAR Manual of Standards and Recommended Practices Wheels and Axles. USA, 1981, 8 p.
5. Gordon J., Perlman A. *Estimation of residual stresses in railroad commuter car wheels following manufacture*. Proc. of the IME Congress in Anaheim, CA, November, 1998, no. 15. ASME RTD, USA, 1998.
6. Gordon J., Perlman A. *Estimation of residual stresses in railroad commuter car wheels following manufacture*. Final Report,

MA 02142-1093, June 2003. U.S. Department of Transportation, Federal Railroad Administration, Research and special programs administration John A. Volpe, National Transportation systems Center. Cambridge, 2003, pp. 13–19.

7. Standard S-669. *Analytic Evaluation of Locomotive Wheel Designs*. Adopted: 2011. AAR Manual of Standards and Recommended Practices Wheels and Axles. USA, 2011, 18 p.

8. Ogan'yan E.S., Ovechnikov M.N., Volokhov G.M., Krasuykov N.F., Protopopov A.L., Mishin A.A., Zakablukova N.K. *Approbation of US AAR-660 and AAR-669 standards` criteria for rolling stock wheel durability research*. Proc. of 17th International Wheelset Congress, September 22–27, 2013, Kiev, Ukraine, part 2. Kiev, 2013, pp. 161–172.

ABOUT THE AUTHORS

Valeriy S. KOSSOV,

Dr. Sci. (Eng.), Professor, General Director JSC "VNIKI"

Eduard S. OGAN'YAN,

Dr. Sci. (Eng.), Head of the Department, JSC "VNIKI"

Mikhail N. OVECHNIKOV,

Dr. Sci. (Eng.), Head of the Laboratory, JSC "VNIKI"

Grigoriy M. VOLOKHOV,

Dr. Sci. (Eng.), Head of the Department, JSC "VNIKI"

Andrey L. PROTOPOPOV,

Senior Researcher, JSC "VNIKI"

Maksim V. TIMAKOV,

Researcher, JSC "VNIKI"

Received 31.05.2017

Revised 19.07.2017

Accepted 01.08.2017

■ E-mail: vniki_odpi@list.ru (G. M. Volokhov)

ВЫШЛИ В СВЕТ ТРУДЫ ВНИИЖТ

Савин А. В. Безбалластный путь. М.: РАС, 2017. 192 с.

Представлена эволюция безбалластного пути как способа уменьшения давления на балласт и уменьшения трудозатрат на текущее содержание, а также рациональные сферы его применения. Выполнено сравнение различных конструкций по объемам укладки в разных странах мира. Описаны конструкции отечественных и зарубежных вариантов безбалластного пути и их классификация,

Тюрнин П. Г., Тибилов А. Т., Мирнос Н. В. Токосъем: надежность, экономичность и пути совершенствования. М.: ВМГ-Принт, 2015. 166 с.

В книге рассмотрены наиболее важные вопросы токосъема с учетом требований и методов проверки отдельных элементов контактной сети и токоприемников, эксплуатируемых при высокоскоростном движении. Подробно изложены отдельные решения экономичности и надежности устройств.

Книга рассчитана на широкий круг читателей: железнодорожников, уже имеющих общую подготовку и практический опыт ра-

даны технические требования к их отдельным элементам. Также описаны неисправности безбалластных конструкций и способы их устранения в процессе текущего содержания. Книга предназначена для научных и научно-технических работников железнодорожного транспорта, будет полезна преподавателям и студентам отраслевых вузов, а также тем, кому предстоит проектировать, сооружать и эксплуатировать безбалластный путь.

боты на контактной сети и в локомотивном хозяйстве, работников предприятий — изготовителей электроподвижного состава, а также преподавателей и студентов транспортных вузов, техникумов и колледжей.

По вопросам приобретения книг 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 накопления деформаций железнодорожного пути на участке испытаний вагонов с осевой нагрузкой 27 тс

К. В. ШАПЕТЬКО

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

Аннотация. Повышение провозной способности сети железных дорог влечет за собой повышение осевых нагрузок и масс поездов. Для этого требуется подготовка линий, поскольку движение тяжеловесных поездов по земляному полотну, спроектированному в конце XIX — начале XX в. совсем для других нагрузок, может вызвать возникновение деформаций пути. В рамках испытаний, проводимых на участке Ковдор — Мурманск Октябрьской железной дороги в 2014–2016 гг., был апробирован и применен метод численного расчета параметров длинных неровностей, получаемых по данным путеизмерителей, позволяющий производить мониторинг участков с нестабильным земляным полотном без применения трудоемких геодезических работ.

Ключевые слова: длинные неровности в профиле; натурные неровности; параметры длинных неровностей; деформация; тяжеловесное движение; повышенные осевые нагрузки

Введение. В течение длительного времени на ряде основных направлений сети наблюдается устойчивая нехватка провозной и пропускной способности вследствие недостаточного развития инфраструктуры и ее неполного соответствия потребностям перевозочного процесса. Для освоения растущего объема перевозок МПС СССР неоднократно прибегало к повышению весов поездов и осевых нагрузок вагонов сверх предельных норм.

В 1976 г. были подняты максимальные допустимые осевые нагрузки вагонов [1] с 21,0–21,5 до 22 тс, в середине 1978 г. — до 23,0 тс, в 1980 г. — до 23,5 тс, а в 1985 г. — до 25,75 тс в качестве эксперимента (в дальнейшем от него отказались в 1990 г.). В 2014 г. было принято решение Научно-технического совета ОАО «РЖД» о повышении унифицированной осевой нормы грузовых поездов до 7100 т при использовании вагонов с осевой нагрузкой 25 тс [2] и рассматривались вопросы по повышению осевой нагрузки до 27 тс. В настоящее время идет насыщение сети вагонами нового поколения с осевой нагрузкой 25 тс, что требует тщательного анализа состояния инфраструктуры с применением современных средств диагностики и обработки информации.

Опыт повышения осевых нагрузок и деформативности пути. Вопросы работы пути в условиях эксплуа-

тации вагонов с повышенными осевыми нагрузками постоянно находились в сфере внимания отечественных ученых. Так, в начале 90-х гг. прошлого века велась активная дискуссия о работе рельсов в условиях повышения осевых нагрузок [3, 4]. Большое внимание уделялось в этих условиях состоянию балластного слоя и земляного полотна.

Так, профессор Г. М. Шахунянц еще в 1946 г. указывал [5], что деформации раньше болезней существовать не могут, но они могут идти совместно, а не только заканчивать собой болезнь. Мало этого, уже прошедшая деформация может послужить причиной возникновения новой болезни или дальнейшего развития существующей. Для этого, чтобы суметь понять процессы, происходящие в грунтовой массе, и принять правильные решения для его стабилизации, необходимо из всего многообразия выделить основной, главный тип деформаций.

Профессор В. Н. Данилов писал [6], что недостаточная прочность основной площадки земляного полотна является одной из серьезных причин, препятствующих повышению осевых нагрузок вагонов. Если к рельсу приложена перемещающаяся вдоль рельса, но не изменяющая своей величины сила, то вместе с силой вдоль рельса движется волна деформации. В колебательный процесс оказывается вовлеченным некоторый объем балластного слоя и земляного полотна. В зависимости от податливости грунта размер колеблющейся массы может значительно изменяться. Опыт эксплуатации железнодорожного пути показывает [7], что остаточные деформации балласта тем больше, чем большее количество раз нагрузка будет приложена к шпалу. Это значит, что при прочих равных условиях повышение грузонапряженности железнодорожной линии и длин поездов могут привести к возрастанию расстройств балластного слоя, если при текущем содержании пути не будут приниматься соответствующие меры.

Профессор М. А. Чернышев указывал [8], что неровности пути имеют самую разнообразную форму. При этом установлено, что при неблагоприятном сочетании длины неровности и скорости колеса наибольшая динамическая добавка сил инер-

■ E-mail: Shapetko.Kirill@vniizht.ru (К. В. Шапетько)

ции неподдресоренных масс получается за пределами неровности. На этот факт указывают и труды ЦНИИ МПС [9]. Влияние неровности на земляное полотно при высоких скоростях движения не ограничивается непосредственно самой зоной неровности, а распространяется также за ее пределы. Напряжения на основной площадке увеличиваются практически пропорционально уклону неровности.

В 2014–2016 гг. по заданию ОАО «РЖД» на участке Ковдор — Мурманск Октябрьской железной дороги были проведены комплексные испытания вагонов с осевой нагрузкой 27 тс на тележках 18-9800 [10, 11]. Результаты испытаний подтвердили данные предварительных теоретических расчетов и выявили, что по показателям первого предельного состояния (параметры прочности элементов верхнего строения) ограничения условий обращения подвижного состава с осевыми нагрузками до 30 тс отсутствуют, а основным лимитирующим фактором становятся показатели второго предельного состояния, т. е. деформативность пути.

Результаты проведенных испытаний [10] показали, что при скоростях движения грузовых поездов 40–50 км/ч увеличение вертикальных нагрузок на путь практически пропорционально росту нагрузки на ось, поскольку при этих скоростях рессорный комплект практически не работает у вагонов как старой, так и новой конструкции.

Следует отметить, что преимущества новой конструкции должны сказываться на скоростях выше 60 км/ч, но ходовые скорости грузовых поездов на участках сверхвысокой грузонапряженности лежат в пределах 35–45 км/ч.

При средней статической нагрузке вагонов на направлениях движения потока массовых грузов ≈ 20 тс

пропуск вагонов с осевой нагрузкой 25 тс при низких скоростях приводит к увеличению воздействия на путь в вертикальной плоскости пропорционально осевой нагрузке ($25/20 = 1,25$ раз). Поскольку увеличение расстройств пути пропорционально росту нагрузок в степени 2–4, их уровень может возрасти в 1,5–2,4 раза (пропорционально доли таких вагонов, которая постоянно возрастает).

Для оценки интенсивности деформаций отдельных мест земляного полотна методами высокоточной геодезической съемки от внешних реперов было выявлено увеличение значений параметров длинных неровностей в профиле [11] по мере возрастания пропущенного тоннажа (рис.1). Деформации такого рода, обуславливающие увеличение амплитуд и других параметров длинных неровностей (длина, площадь), связаны с деформацией земляного полотна, а также вдавливанием щебня в основную площадку земляного полотна. Процесс деформаций пути, зафиксированный при испытаниях, подтверждается данными мирового опыта тяжеловесного движения [12].

Применение метода числового расчета параметров длинных неровностей. Ввиду трудоемкости геодезических работ был применен метод численного расчета параметров длинных неровностей с помощью преобразования Фурье на основе информации, получаемой путеизмерителем на базе КВЛ-П. Этот метод показал, что информация, получаемая при геодезических работах (nivelировании) и преобразованные данные вагона-путеизмерителя хорошо коррелируются (рис. 2). Это позволяет производить мониторинг отдельных участков сети.

На рис. 3 представлены фотографии опытного участка пути; по данным измерений на этом участке

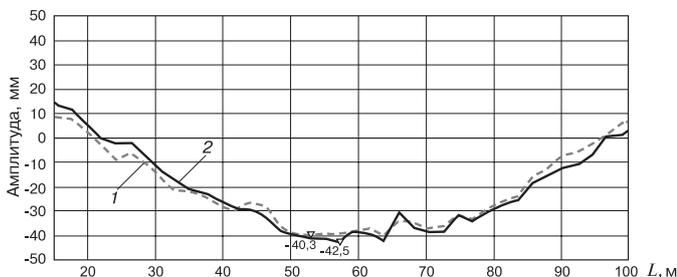


Рис. 1. Неровность в профиле на участке испытаний вагонов с осевой нагрузкой 27 тс, выявленная при nivelировании пути:

1 — кривая, построенная на основе данных, полученных в мае 2016 г.; 2 — кривая, построенная на основе данных, полученных в сентябре 2016 г.; -40,3, -42,5 — пиковые значения

Fig. 1. Irregularities in the profile in the test section of cars with an axial load of 27 tons, revealed during the leveling of the track:

1 — the curve constructed on the basis of the data received in May 2016; 2 — curve constructed on the basis of data obtained in September 2016; -40.3, -42.5 — peak values

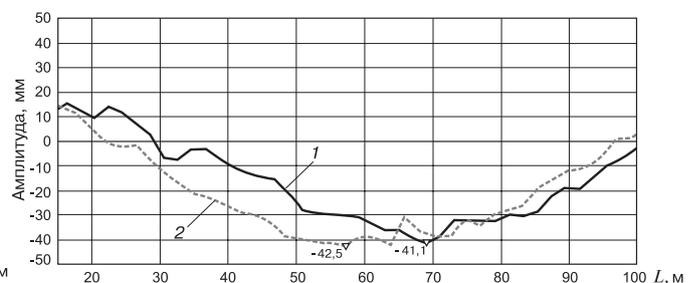


Рис. 2. Сопоставление неровностей, полученных с помощью nivelировки и методом числового преобразования данных вагона-путеизмерителя: 1 — кривая, построенная по данным, полученным путем применения метода числового преобразования; 2 — кривая, построенная по данным, полученным при nivelировке; -41,1, -42,5 — пиковые значения

Fig. 2. Comparison of the irregularities obtained by leveling and by the method of numerical conversion of the data from track measuring car: 1 — curve constructed from data obtained by applying the numerical transformation method; 2 — curve constructed from the data obtained during leveling; -41.1, -42.5 — peak values

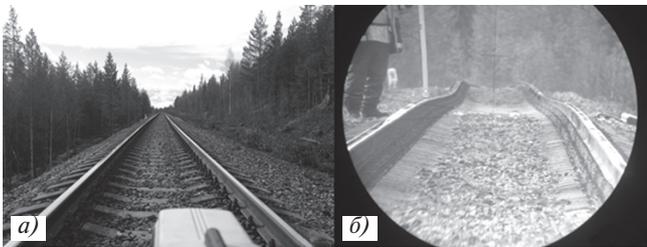


Рис. 3. Фотография опытного участка:
a — фотография сделана без увеличения
 (как видит глаз человека);
б — фотография сделана с помощью
 32-кратного увеличения (через нивелир)

Fig. 3. Photo of the pilot site:
a — the photo was taken without enlargement
 (as the person's eye sees);

б — the picture is taken with a 32-fold increase (through the level)

производилось сопоставление информации геодезической съемки и результатов, полученных путем применения метода числового расчета длинных неровностей, изображенных на рис. 2.

В течение 2016 г. (весной и осенью) производилась геодезическая съемка опытного участка, полученная информация сопоставлялась с результатами числового расчета. Анализ параметров длинных неровностей, полученных за 2016 г., представлен на рис. 4.

Анализ зависимостей, изображенных на рис. 4, показывает, что за период весна–осень 2016 г. на опытном участке значения параметров длинных неровностей (амплитуда, длина) увеличились как по результатам числового расчета (кривые 1 и 2), так и по данным геодезической съемки (кривые 3 и 4).

Данные, приведенные на рис. 2 и 4, показывают возможность использования метода числового

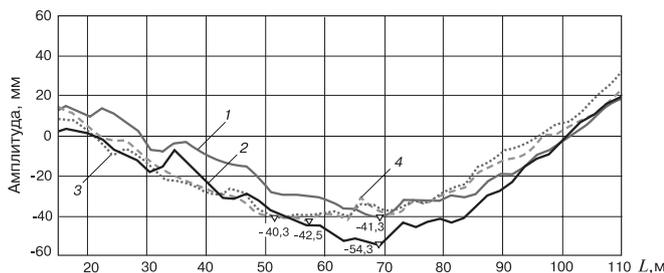


Рис. 4. Сопоставление параметров длинной неровности, изменяющихся по мере возрастания пропущенного тоннажа, за 2016 г.: 1 — по данным метода численного преобразования за май 2016 г.; 2 — по данным метода численного преобразования за сентябрь 2016 г.; 3 — по данным геодезической съемки, май 2016 г.; 4 — по данным геодезической съемки, сентябрь 2016 г.; -40,3, -41,3, -42,5, -54,3 — пиковые значения

Fig. 4. Comparison of the parameters of extended irregularities that change with increasing tonnage for 2016:

1 — according to the method of numerical conversion for May 2016;
 2 — according to the method of numerical conversion for September 2016;
 3 — according to geodetic survey data, May 2016;
 4 — according to geodetic survey data, September 2016;
 -40.3, -41.3, -42.5, -54.3 — peak values

определения значений параметров длинных неровностей в продольном профиле как дополнительного инструмента для мониторинга параметров участков с нестабильным основанием на линиях тяжеловесного движения и обращения вагонов с повышенной осевой нагрузкой.

На рис. 5 приведены зависимости осадок уровня головки рельса и основной площадки земляного полотна от пропущенного тоннажа. Осадки земляного полотна определялись по маркерам, установленным на глубине до 2 м на обочине земляного полотна. Полученные данные указывают на процесс вдавливания щебня в основную площадку земляного полотна. Следует отметить, что движение тяжеловесных поездов осуществляется по земляному полотну, построенному в конце XIX — начале XX в. совсем под другой уровень нагрузок. Это же в полной мере относится и к опорам искусственных сооружений.

С подобной проблемой столкнулись на железных дорогах Великобритании [13], когда производили сравнительный анализ данных геометрии рельсовой колеи на разных участках. В статье также отмечалось, что причиной явления служат спроектированные в XIX в. линии и качество используемых материалов. Схема возможного обрушения откоса земляного полотна приведена на рис. 6.

На развитие деформаций основной площадки земляного полотна указывают и результаты сопоставления значений параметров длинных неровностей на одном из магистральных ходов (рис. 7) за период 2014–2015 гг., полученных по расчетам обработки данных проходов вагона-путеизмерителя.

Начальник Малошуйской дистанции пути Северной железной дороги И. В. Билев в статье [14]

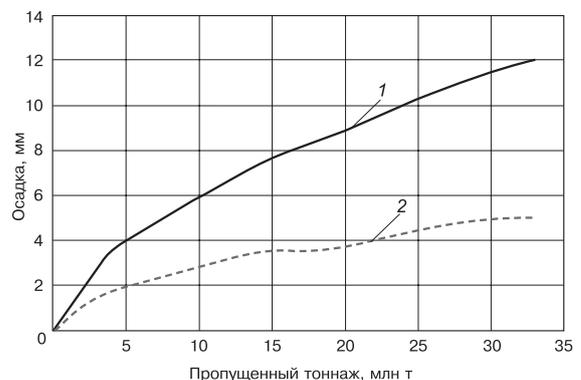


Рис. 5. Зависимости осадок уровня головки рельса и основной площадки земляного полотна от пропущенного тоннажа: 1 — осадка по уровню головки рельса; 2 — осадка по основной площадке земляного полотна

Fig. 5. Dependences of the settlement of the level of the rail head and the main area of subgrade from the passed tonnage: 1 — settlement according to the level of the rail head; 2 — settlement in the main area of the subgrade

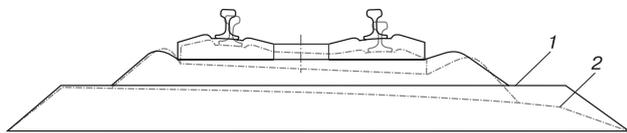


Рис. 6. Схема пути при вдавливания щебня в земляное полотно: 1 — проектное положение пути; 2 — положение пути в процессе вдавливания щебня в основную площадку земляного полотна
 Fig. 6. Scheme of the track when indenting ballast stones into the subgrade: 1 — design position of the track; 2 — position of the track in the process of indenting the ballast stones into the main area of the subgrade

указывает, что на участке транспортного коридора Центр — Северо-Запад, Маленга — Обозерная Северной железной дороги, построенной по временным нормам 1941 г., вес груженого поезда после электрификации в 2001 г. увеличился с 4800 до 5200 т и возросла интенсивность осадок пути. В настоящее время отмечаются значительные деформации, которые привели в ряде случаев к закрытию движения. И. В. Билев отмечает, что в условиях роста объемов перевозимых грузов и повышения весовых норм поездов, требуется совершенствование методов мониторинга и диагностики насыпей на слабых основаниях. В проводимых исследованиях [15] на участке Октябрьской железной дороги в 1969–1970 гг. было отмечено, что при проходе грузовых поездов весом 3800–4500 т со скоростями 70–80 км/ч прочность глинистых грунтов при влажности 30 % может снижаться на 40–45 % по сравнению с той, которая была до прохода поезда, в то время как порожние грузовые поезда снижают прочность грунтов на 15–21%. Другим фактором [16] снижения прочности является длительность воздействия подвижной нагрузки при проходе поезда, которая зависит от скорости и массы поезда и на исследуемом участке составила 30–50 с.

Выводы. 1. Полученные данные по расчету параметров длинных неровностей свидетельствуют об осадках земляного полотна, показывая, что необходимо детально обследовать участки, на которых планируется ввод в обращение вагонов с повышенными осевыми нагрузками, а также участки обращения тяжеловесных поездов, находящихся в удовлетворительном и неудовлетворительном состоянии по материалам комплексной оценки состояния пути (КОСП).

2. Применение в качестве инструмента анализа метода численного расчета параметров длинных неровностей с помощью преобразования Фурье позволяет выявлять места со значительными изменениями параметров длинных неровностей за анализируемый период.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инфраструктура в условиях применения вагонов с повышенными осевыми нагрузками / В. О. Певзнер [и др.] // Железнодорожный транспорт. 2017. № 7. С. 58–61.

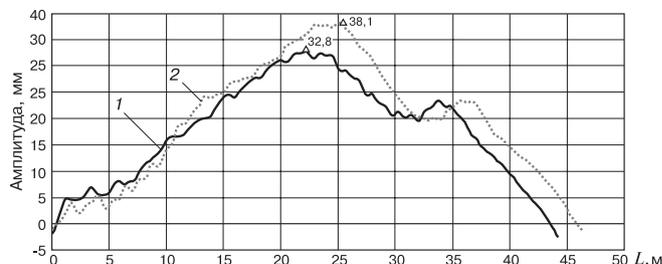


Рис. 7. Сопоставление параметров длинной неровности, изменяющихся по мере возрастания пропущенного тоннажа, за период 2014–2015 гг.: 1 — по данным метода численного преобразования за октябрь 2014 г.; 2 — по данным метода численного преобразования за сентябрь 2015 г.; 32,8, 38,1 — пиковые значения

Fig. 7. Comparison of parameters of extended irregularities changing with increasing tonnage for the period 2014–2015: 1 — according to the method of numerical conversion for October 2014; 2 — according to the method of numerical conversion for September 2015; 32.8, 38.1 — peak values

2. Гапанович В. А. Вопросы взаимодействия подвижного состава и инфраструктуры при тяжеловесном движении // Железнодорожный транспорт. 2016. № 10. С. 10–15.
 3. Вериго М. Ф. Необходимы комплексный подход и активные действия // Железнодорожный транспорт. 1989. № 2. С. 44–48.
 4. Фурьянский Н. А. Что показывают испытания // Железнодорожный транспорт. 1989. № 2. С. 48–52.
 5. Шахуняц Г. М. Земляное полотно. М.: Гос. транспорт. ж.-д. изд-во, 1946. 342 с.
 6. Данилов В. Н. Железнодорожный путь и его взаимодействие с подвижным составом. М.: Трансжелдориздат МПС, 1961. 112 с.
 7. Взаимодействие пути и подвижного состава / Е. М. Бромберг [и др.]. М.: Трансжелдориздат, 1956. 280 с.
 8. Чернышев М. А. Практические методы расчета пути. М.: Транспорт, 1967. 236 с.
 9. Напряжения и упругие деформации в земляном полотне под воздействием поездов / Г. Г. Коншин [и др.] // Труды ЦНИИ МПС. М.: Транспорт, 1972. Вып. 460. С. 100–118.
 10. Инфраструктура в условиях интенсификации перевозок / В. А. Гапанович [и др.] // Железнодорожный транспорт. 2016. № 3. С. 16–20.
 11. Воздействие на путь вагонов с повышенной осевой нагрузкой / В. В. Третьяков [и др.] // Вестник ВНИИЖТ. 2016. Т. 75. № 4. С. 233–238. DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2016-75-4-233-238>.
 12. Захаров С. М., Шенфельд К. П. Развитие тяжеловесного движения в мире // Вестник ВНИИЖТ. 2013. № 4. С. 9–18.
 13. Nogy Eurlng. Levente Railway Earthworks instability diagnosis using track geometry measurement data — CCQ and Top 35 m // Permanent Way Institution. 2016. Vol. 134. № 2. P. 18–25.
 14. Билев И. В. Повышение пропускной способности на участке Маленга — Обозерская Северной дирекции инфраструктуры // Путь и путевое хозяйство. 2017. № 6. С. 20–23.
 15. Кистанов И. А. Особенности работы железнодорожного земляного полотна в условиях повышенной интенсивности движения поездов // Труды УЭМИИТ. Свердловск, 1977. Вып. 56. С. 36–40.
 16. Майковский Г. Анализ математической модели земляного полотна железнодорожного пути // Железные дороги мира. 1981. № 2. С. 59–78.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

ШАПЕТЬКО Кирилл Вячеславович, научный сотрудник, АО «ВНИИЖТ»

Статья поступила в редакцию 05.05.2017 г., актуализирована 12.07.2017 г., принята к публикации 21.07.2017 г.

Research of the accumulation of railway track deformations in the section of testing of cars with an axial load of 27 tons

K. V. SHAPET'KO

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

Abstract. The work of the railway track in the conditions of operating cars with increased axial loads was constantly in the sphere of attention of domestic scientists. The increase in the carrying capacity of the railway network entails an increase in the axle loads and masses of trains. This requires upgrade of railway lines, because the traffic of heavy haul trains is carried out on the subgrade designed in the end of XIX – beginning of the XX century for quite other loads that can cause a deformation of track. In 2014–2016 complex tests of cars with an axial load of 27 tons were carried out by the task of the JSC "RZD" on the Kovdor – Murmansk section of the Oktyabrskaya Railway. During 2016 (spring and autumn) a geodetic survey of the pilot site was performed, the information obtained was compared with the results of a numerical calculation. In view of the complexity of geodetic work, a method of numeric calculating the parameters of extended irregularities using Fourier transforms, obtained from track data, was appraised in the tests, which makes it possible to monitor sections with an unstable subgrade without using complex geodetic work.

This method has shown that the information obtained in geodetic work (leveling) and the transformed data of the track measuring car are well correlated.

The obtained data on the calculation of the parameters of extended irregularities indicate the depression of the subgrade, showing that it is necessary to examine in detail the areas where cars with increased axial loads are to be put into circulation, as well as the areas of handling of heavy haul trains in satisfactory and unsatisfactory condition based on integrated assessment of track condition. The process of track deformation, recorded during the tests, is confirmed by the data of the world experience of heavy haul traffic.

Application of the method of numerical analysis of the parameters of extended irregularities with the help of the Fourier transform allows identifying places with significant changes in the parameters of extended irregularities in the analyzed period.

Keywords: extended irregularities in rail profile; full-scale irregularities; parameters of extended irregularities; deformation; heavy haul traffic; increased axial loads

DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2017-76-4-238-242>

REFERENCES

1. Pevzner V. O., Tret'yakov V. V., Petropavlovskaya I. B., Tret'yakov I. V., Shapet'ko K. V. *Infrastruktura v usloviyakh primeneniya vagonov s povyshennymi osevyimi nagruzkami* [Infrastructure in conditions of using cars with increased axial loads]. *Zheleznodorozhnyy transport*, 2017, no. 7, pp. 58–61.
2. Gapanovich V. A. *Voprosy vzaimodeystviya podvizhnogo sostava i infrastruktury pri tyazhelovesnom dvizhenii* [Issues of the interaction of rolling stock and infrastructure under heavy haul traffic]. *Zheleznodorozhnyy transport*, 2016, no. 10, pp. 10–15.
3. Verigo M. F. *Neobkhodimy kompleksnyy podkhod i aktivnyye deystviya* [An integrated approach and actions are needed]. *Zheleznodorozhnyy transport*, 1989, no. 2, pp. 44–48.
4. Fufryanskiy N. A. *Chto pokazyvayut ispytaniya* [What the tests show]. *Zheleznodorozhnyy transport*, 1989, no. 2, pp. 48–52.

5. Shakhunyants G. M. *Zemlyanoe polotno* [Railway subgrade]. Moscow, State Transport Railway Publishing House, 1946, 342 p.

6. Danilov V. N. *Zheleznodorozhnyy put' i ego vzaimodeystvie s podvizhnym sostavom* [Railway track and its interaction with rolling stock]. Moscow, Transzheldorizdat MPS Publ., 1961, 112 p.

7. Bromberg E. M., Verigo M. F., Danilov V. N., Frishman M. A. *Vzaimodeystvie puti i podvizhnogo sostava* [Interaction of the track and rolling stock]. Moscow, Transzheldorizdat Publ., 1956, 280 p.

8. Chernyshev M. A. *Prakticheskie metody rascheta puti* [Practical methods for calculating the track]. Moscow, Transport Publ., 1967, 236 p.

9. Konshin G. G., Titov V. P., Khromov V. I., Naumova N. V. *Napryazheniya i uprugie deformatsii v zemlyanom polotne pod vozdeystviem poezdov*. Trudy TsNII MPS [Stresses and elastic deformations in the subgrade under the influence of trains. Proc. of the Central Research Institute of the Ministry of Railways]. Moscow, Transport Publ., 1972, no. 460, pp. 100–118.

10. Gapanovich V. A., Pevzner V. O., Suslov O. A., Tret'yakov V. V. *Infrastruktura v usloviyakh intensivifikatsii perevozok* [Infrastructure in conditions of traffic intensification]. *Zheleznodorozhnyy transport*, 2016, no. 3, pp. 16–20.

11. Tret'yakov V. V., Petropavlovskaya I. B., Pevzner V. O., Groмова N. I., Tret'yakov I. V., Shapet'ko K. V., Tomilenko A. S. *Vozdeystvie na put' vagonov s povyshennoy osevoy nagruzkoy* [Impact on the track of cars with increased axial load]. *Vestnik VNIIZhT* [Vestnik of the Railway Research Institute], 2016, Vol. 75, no. 4, pp. 233–238. DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2016-75-4-233-238>.

12. Zakharov S. M., Shenfeld K. P. *Razvitie tyazhelovesnogo dvizheniya v mire* [Worldwide development of heavy haul transport]. *Vestnik VNIIZhT* [Vestnik of the Railway Research Institute], 2013, no. 4, pp. 9–18.

13. Nogy Eurlng. *Levente Railway Earthworks instability diagnosis using track geometry measurement data – CCQ and Top 35 m*. Eurlng Levente Nogy. Permanent Way Institution, 2016, Vol. 134, no. 2, pp. 18–25.

14. Bilev I. V. *Povyshenie propusknoy sposobnosti na uchastke Malenga – Obozerskaya Severnoy direktsii infrastruktury* [The increase in capacity at the Malenga – Obozerskaya section of the Northern Infrastructure Directorate]. *Railway Track and Facilities*, 2017, no. 6, pp. 20–23.

15. Kistanov I. A. *Osobennosti raboty zheleznodorozhnogo zemlyanogo polotna v usloviyakh povyshennoy intensivnosti dvizheniya poezdov*. Trudy UEMIIIT [Features of the work of the railway subgrade in conditions of increased traffic of trains. Proc. of UEMIIIT]. Ekaterinburg, 1977, no. 56, pp. 36–40.

16. Maykovskiy G. *Analiz matematicheskoy modeli zemlyanogo polotna zheleznodorozhnogo puti* [Analysis of mathematical models of railway track subgrade]. *Zheleznye dorogi mira* [World railways], 1981, no. 2, pp. 59–78.

ABOUT THE AUTHOR

Kirill V. SHAPET'KO,
Researcher, JSC "VNIIZhT"

Received 05.05.2017

Revised 12.07.2017

Accepted 21.07.2017

E-mail: Shapetko.Kirill@vniizht.ru (K. V. Shapet'ko)

Исследование влияния геометрических параметров железнодорожного пути в плане, представленных в виде геометрических моделей, на показатели динамического взаимодействия пути и подвижного состава

Е. А. СИДОРОВА

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

Аннотация. В статье рассматривается подход к осуществлению сглаживания неровностей пути в плане между отрихтованными по расчету фиксированными точками с целью снижения показателей динамического взаимодействия пути и подвижного состава (величины рамных сил). В основе подхода лежат методы сплайн-интерполяции, которые применялись для построения геометрических моделей пути в плане. Дано определение понятия «неровность железнодорожного пути в плане» и обоснована актуальность проведенного исследования. Особое внимание уделяется вопросу плавности и непрерывности геометрической модели железнодорожного пути в плане и предлагается условие, выполнение которого позволяет получить зависимость положения точки, принадлежащей участку интерполяции, от положения точек предыдущего участка. На основе данных, полученных в результате измерений на одном из участков Восточного полигона вагоном-путеизмерителем, и результатов моделирования исследуется влияние длины сплайн-функции на распределение значений крутизны отвода неровностей на круговых кривых. Представлен сравнительный расчет рамных сил для оценки влияния неровностей железнодорожного пути в плане различной длины, проведенный с применением программного комплекса «Универсальный механизм», проведен анализ расчета и приведены результаты исследования зависимости значений рамных сил от степени загрузки вагона для неровностей участка пути в плане, построенных непосредственно по данным съемки вагоном-путеизмерителем, и для моделей неровностей того же участка, построенных сплайн-функциями разной длины. Обозначена область практического применения полученной модели железнодорожного пути в плане и рассмотрена возможность использования геометрической модели пути в горизонтальной плоскости для задач текущего содержания и ремонта, в частности при выборе положения пути между фиксированными точками и при задании шага выправки трех- или четырехточечной системы выправки.

Ключевые слова: план железнодорожного пути; геометрическое моделирование; сплайн-интерполяция; динамическое взаимодействие пути и подвижного состава; рихтовка

Введение. При оценке показателей взаимодействия пути и подвижного состава большое значение имеет характер неровностей, определяющих положе-

ние пути в плане и профиле. Понятие «неровность» железнодорожного пути в зависимости от причин появления и параметров может обозначать как короткие дефекты на поверхности катания головки рельсов, так и макродеформации, вызванные состоянием балластного слоя и земляного полотна.

Макронеровности могут рассматриваться и как отклонения от проектного положения в абсолютной неподвижной системе координат, и как отступления от положения скользящей хорды в подвижной системе координат. В данной статье понятие «неровность» определяется как местное отклонение положения пути в плане от геометрического положения идеальной прямой, круговой или переходной кривой.

Наличие неровностей железнодорожного пути в плане, особенно в кривых участках пути, относится к факторам, влияющим на интенсивность износа рельсов [1]. Влияние неровностей в плане на показатели динамического взаимодействия пути и подвижного состава существенно зависит от их длины. Так, короткие неровности длиной от 1,5 до 25 м влияют непосредственно на безопасность движения, а длинные — от 25 до 75 м и очень длинные — от 75 до 200 м оказывают влияние на комфортабельность поездки пассажиров [2]. Амплитуда неровностей железнодорожного пути в плане также оказывает существенное влияние на взаимодействие пути и подвижного состава, в частности на рост износа колес и рельсов [3].

Для снижения негативного влияния неровностей пути в плане производят выправочные работы, используя системы выправки по фиксированным точкам и сглаживающие системы выправки пути или их комбинацию. В статье рассматривается подход к осуществлению сглаживания неровностей пути в плане между отрихтованными по расчету фиксированными точками с целью снижения показателей динамического взаимодействия пути и подвижного состава. В основе рассматриваемого подхода лежат методы

■ E-mail: sidorova.elena@vniizht.ru (Е. А. Сидорова)

сплайн-интерполяции, которые применялись для построения геометрических моделей пути в плане. Геометрическая модель железнодорожного пути — это представление формы и размеров моделируемого объекта (железнодорожного пути), отвечающего требованию геометрического подобия и получаемого в результате вычислений на основе разработанных алгоритмов.

Постановка задачи моделирования. По результатам измерений на одном из участков Восточного полигона вагоном-путеизмерителем были получены координаты рельсовых нитей железнодорожного пути, по которым построены геометрические модели пути с применением методов сплайн-интерполяции, описанных в [4, 5]. В процессе моделирования геометрических параметров железнодорожного пути в плане была обеспечена непрерывность моделей в узлах интерполяции

$$\lim_{x \rightarrow x_i} y = y_i$$

При этом в точке x_i конечное значение сплайн-функции для первого участка интерполяции y_i равно начальному значению сплайн-функции для второго участка интерполяции y_{i+1} с учетом того, что x_i — общая точка для двух смежных участков интерполяции.

Плавность сопряжения сегментов модели предполагает наличие общей касательной и второй производной в общей точке для двух смежных участков интерполяции [6]

$$\frac{dy_i}{dx} = \frac{dy_{i+1}}{dx}, \quad \frac{d^2y_i}{dx^2} = \frac{d^2y_{i+1}}{dx^2}, \quad (1)$$

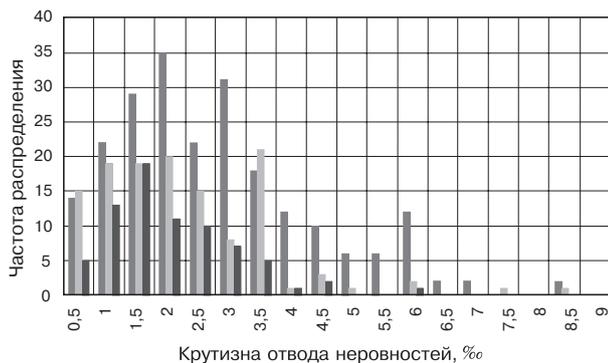


Рис. 1. Распределение значений крутизны отвода неровностей на круговых кривых, интерполированных с помощью сплайн-функций разной длины

- Сплайн-функция длиной 2 м
- Сплайн-функция длиной 5 м
- Сплайн-функция длиной 10 м

Fig. 1. Distribution of the steepness values for the bend of irregularities on circular curves interpolated by spline functions of different lengths

- Spline function for 2 m section
- Spline function for 5 m section
- Spline function for 10 m section

Выполнение условий (1) позволяет получить следующую зависимость положения точки, принадлежащей участку интерполяции, от положения точек предыдущего участка

$$y_{i+2} = 2y_i - y_{i-1} + \frac{\Delta x^2}{R},$$

где y_{i+2} — конечное значение сплайн-функции для второго участка интерполяции; y_{i-1} — начальное значение сплайн-функции для первого участка интерполяции; Δx — шаг интерполяции, R — радиус кривизны участка.

Изменяемым параметром геометрических моделей пути в плане была длина сплайн-функции, определяющая длину участка сглаживания, которая была принята равной 2, 5 и 10 м. Адекватность полученных моделей была оценена по среднеквадратичному отклонению модели пути с неровностями от положения пути без неровностей, которое составило для модели с длиной сплайн-функции, равной 2 м, — 0,00046 м, для модели с длиной сплайн-функции, равной 5 м, — 0,0001 м, а для модели с длиной сплайн-функции, равной 10 м, — 0,00002 м.

Была получена диаграмма распределения значений крутизны отвода неровностей (рис. 1) моделей круговой кривой, построенных с помощью сплайн-функций длиной 2, 5 и 10 м. Из диаграммы видно, что с ростом длины сплайн-функции уменьшаются значения крутизны отвода неровностей моделей.

При этом при интерполировании кривой сплайн-функцией длиной 5 м наибольшее значение крутизны отвода неровностей модели составляет 8,5 ‰, а при повышении длины сплайн-функции до 10 м наибольшее значение крутизны отвода неровностей модели не превышает 6 ‰. Таким образом, повышение длины сплайн-функции (длины участка сглаживания) приводит к снижению крутизны отвода неровностей геометрической модели пути в плане.

Исследование влияния геометрических параметров железнодорожного пути в плане, представленных в виде геометрических моделей, на величину рамных сил. Для исследования влияния неровностей железнодорожного пути в горизонтальной плоскости на показатели взаимодействия пути и подвижного состава применен программный комплекс «Универсальный механизм».

Объектом исследования была модель 4-осного грузового вагона с 2-осными тележками модели 18-100. Модель грузового вагона была построена на основе метода подсистем, который предполагает связь абсолютно твердых тел с помощью шарниров и силовых элементов, она включает 19 твердых тел (кузов, 2 надрессорные балки, 4 боковые рамы, 8 клиньев, 4 колесные пары) и,

поскольку каждое твердое тело имеет 6 степеней свободы, имеет 114 степеней свободы [7].

С применением программного комплекса «Универсальный механизм» был проведен сравнительный расчет рамных сил, возникающих при прохождении грузового вагона в кривой радиусом 338 м с наличием неровностей пути в горизонтальной плоскости, полученных по результатам измерений путеизмерителем, и неровностей, сглаженных с помощью сплайн-функций длиной 2, 5 и 10 м.

Макрогеометрия пути была задана в программном комплексе для кривой 338 м с разным возвышением наружного рельса ($h = 0,09$ м и $h = 0,12$ м).

В качестве показателя взаимодействия пути и подвижного состава в плане были выбраны рамные силы, действующие на путь со стороны подвижного состава [8]. Результаты расчета рамных сил представлены на рис. 2. Такой подход позволяет оценить влияние эффективности сглаживания неровностей сплайнами различной длины в горизонтальной плоскости в интервалах до 2, 5 и 10 м.

Анализ результатов моделирования показывает, что в среднем сглаживание кривой железнодорожного пути сплайн-функциями длиной 2 м позволило снизить уровень рамных сил на 4 %, длиной 5 м — на 18 %, а длиной 10 м — на 28 %.

В статье также приведены результаты исследования зависимости значений рамных сил от степени загрузки вагона для неровностей участка пути в плане, построенных непосредственно по данным съемки вагоном-путеизмерителем, и для моделей неровностей того же участка, построенных сплайн-функциями длиной 2, 5 и 10 м.

Задание макрогеометрии пути и неровностей в плане осуществлялось так же, как и в предыдущем модельном эксперименте. При этом моделирование осуществлялось для разных скоростей движения грузового вагона (54 и 72 км/ч) и при разной степени загрузки вагонов (60, 80 и 100 %) (рис. 3, 4).

Исследования показали, что с ростом длины сплайн-функций, применяемых для сглаживания неровностей железнодорожного пути в плане, снижается влияние степени загрузки вагона на рост рамных сил при увеличении скорости (рис. 5). Для скорости 54 км/ч разница уровня рамных сил при загрузке 60 и 100 % для пути с неровностями, полученными по данным путеизмерителя, составляет 15,39 кН, а для пути с неровностями, сглаженными сплайн-функциями длиной 10 м — 3 кН. Аналогично для скорости 72 км/ч результаты моделирования движения грузового вагона по пути с неровностями, полученными по данным путеизмерителя, показали разницу рамных сил при загрузке 60 и 100 %, равную 21,65 кН, а на пути с неровностями, сглаженными сплайн-функциями длиной 10 м — 13,74 кН.

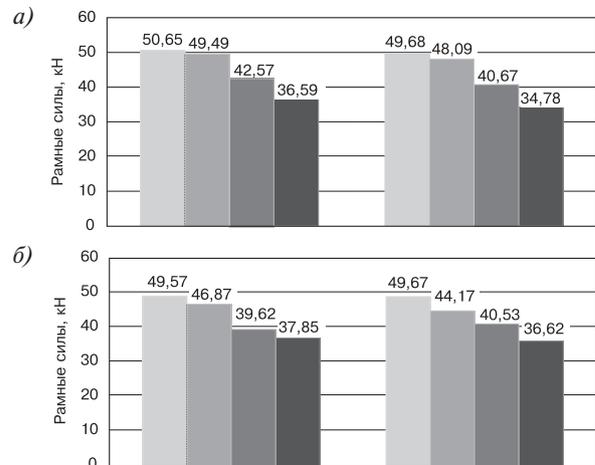


Рис. 2. Результаты сравнительного расчета рамных сил для оценки влияния неровностей моделей, построенных сплайн-функциями различной длины: а — неровность 1; б — неровность 2

Fig. 2. Results of a comparative calculation of the frame forces for estimating the influence of the irregularities of models built by spline functions of different lengths: а — irregularity 1; б — irregularity 2

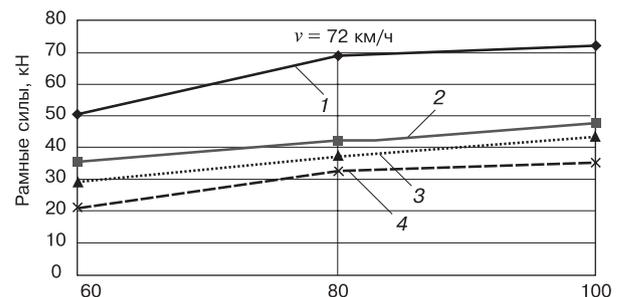


Рис. 3. Зависимость рамных сил от степени загрузки вагона при скорости 72 км/ч для моделей, построенных сплайн-функциями разной длины: 1 — неровность в плане по данным путеизмерителя; 2 — сплайн-функция длиной 2 м; 3 — сплайн-функция длиной 5 м; 4 — сплайн-функция длиной 10 м

Fig. 3. Dependence of frame forces on the level of loading of the car at a speed of 72 km/h for models built by spline functions of different lengths: 1 — irregularities in alignments according to data from track measuring car; 2 — spline function for 2 m section; 3 — spline function for 5 m section; 4 — spline function for 10 m section

Практическое применение модели железнодорожного пути в плане. Областью практического применения полученной модели железнодорожного пути в плане может стать задача текущего содержания и ремонта железнодорожного пути. Полученные данные могут быть использованы в качестве основы для формирования рекомендаций при составлении программы работы путевых машин в части выбора шага прохода сглаживающей системы выправки с измерением поло-

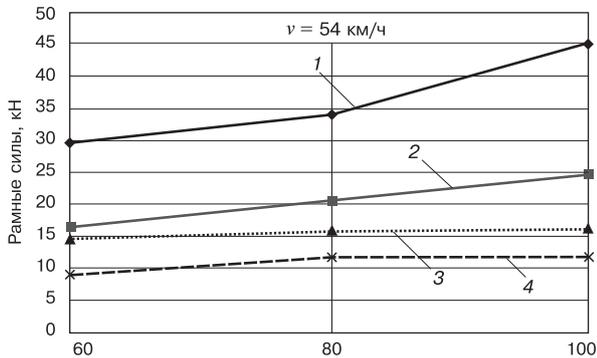


Рис. 4. Зависимость рамных сил от степени загрузки вагона при скорости 54 км/ч для моделей, построенных сплайн-функциями разной длины: 1 — неровность в плане по данным путеизмерителя; 2 — сплайн-функция длиной 2 м; 3 — сплайн-функция длиной 5 м; 4 — сплайн-функция длиной 10 м

Fig. 4. Dependence of frame forces on the level of loading of the car at a speed of 54 km/h for models built by spline functions of different lengths: 1 — irregularities in alignments according to data from track measuring car; 2 — spline function for 2 m section; 3 — spline function for 5 m section; 4 — spline function for 10 m section

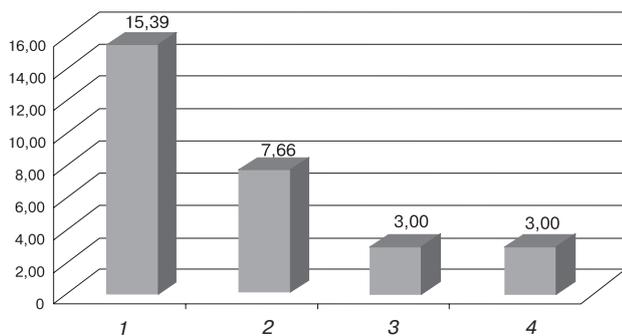


Рис. 5. Разница рамных сил для загрузки 60 и 100 % при скорости 54 км/ч для моделей, построенных сплайн-функциями разной длины: 1 — неровность в плане по данным путеизмерителя; 2 — сплайн-функция длиной 2 м; 3 — сплайн-функция длиной 5 м; 4 — сплайн-функция длиной 10 м

Fig. 5. The difference in frame forces for 60 and 100% loading at a speed of 54 km/h for models built by spline functions of different lengths: 1 — irregularities in alignments according to data from track measuring car; 2 — spline function for 2 m section; 3 — spline function for 5 m section; 4 — spline function for 10 m section

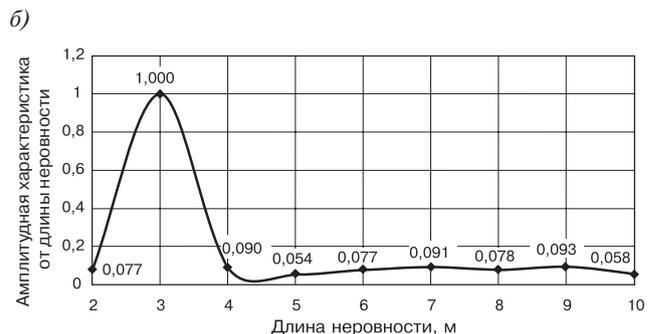


Рис. 6. Зависимость гармонического коэффициента сглаживания m_r (а) и амплитудной характеристики динамической системы сглаживания (б) от длины исходных неровностей пути

Fig. 6. Dependence of the harmonic smoothing coefficient m_r (a) and the amplitude characteristic of the dynamic smoothing system (b) on the length of the initial irregularities of the track

жения пути по трем или четырем точкам. Система выправки с измерением положения пути по трем точкам широко распространена на Российских железных дорогах и применяется, в частности, в путевых машинах ВПО-3000, ВПО-3-3000, ВПО-3-3000С, а также может применяться при рихтовке машинами ВПР-02М и ВПРС-02 при постановке в проектное положение отдельных точек и сглаживании отрезков пути между ними.

В соответствии с принятыми способами описания положения железнодорожного пути в плане при расчетах выправки пути в путевых машинах могут быть реализованы следующие модели железнодорожного пути в плане:

- модель, представленная совокупностью точек с координатами (x; y) в декартовой системе координат;
- модель, представленная графиком углограммы;
- модель, представленная графиком натуральных стрел [9].

Путевые машины для выправки железнодорожного пути в плане оснащены специальными системами, позволяющими определять положение пути в процессе выправки. Эти системы используют для определения положения пути базы отсчета, которые могут быть неподвижными, подвижными и совмещенными. В соответствии с используемыми базами отсчета системы выправки подразделяются на сглаживающие, работающие по методу фиксированных точек и универсальные [9].

При этом процесс выправки неровностей железнодорожного пути зачастую производят не одним из описанных методов, а комбинированным способом, выправляя путь по фиксированным точкам через 10 или 20 м, а между фиксированными точками используя сглаживающие методы выправки.

Параметр a характеризует шаг системы выправки и является одним из ключевых, поскольку определяет геометрический коэффициент сглаживания m , который, в свою очередь, является показателем ка-

чества работы выправочной системы сглаживающего типа и имеет вид [9]

$$m = \frac{a+b}{a}, \quad (2)$$

где a и b — плечи системы выправки.

На рис. 6, a представлена зависимость гармонического коэффициента сглаживания m_r от длины исходных неровностей пути на интервале от 2 до 10 м для машины с трехточечной системой выправки с плечами $a = 3,2$ м и $b = 17,9$ м [10]. Из рисунка видно, что система лучше всего сглаживает неровности длиной 2 м. Неровности длиной 5 м система сглаживает немного хуже, а на неровностях длиной 10 м коэффициент сглаживания постепенно уменьшается. Амплитудная характеристика динамической системы сглаживания как обратная величина гармоническому коэффициенту сглаживания представлена на рис. 6, б.

Заключение. С учетом проведенных исследований можно сделать вывод о целесообразности применения геометрической модели железнодорожного пути в плане при планировании рихтовочных работ сглаживающими методами выправки между фиксированными точками. Результаты расчетов показали снижение рамных сил при сглаживании неровностей пути с использованием геометрических моделей. Полученные после моделирования сплайн-функциями значения могут применяться при выборе положения пути между фиксированными точками и при задании шага выправки трех- или четырехточечной системы выправки. При этом следует учитывать, что наилучшие результаты выправки могут быть получены при интерполяции участка пути длиной 10 м и при смещении начальной точки на 2 м.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Певзнер В.О., Белоцветова О.Ю., Потапов А.В. Результаты наблюдений по оценке влияния эксплуатационных факторов на боковой износ рельсов // Вестник ВНИИЖТ. 2016. Т. 75. № 4. С. 242–247. DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2016-75-4-242-247>.
2. Романов А.В., Шехтман Е.И. К вопросу о взаимодействии пути и подвижного состава при высокоскоростном движении поездов // Бюллетень результатов научных исследований. 2013. № 3 (8). С. 48–53.
3. Карпушенко Н.И., Величко Д.В., Бобовникова Н.А. Влияние ширины колеи и состояния ходовых частей подвижного состава на интенсивность износов // Транспорт Российской Федерации. 2010. № 3 (28). С. 10–13.
4. Сидорова Е.А., Железнов М.М. Геометрическое моделирование железнодорожного пути в плане с применением методов сплайн-интерполяции // Вестник РГУПС. 2015. № 4. С. 109–113.
5. Сидорова Е.А., Железнов М.М. Поиск оптимального положения железнодорожного пути в плане с применением геометрического моделирования // Вестник ВНИИЖТ. 2014. № 1. С. 35–39.
6. Rogers D.F., Adams J.A. *Mathematical Elements for Computer Graphics*. McGraw-Hill, New York, USA, 1990. 512 p.
7. Погорелов Д.Ю. Введение в моделирование динамики систем тел. Брянск: БГТУ, 1997. 156 с.
8. Певзнер В.О., Ромен Ю.С. Основы разработки нормативов содержания и установления скоростей движения. М.: Интекст, 2013. 224 с.
9. Путевые машины: учеб. / М.В. Попович [и др.]. М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2009. 820 с.
10. Автоматика и автоматизация производственных процессов в строительстве и путевом хозяйстве: учеб. / В.Ф. Яковлев [и др.]. М.: Транспорт, 1990. 279 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

СИДОРОВА Елена Анатольевна, аспирант, научный сотрудник, отделение «Аппарат Объединенного ученого совета ОАО «РЖД», АО «ВНИИЖТ»

Статья поступила в редакцию 14.06.2017 г., принята к публикации 11.08.2017 г.

Research of geometry effects on the railway track in the alignment, represented in the form of geometric models, on the indicators of the dynamic interaction of the track and rolling stock

E. A. SIDOROVA

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

Abstract. The article describes the approach of smoothing track irregularities in alignments between fixed points, realigned by calculation, for reduction of indicators of the track and rolling stock dynamic interaction. This approach is based on spline interpolation methods, which were used to construct geometric models of the track in alignments. The article provides the definition of "track irregularities in alignments" and substantiates the relevance of the study. The article focuses on the question of the smoothness and the continuity of the geometric model of railway track in alignments and proposes a condition, which allows obtaining the dependence of the position of a point belonging to the interpolation interval and the position of the points of the

previous interpolation interval. Authors studied the influence of the length of the spline function on the distribution of bend values of irregularities on circular curves based on the data obtained by measurement on one of the tracks of the Eastern operating area by track measuring car, and modelling results as well. The article presents a comparative analysis of frame forces to assess the impact of the track irregularities in alignments and grades of different lengths, which performed using the software package "Universal mechanism"; the analysis of the calculation was carried and it provided the results of research of the dependence of values of the frame forces on the loading efficiency of the car in motion on the length of track with the track irregularities in alignment

which were modeled directly according to the measurement of track measuring car and with models of the track irregularities in alignments, developed with different lengths of the spline function. The article outlines the area of practical application of the developed railway track model in alignments and considered the possibility of using the geometrical model of the track in a horizontal plane for problem of maintenance and repair, in particular when setting the track between two fixed points and plotting the step of realigning of three – or four-point system for track lining.

Keywords: railway track alignment; geometric modelling; spline interpolation; dynamic interaction between track and rolling stock; realigning

DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2017-76-4-243-248>

REFERENCES

1. Pevzner V.O., Belotsvetova O.Yu., Potapov A.V. *Rezultaty nablyudeniya po otsenke vliyaniya ekspluatatsionnykh faktorov na bokovoy iznos rel'sov* [Results of observations to evaluate the impact of operational factors on the lateral rail wear]. *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>.
2. Romanov A.V., Shekhtman E.I. *K voprosu o vzaimodeystvii puti I podvizhnogo sostava pri vysokoskorostnom dvizhenii poyezdov* [On the question of the interaction of the track and the rolling stock with high-speed train traffic]. *Byulleten' rezul'tatov nauchnykh issledovaniy* [Bulletin of scientific research], 2013, no. 3 (8), pp. 48–53.
3. Karpushchenko N.I., Velichko D.V., Bobovnikova N.A. *Vliyaniye shiriny kolei i sostoyaniya khodovykh chastey podvizhnogo sostava na intensivnost' iznosov* [Influence of the track width and the condition of running parts of the rolling stock on the intensity of wear]. *Transport Rossiyskoy Federatsii*, 2010, no. 3 (28), pp. 10–13.

4. Sidorova E.A., Zhelezov M.M. *Geometricheskoye modelirovaniye zheleznodorozhnogo puti v plane s primeneniym metodov splayn-interpolyatsii* [Geometric modeling of railway track plan using method of spline interpolation]. *Vestnik RGUPS* [Bulletin of RGUPS], 2015, no. 4, pp. 109–113.

5. Sidorova E.A., Zhelezov M.M. *Poisk optimal'nogo polozheniya zheleznodorozhnogo puti v plane s primeneniym geometricheskogo modelirovaniya* [Seeking optimum track alignment plan location supported with geometric modeling provisions]. *Vestnik VNIIZhT* [Vestnik of the Railway Research Institute], 2014, no. 1, pp. 35–39.

6. Rogers D.F., Adams J.A. *Mathematical Elements for Computer Graphics*. McGraw-Hill, New York, USA, 1990, 512 p.

7. Pogorelov D.Yu. *Vvedeniye v modelirovaniye dinamiki sistem tel* [Introduction to modeling the dynamics of systems of objects]. Bryansk, BGU Publ., 1997, 156 p.

8. Pevzner V.O., Romen Yu.S. *Osnovy razrabotki normativov soderzhaniya i ustanovleniya skorostey dvizheniya* [Fundamentals of developing standards for maintenance and speed]. Moscow, Intext Publ., 2013, 224 p.

9. Popovich M.V., Bugayenko V.M., Volkovoynov B.G. *Putevye mashiny: ucheb.* [Track machines: Textbook]. Moscow, GOU "Uchebno-metodicheskiy tsentr po obrazovaniyu na zheleznodorozhnom transporte" [GOU "Methodological Center for Education in Railway Transport"] Publ., 2009, 820 p.

10. Yakovlev V.F., Bulash N.M., Popov A.P. *Avtomatika i avtomatizatsiya proizvodstvennykh protsessov v stroitel'stve i putevom khozyaystve: ucheb.* [Automation and mechanization of production processes in construction and track facilities: Textbook]. Moscow, Transport Publ., 1990, 279 p.

ABOUT THE AUTHOR

Elena A. SIDOROVA,

Post-Graduate, Researcher, Department "Executive Office of the Joint Scientific Council of JSC "RZD", JSC "VNIIZhT"

Received 14.06.2017

Accepted 11.08.2017

■ E-mail: sidorova.elena@vniizht.ru (E. A. Sidorova)

«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).

Корифей путейской науки (к 100-летию со дня рождения доктора технических наук О. П. Ершкова)

В. О. ПЕВЗНЕР, И. С. СМЕЛЯНСКАЯ

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

Аннотация. Крупный ученый, д-р техн. наук Олег Петрович Ершков (1917–1997) посвятил всю свою научную деятельность проблеме взаимодействия подвижного состава и пути в кривых. Разработанный им обобщенный аналитический метод определения поперечных сил в кривых и построенные по этому методу графики-паспорта бокового воздействия локомотивов на путь позволили находить величины этих сил практически при любых радиусах кривых, возвышениях наружного рельса и скоростях движения.

Ключевые слова: возвышение наружного рельса; скорость движения подвижного состава; непогашенное ускорение; приращение непогашенного ускорения; скорость подъема колеса по отводу возвышения; уклон отвода возвышения; система оценки состояния пути

Введение. При движении поезда в кривой возникают три вида поперечных горизонтальных сил. Направляющие силы возникают при набегании гребня колеса на рельс и связаны прежде всего с боковым износом рельса. Боковые силы вызывают изгиб и кручение рельса, от воздействия которых в основном происходит изменение ширины колеи. Рамные силы определяют поперечную устойчивость всей рельсошпальной решетки. Взаимодействие пути и подвижного состава в кривых диктует основные требования, предъявляемые как к конструкции пути и нормам его устройства, так и к конструкции подвижного состава, а также к допускам содержания пути, локомотивов и вагонов. Теоретические и экспериментальные исследования показали, что значения непогашенных ускорений в кривой определяют уровень силового воздействия на путь поездов, проходящих по кривой, и, как следствие, интенсивность бокового и вертикального износов рельсов, степень устойчивости пути и комфортабельность езды пассажиров. Вопросы оптимизации величины возвышения наружного рельса в кривых, установления величины непогашенного ускорения постоянно находятся в зоне внимания ученых и специалистов-практиков отечественных и зарубежных железных дорог.

В 2017 г. исполняется 100 лет со дня рождения Олега Петровича Ершкова — одного из ведущих ученых



Д-р техн. наук О. П. Ершков
(1917–1997)
Dr. Sci. (Eng.) O. P. Ershkov
(1917–1997)

ВНИИЖТ (в настоящее время — АО «ВНИИЖТ»), доктора технических наук.

О. П. Ершков с отличием окончил Елецкий строительный техникум НКПС и был направлен для продолжения учебы в Московский институт инженеров железнодорожного транспорта (МИИТ). Дипломный проект молодой инженер защитил с отличием 10 июня 1941 г. По направлению он недолго проработал инженером на

Северо-Донецкой железной дороге: в октябре 1941 г. Олег Петрович был мобилизован на фронт. В составе 8-го отдельного строительного батальона, а затем в одной из частей УВВР-20 (Управление военно-восстановительных работ № 20) он прошел ратный путь от Северного Кавказа до Берлина. Одиннадцать правительственных наград — убедительное свидетельство тому, как проявил себя в годы тяжелых испытаний О. П. Ершков. Среди них медали «За боевые заслуги», «За оборону Кавказа», «За освобождение Варшавы», «За взятие Берлина», «За победу над Германией в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.».

Научная деятельность. После демобилизации, в мае 1946 г., О. П. Ершков пришел на работу во ВНИИЖТ. Основным направлением в работе он избирает исследование железнодорожного пути в кривых как очень актуальную тему, от изучения которой во многом зависит успешная эксплуатационная работа.

13 июня 1952 г. научный сотрудник, аспирант успешно защищает кандидатскую диссертацию на тему «Изгиб и кручение рельсов под действием горизонтальных поперечных сил». Разработанный им метод расчета железнодорожного пути на действие поперечных сил и впервые полученные расчетные формулы вошли в учебники для транспортных вузов.

■ E-mail: smelyanskaya.irina@vniizht.ru (И. С. Смелянская)

С увлечением работал Олег Петрович в области определения пространственной жесткости пути и модуля упругости. Значение этих исследований особенно возросло при решении современных задач о взаимодействии пути и подвижного состава.

О. П. Ершков является автором более 100 печатных работ [1–12].

Будучи руководителем сектора теоретических исследований в отделении «Комплексные испытания и взаимодействие пути и подвижного состава», Олег Петрович основное внимание уделял изучению железнодорожных кривых. Получил признание и разработанный им метод расчета поперечных сил при движении поездов в кривых участках пути. Удачная находка обобщенного аргумента, заменяющего радиус кривой, возвышение наружного рельса и скорость движения, использование понятия обобщенного экипажа позволили О. П. Ершкову продолжить работы профессора К. П. Королева и создать новое направление в этой области исследований. Обобщенному методу расчета поперечных сил посвящена капитальная (одна из главных) монография О. П. Ерškova «Расчет поперечных горизонтальных сил в кривых», защищенная им в 1966 г. как докторская диссертация «Поперечные горизонтальные силы, действующие на путь при прохождении подвижного состава».

Под его руководством разработаны методика определения возвышения наружного рельса в кривых с учетом структуры поездов и их скоростей движения, методика определения максимальных допустимых скоростей движения в кривых с использованием лент путеизмерительного вагона, методика анализа причин схода подвижного состава и ряд других.

Эти работы О. П. Ерškova являются основой дальнейших исследований в этой области, проводимых в лаборатории «Взаимоувязанные нормативы взаимодействия пути и подвижного состава» отделения «Комплексные исследования пути и подвижного состава».

В 2009 г. было утверждено новое «Руководство по определению возвышения наружного рельса и скоростей движения в кривых». В настоящее время разрабатывается порядок устройства кривых с учетом специализации линий. Это направление научной деятельности О. П. Ерškova еще долгое время будет востребовано с учетом изменяющихся условий эксплуатации.

Большое внимание О. П. Ершков уделял проблемам высокоскоростного движения. Он участвовал в разработке технических норм проектирования железных дорог для движения пассажирских поездов со скоростью до 160, 200 и 250 км/ч. Эти работы были использованы при составлении технических требований на переустройство магистрали Москва — Санкт-Петербург для скорости движения до 200 км/ч, а позже — при разработке технических норм устройства и

содержания пути, а также других устройств, обеспечивающих надежную эксплуатацию этой линии. Он являлся автором монографий, посвященных проблемам высокоскоростного движения.

В 1980 г. под руководством О. П. Ерškova была разработана и внедрена на сети дорог принципиально новая система оценки состояния пути, впервые увязанная с мерами по обеспечению безопасности движения поездов.

В последующие годы научная деятельность О. П. Ерškova была связана с совершенствованием норм устройства и содержания пути для обычных и скоростных линий и изысканием резервов повышения скорости движения грузовых и пассажирских поездов.

Принципиальной основой разработанных норм явилось сочетание обширных теоретических исследований и расчетов с результатами широкого круга экспериментальных исследований, выполненных в отделении «Комплексные исследования пути и подвижного состава» (КИ).

Работы учеников и последователей. В 1997 г. была разработана и утверждена «Инструкция по расшифровке лент и оценке состояния рельсовой колеи по показаниям путеизмерительного вагона ЦНИИ-2 и мерам по обеспечению безопасности движения поездов» (ЦП-515), ставшая продолжением и развитием ТУ-81.

К сожалению, в последние годы экспериментальной проверке разрабатываемых нормативов стало уделяться недостаточное внимание.

Специалисты лаборатории «Взаимоувязанные нормативы взаимодействия пути и подвижного состава» участвовали в разработке «Норм допустимых скоростей движения подвижного состава по железнодорожным путям колеи 1520 (1524) мм федерального железнодорожного транспорта» (приказ № 41 от 12.11.2001 г.).

Крупный ученый, хороший организатор и педагог О. П. Ершков дал путевку в жизнь многим молодым исследователям, которые под его научным руководством стали кандидатами технических наук.

Одним из его учеников был канд. техн. наук Карцев Владимир Яковлевич (1940–2014), который продолжил работу Олега Петровича и стал известным специалистом в области исследования круговых кривых, скоростей движения подвижного состава по кривым и сопряжениям кривых в плане [11, 12]. По программе скоростного и высокоскоростного движения им были даны рекомендации по повышению на направлениях Москва — Брест и Москва — Суземка скоростей движения пассажирских поездов в кривых до 160 км/ч без их переустройства за счет увеличения нормы непогашенного ускорения с 0,7 до 0,9 м/с². Эти рекомендации реализованы при повышении скоростей движения поездов из вагонов «Тальго» с электровозом ЭП20 и электропоездов «Аллегро» и «Сапсан».

Самое активное участие принимали специалисты лаборатории «Взаимоуязвимые нормативы взаимодействия пути и подвижного состава» в работе, предшествующей вводу в постоянную эксплуатацию электропоезда «Сапсан» со скоростью движения до 250 км/ч и электропоезда «Аллегро» (в конструкции поезда использована технология принудительного наклона кузова) со скоростью движения до 200 км/ч, а также в подготовке ряда направлений к движению пассажирских поездов со скоростями до 160–200 км/ч. На основании экспериментальных данных возникла необходимость оценить возможность увеличения при скорости до 250 км/ч норматива приращения непогашенного ускорения в переходных кривых и норматива скорости подъема колеса по отводу возвышения.

На базе экспериментальных данных и обобщения зарубежного опыта была показана возможность по условиям безопасности движения и комфортабельности езды пассажиров распространения до скорости движения 250 км/ч норматива приращения непогашенного ускорения $0,6 \text{ м/с}^3$ и увеличения норматива скорости подъема колеса по отводу возвышения до 50 мм/с.

С учетом того что со скоростью до 250 км/ч будут обраться высокоскоростные электропоезда типа «Сапсан» с улучшенными динамическими характеристиками ходовых частей, допускаемую скорость движения скоростного и высокоскоростного подвижного состава по переходным кривым стало возможным устанавливать исходя из приращения непогашенного ускорения и скорости подъема колеса по отводу возвышения.

Это согласуется с нормативами устройства пути в кривых на скоростных и высокоскоростных линиях, приведенными в европейском стандарте prEN 13803-1/2006 «Параметры устройства пути колеи 1435 мм и шире». Согласно этому документу, допустимая величина приращения непогашенного ускорения в переходных кривых для скорости до 200 км/ч составляет $0,65 \text{ м/с}^3$, а для скорости до 250 км/ч — $0,6 \text{ м/с}^3$; допустимая скорость подъема колеса по отводу возвышения для скорости до 200 и 250 км/ч одинакова и равна 50 мм/с.

Признание и награды за труд. Ведущий ученый Института О. П. Ершков являлся членом Ученого совета ВНИИЖТ, секции транспортного строительства НТС Госстроя СССР и секции пути НТС МПС, членом секции Научного совета по транспорту ГКНТ при Совете Министров СССР.

Эрудиция и компетентность О. П. Ерškova по обширному кругу проблем, позволяли ему на протяжении многих лет вести успешную научно-педагогическую деятельность и широкую пропаганду научных знаний. Он выступал с лекциями в институте повышения квалификации при МИИТе, перед аспирантами ВНИИЖТ, на дорогах сети. Олег Петрович много лет был

членом редколлегии газеты «Железнодорожник», печатался в журнале «Вестник ВНИИЖТ».

За плодотворную научную деятельность О. П. Ершков был награжден знаком «Почетному железнодорожнику», дважды знаком «Почетный железнодорожник Польских железных дорог».

Заключение. Научная деятельность корифея путейской науки О. П. Ерškova была посвящена решению проблем взаимодействия подвижного состава и пути в кривых, а именно изучению вопросов оптимизации величины возвышения в кривых, установления величины непогашенного ускорения, установления скоростей движения по кривым. Актуальность задачи и сегодня высока, ее изучением занимаются ученые всего мирового железнодорожного сообщества.

В настоящее время разрабатывается порядок устройства кривых с учетом специализации линий. Современное поколение ученых и молодых исследователей ВНИИЖТ, основываясь на опыте и знаниях старшего поколения, достойно продолжает научные традиции института в данной области знаний, так как это важное направление еще долгое время будет востребовано с учетом изменяющихся условий эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ершков О. П. Вопросы подготовки железнодорожного пути к высоким скоростям движения // Труды ЦНИИ МПС. М.: Трансжелдориздат, 1959. Вып. 176. 126 с.
2. Ершков О. П., Мелентьев Л. П., Яхов М. С. Расчеты железнодорожного пути в кривых и нормы его устройства // Труды ВНИИЖТ. М.: Трансжелдориздат, 1960. Вып. 192. 206 с.
3. Ершков О. П. Применение графиков-паспортов для оценки воздействия локомотивов на путь в кривых. М.: Транспорт, 1964. 34 с.
4. Ершков О. П. Расчет поперечных горизонтальных сил в кривых // Труды ВНИИЖТ. М.: Транспорт, 1966. Вып. 301. 235 с.
5. Ершков О. П. Учет боковой упругости пути при расчетах вписывания железнодорожных экипажей в кривые // Влияние конструкции подвижного состава и норм устройства колеи на взаимодействие пути и подвижного состава: сб. науч. тр. / под ред. О. П. Ерškova. М.: Транспорт, 1971. Вып. 474. С. 4–61.
6. Ершков О. П. Сопряжения кривых и особенности движения подвижного состава по ним // Труды ЦНИИ МПС. М.: Транспорт, 1973. Вып. 500. 96 с.
7. Ершков О. П. Исследование накопления расстройств рельсовой колеи железнодорожного пути // Труды ВНИИЖТ. М.: Транспорт, 1980. Вып. 628. 105 с.
8. Ершков О. П., Зак М. Г. Учет структуры поездопотока при установлении норм устройства рельсовой колеи в кривых // Вестник ВНИИЖТ. 1987. № 6. С. 41–44.
9. Ершков О. П. Скорости движения поездов в кривых: сб. науч. тр. ВНИИЖТ / под ред. О. П. Ерškova. М.: Транспорт, 1988. 118 с.
10. Ершков О. П., Крыжановский Г. В., Моначов И. К. Справочный материал по нормам устройства, допускам содержания пути и допускаемым скоростям пропуска поездов / Учеб.-метод. центр «Безопасность движения поездов» ИПК МПС РФ. Ассоц. «Трансбезопасность». М.: Транспорт, 1994. 28 с.
11. Ершков О. П., Карцев В. Я. Устройство сопряжений кривых на зарубежных железных дорогах. М.: Транспорт, 1974. 31 с.
12. Ершков О. П., Карцев В. Я., Семерханов В. В. Резервы повышения скоростей движения пассажирских поездов в кривых // Подвижной состав и путь в условиях интенсификации работы железных дорог: сб. тр. ВНИИЖТ. М.: Транспорт, 1989. С. 124–130.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

ПЕВЗНЕР Виктор Ошерович,

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

СМЕЛЯНСКАЯ Ирина Семеновна, ведущий инженер, АО «ВНИИЖТ»

Статья поступила в редакцию 24.04.2017 г., актуализирована
27.06.2017 г., принята к публикации 10.07.2017 г.

Coryphaeus of the railway track science (on the occasion to the 100th anniversary of the birth of Doctor of Technical Sciences O. P. Ershkov)

V. O. PEVZNER, I. S. SMELYANSKAYA

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

Abstract. 2017 marks the 100th anniversary of the birth of Oleg Petrovich Ershkov — one of the leading scientists of VNIIZhT (currently JSC "VNIIZhT"), Doctor of Technical Sciences.

All his scientific work was devoted to the problems of the interaction of rolling stock and the track in curves. The generalized analytical method developed by him to determine the transverse forces in curves and the graphs of the lateral effect of locomotives on the track constructed by this method made it possible to find the values of these forces practically at any radius of the curves, the elevations of the outer rail and the speeds of motion.

And today the direction of the scientific activity of O. P. Ershkov is in demand taking into account changing operating conditions. On the basis of experimental studies and generalization of foreign experience, Cand. Tech. Sci. V. Ya. Kartsev was able to determine, under the conditions of traffic safety and comfortable driving of passengers, the propagation to a speed of 250 km/h of the rate of increment of the unprecedented acceleration of 0.6 m/s³ and an increase in the rate of lifting of the wheel along the elevation to 50 mm/s. The new "Guidelines for determining the elevation of the outer rail and the speed of movement in curves" was approved.

O. P. Ershkov is the author of more than 100 publications.

At the present time, the order of the structure of curves is being developed taking into account the specialization of the lines. The modern generation of scientists and young researchers of VNIIZhT, based on the experience and knowledge of the older generation, adequately continues the scientific traditions of VNIIZhT in this field of knowledge.

Keywords: outer rail elevation; motion speed of railway rolling stock; unbalanced acceleration; increment of unbalanced acceleration; wheel elevation speed on raising gradient; incline of raising gradient; track condition assessment system

DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2017-76-4-249-252>

REFERENCES

1. Ershkov O. P. *Voprosy podgotovki zheleznodorozhnogo puti k vysokim skorostyam dvizheniya*. Trudy TsNII MPS [Issues of preparation of railway track to the high speeds. Proc. of the Central Research Institute of the Ministry of Railways]. Moscow, Transzheldorizdat Publ., 1959, no. 176, 126 p.
2. Ershkov O. P., Melent'ev L. P., Yakhov M. S. *Raschety zheleznodorozhnogo puti v krivykh i normy ego ustroystva*. Trudy VNIIZhT [Calculations of the railway track in curves and norms of its arrangement. Proc. of JSC "VNIIZhT"]. Moscow, Transzheldorizdat Publ., 1960, no. 192, 206 p.
3. Ershkov O. P. *Primenenie grafikov-pasportov dlya otsenki vozdeystviya lokomotivov na put' v krivykh* [The application of passport graphics to assess the impact of locomotives on the track in curves]. Moscow, Transport Publ., 1964, 34 p.
4. Ershkov O. P. *Raschet poperechnykh gorizontalnykh sil v krivykh*. Trudy VNIIZhT [Calculation of transverse horizontal forces in curves. Proc. of JSC "VNIIZhT"]. Moscow, Transport Publ., 1966, no. 301, 235 p.
5. Ershkov O. P. *Uchet bokovoy uprugosti puti pri raschetakh vpyisyvaniya zheleznodorozhnykh ekipazhey v krivye* [Accounting

lateral elasticity in tracks when calculating inscribing of railway vehicle to curves]. *Vliyanie konstruktivnykh podvizhnogo sostava i norm ustroystva kolei na vzaimodeystvie puti i podvizhnogo sostava*. Sb. nauch. tr. [Influence of a design of a rolling stock and norms of the gauge structure on interaction of track and rolling stock. Proc. of sci. works]. Moscow, Transport Publ., 1971, no. 474, pp. 4–61.

6. Ershkov O. P. *Sopryazheniya krivykh i osobennosti dvizheniya podvizhnogo sostava po nim*. Trudy TsNII MPS [Conjugation curves and features of rolling stock movement over them. Proc. of the Central Research Institute of the Ministry of Railways]. Moscow, Transport Publ., 1973, no. 500, 96 p.

7. Ershkov O. P. *Issledovanie nakopleniya rastroystv rel'sovoy kolei zheleznodorozhnogo puti*. Trudy VNIIZhT [The study of accumulation disorders in gauge of railway track. Proc. of JSC "VNIIZhT"]. Moscow, Transport Publ., 1980, no. 628, 105 p.

8. Ershkov O. P., Zak M. G. *Uchet struktury poezdopotoka pri ustanovlenii norm ustroystva rel'sovoy kolei v krivykh* [Accounting the structure of the train traffic at the estimation of norms for the structure of the rail track gauge in curves]. Vestnik VNIIZhT [Vestnik of the Railway Research Institute], 1987, no. 6, pp. 41–44.

9. Ershkov O. P. *Skorosti dvizheniya poezdov v krivykh*. Sb. nauch. tr. VNIIZhT [Traffic speed of trains in curves. Proc. of VNIIZhT]. Moscow, Transport Publ., 1988, 118 p.

10. Ershkov O. P., Kryzhanovskiy G. V., Monakhov I. K. *Spravochnyy material po normam ustroystva, dopuskam soderzhaniya puti i dopuskaemym skorostyam propuska poezdov* [Reference material on the device standards, track maintenance tolerances and permitted train handling speeds]. Ucheb.-metod. tsentr "Bezopasnost' dvizheniya poezdov" IPK MPS RF. Assots. "Transbezopasnost'" [Educational and methodical center "Safety of train traffic" IPC of the Ministry of Railways of the Russian Federation. Association "Trans-safety"]. Moscow, Transport Publ., 1994, 28 p.

11. Ershkov O. P., Kartsev V. Ya. *Ustroystvo sopryazheniy krivykh na zarubezhnykh zheleznnykh dorogakh* [The structure of curves conjugation on foreign railways]. Moscow, Transport Publ., 1974, 31 p.

12. Ershkov O. P., Kartsev V. Ya., Semerkhanov V. V. *Rezervy povysheniya skorostey dvizheniya passazhirskikh poezdov v krivykh* [Reserves for increasing the speed of passenger trains in curves]. Podvizhnoy sostav i put' v usloviyakh intensifikatsii raboty zheleznnykh dorog. Sb. tr. VNIIZhT [Rolling stock and track in the conditions of an intensification of railway operation. Proc. of VNIIZhT]. Moscow, Transport Publ., 1989, pp. 124–130.

ABOUT THE AUTHORS

Viktor O. PEVZNER,

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

Irina S. SMELYANSKAYA,

Leading Engineer, JSC "VNIIZhT"

Received 24.04.2017

Revised 27.06.2017

Accepted 10.07.2017