

Вестник

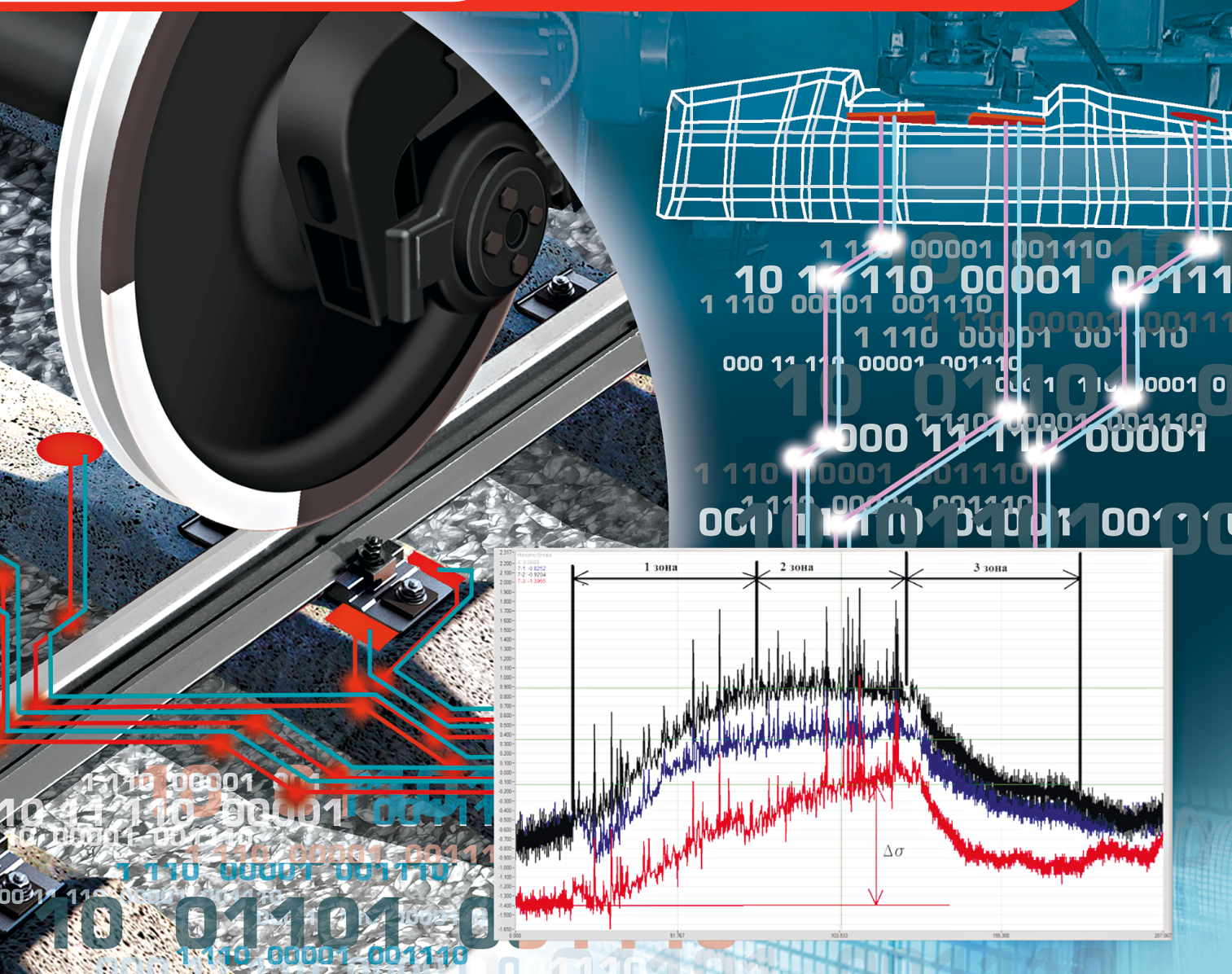
Научно-исследовательского института
железнодорожного транспорта

ISSN 2223 – 9731 (Print)

ISSN 2713 – 2560 (Online)

Издается с 1942 г.

Том 80, № 3, 2021



26-27 августа 2021 г., Москва

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



2021

ТЕМЫ МЕРОПРИЯТИЙ

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

Также вас ждут

ТЕХНИЧЕСКИЕ ТУРЫ

- ||||| Экспериментальное кольцо
- ||||| Испытательные стенды
- ||||| Лаборатории ВНИИЖТ



Вестник

Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта

Научно-технический журнал

Периодичность: 6 номеров в год

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

www.vniizht.ru

Свидетельство о регистрации

ПИ № ФС77-35600 от 17.03.2009.

Журнал включен в Перечень рецензируемых
научных изданий ВАК.

Журнал включен в Российский индекс
научного цитирования (РИНЦ).

Издается с 1942 г.

Подписной индекс 70116

ISSN 2223-9731 (Print)

ISSN 2713-2560 (Online)

Редакционный совет

Виноградов С. А., председатель, канд. техн. наук,

АО «ВНИИЖТ», Москва, Россия,

Косарев А. Б., зам. председателя, д-р техн. наук,

проф., АО «ВНИИЖТ», Москва, Россия,

Горячева И. Г., д-р физ.-мат. наук, проф.,

академик РАН, ИПМех РАН, Москва, Россия,

Дынькин Б. Е., д-р техн. наук, проф.,

ФГБОУ ВО РГУПС, Ростов-на-Дону, Россия,

Колесников В. И., д-р техн. наук, проф.,

академик РАН, ФГБОУ ВО РГУПС,

Ростов-на-Дону, Россия,

Куммер С., д-р экономики, проф., Венский

экономический университет, Институт

транспорта и логистики, Вена, Австрия,

Лалидус Б. М., д-р экон. наук, проф.,

Объединенный ученый совет ОАО «РЖД»,

Москва, Россия,

Лёвин Б. А., д-р техн. наук, проф., ФГАОУ ВО РУТ

(МИИТ), Москва, Россия,

Махутов Н. А., д-р техн. наук, проф.,

член-корреспондент РАН, ИММАШ РАН,

Москва, Россия,

Мачерет Д. А., д-р экон. наук, проф.,

АО «ВНИИЖТ», Москва, Россия,

Назаров О. Н., канд. техн. наук, ОАО «РЖД»,

Москва, Россия,

Розенберг Е. Н., д-р техн. наук, проф.,

АО «НИИАС», Москва, Россия,

Смолянинов А. В., д-р техн. наук, проф.,

ФГБОУ ВО УрГУПС, Екатеринбург, Россия,

Сюзвей Ли, д-р наук, проф., Пекинский

объединенный университет, Пекин,

Китайская Народная Республика,

Ушкалов В. Ф., д-р техн. наук, член-

корреспондент НАН, Институт технической

механики НАН, Днепр, Украина,

Фокс-Рабинович Г. С., д-р техн. наук,

Университет Макмастера, Гамильтон, Канада,

Шенфельд К. П., д-р техн. наук, АО «ВНИИЖТ»,

Москва, Россия,

Эсвельд К., проф. железнодорожной

инженерии, Технологический университет

Делфта, Зальтбommel, Нидерланды

Редакционная коллегия

Косарев А. Б., главный редактор,

д-р техн. наук, проф.,

Римская О. Н., зам. главного редактора,

канд. экон. наук, доцент,

Глюзберг Б. Э., д-р техн. наук, проф.,

Гогричиани Г. В., д-р техн. наук,

Ерофеев М. Н., д-р техн. наук, проф.,

Захаров С. М., д-р техн. наук, проф.,

Коган А. Я., д-р техн. наук, проф.,

Кучумов В. А., д-р техн. наук, проф.,

Мирошниченко О. Ф., д-р экон. наук, проф.,

Мугинштейн Л. А., д-р техн. наук, проф.,

Савин А. В., д-р техн. наук, доцент,

Сирина Н. Ф., д-р техн. наук, доцент,

Фёдоров С. В., д-р техн. наук, проф.,

Шур Е. А., д-р техн. наук, проф.,

Анохов И. В., выпускающий редактор,

канд. экон. наук, доцент,

Сиротенко И. В., научный редактор,

канд. техн. наук

www.journal-vniizht.ru

© АО «ВНИИЖТ», 2021

Вестник

Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта

Вестник ВНИИЖТ | Том 80, 3/2021

DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-3>

СОДЕРЖАНИЕ

Contents 126

Технические средства железнодорожного транспорта

Определение режимов нагружения для ресурсных испытаний
железобетонных шпал на основе экспериментального
измерения их напряженного состояния в условиях
Экспериментального кольца, Щербинка

О. А. Сулов, Н. В. Рессина, А. В. Портнов, А. А. Новиков,
В. А. Марийчук 127–135

Анализ стабильности подуклонки как фактора,
определяющего боковой износ рельсов

Е. А. Сидорова, Р. М. Куртиков 136–140

К вопросу совершенствования методики подтверждения
максимальной безопасной (конструкционной) скорости
движения для грузовых вагонов

Г. И. Гаджиметов, А. А. Лунин, Г. И. Петров 141–151

Оптимизация конструкции кузова вагона электропоезда
по значению частоты собственных колебаний

Р. В. Гучинский 152–159

Система стабилизации платформы железнодорожного
грузоподъемного крана

Д. А. Потахов 160–167

ВНИИЖТ: вчера, сегодня, завтра

История и современность экономики железнодорожного
транспорта в трудах ученых ВНИИЖТ

Л. А. Мазо, О. Ф. Мирошниченко, Е. Н. Ефимова 168–181

Книжные новинки

Энциклопедия знаний о дефектах рельсов: рецензия
на книгу К.-О. Эделя, Г. Будницкого, Т. Шнитцера

«Дефекты рельсов. Напряжения и повреждения». Том 1

Е. А. Шур 182–185

Мнение редакции может не совпадать
с мнением авторов статей.

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

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

Тел. (495) 602-80-37, 602-81-10.

Подписано к печати 23.06.2021.

Цена свободная.

Формат бумаги 60×90 1/8.

Офсетная печать. Усл. печ. л. 8.

Тираж 300 экз. Заказ 314.

Отпечатано издательско-

полиграфическим предприятием

ООО «ИПП «КУНА»,

125167, Москва, Ленинградский пр.,

д. 47, стр. 4. Тел. (495) 795-02-97.

VNIIZHT Scientific Journal

Vol. 80, 3/2021

DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-3>

Contents

Technical means of railway transport

- Determination of loading modes for endurance tests of reinforced concrete sleepers on the basis of experimental measurement of their stress state under the conditions of the Test Loop at Shcherbinka
by O. A. Suslov, N. V. Ressina, A. V. Portnov, A. A. Novikov, V. A. Mariychuk 127–135
- Analysis of the canting stability as a factor determining the lateral wear of rails
by E. A. Sidorova, R. M. Kurtikov 136–140
- On the issue of improving the methodology for confirming maximum safe (design) speed of freight railcars
by G. I. Gadzhimetov, A. A. Lunin, G. I. Petrov 141–151
- Optimization of an EMU train carbody by the value of the natural bending frequency
by R. V. Guchinsky 152–159
- Railway crane platform stabilization system
by D. A. Potakhov 160–167

VNIIZHT: yesterday, today, tomorrow

- History and modernity of the economy of railway transport in the works of VNIIZHT scientists
by L. A. Mazo, O. F. Miroshnichenko, E. N. Efimova 168–181

New publications

- Best practices about rail defects: a review of the book "Defects of rails. Stresses and Damages", Vol. 1
by K.-O. Edel, G. Budnitskiy, T. Schnitzer
by E. A. Shur 182–185

Editorial Board:

Alexander B. Kosarev

Editor-in-Chief,
Dr. Sci. (Eng.), Prof.,
Olga N. Rimskaya
Deputy Editor-in-Chief,
Cand. Sci. (Econ.), Associate Prof.,
Boris E. Glyuzberg
Dr. Sci. (Eng.), Prof.,
Georgiy V. Gogrichiani
Dr. Sci. (Eng.),
Mikhail N. Erofeev
Dr. Sci. (Eng.), Prof.,

Sergey M. Zakharov

Dr. Sci. (Eng.), Prof.,
Alexander Ya. Kogan
Dr. Sci. (Eng.), Prof.,
Vladislav A. Kuchumov
Dr. Sci. (Eng.), Prof.,
Olga F. Miroshnichenko
Dr. Sci. (Econ.), Prof.,
Lev A. Muginshtein
Dr. Sci. (Eng.), Prof.,
Alexander V. Savin
Dr. Sci. (Eng.), Associate Prof.,

Nina F. Sirina

Dr. Sci. (Eng.), Associate Prof.,
Sergey V. Fedorov
Dr. Sci. (Eng.), Prof.,
Evgeniy A. Shur
Dr. Sci. (Eng.), Prof.,
Igor' V. Anokhov
Executive editor,
Cand. Sci. (Econ.), Associate Prof.,
Igor' V. Sirotenko
Scientific editor,
Cand. Sci. (Eng.)

Passed for printing 23.06.2021.
Format 60×90 1/8.
Circulation 300 copies.
+7 (495) 602 8037, 602 8110
E-mail: journal@vniizht.ru

Editorial office: 10, 3rd Mytischinskaya,
129626 Moscow, Russian Federation
Tel.: +7 (499) 260 4319.
Print: JSC "IPP "KUNA".
E-mail: info@paradiz.ru

VNIIZHT Scientific Journal

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

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

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

Publisher:

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

Advisory Board:

Sergey A. Vinogradov,
Chairman, Cand. Sci. (Eng.), Director General
of JSC "VNIIZHT", Moscow, Russian Federation
Alexander B. Kosarev,
Deputy Chairman, Dr. Sci. (Eng.), Professor,
JSC "VNIIZHT", Moscow, Russian Federation
Irina G. Goryacheva,
Dr. Sci. (Phys. and Math.), Professor, Academician of the RAS,
Head of laboratory for tribology, Institute for
Problems in Mechanics of the RAS, Moscow, Russian
Federation
Boris E. Dynkin,
Dr. Sci. (Eng.), Professor, Honored President of
International association of transport universities of
Asian-Pacific countries (IATU APC), Rostov state university
of railway engineers (RGUPS), Rostov-on-Don, Russian
Federation
Vladimir I. Kolesnikov,
Dr. Sci. (Eng.), Professor, Academician of the Russian
Academy of Sciences, Rostov state university of railway
engineers (RGUPS), Rostov-on-Don, Russian Federation
Sebastian Kummer,
Univ. Prof. Dr. (Econ.) of Vienna University of Economics
and Business, Head of Institute of Transport and Logistics,
Vienna, Austria
Boris M. Lapidus,
Dr. Sci. (Econ.), Professor, Chairman of Joint Scientific
Council RZD, Chairman of International Board on Railway
Research (IRRB) of UIC, Guest professor of Stockholm
School of Economics, Moscow, Russian Federation
Boris A. Levin,
Dr. Sci. (Eng.), Professor, President of the Russian University
of Transport (RUT (MIIT)), Moscow, Russian Federation
Nikolay A. Makhutov,
Dr. Sci. (Eng.), Professor, Corresponding member of the
RAS, Head of the scientific school "Safety and security
of critically and strategically important objects of
infrastructure" of Research Institute for Machine Science
named after A. A. Blagonravov of the RAS (IMASH RAS),
Moscow, Russian Federation
Dmitriy A. Macheret,
Dr. Sci. (Econ.), Professor, JSC "VNIIZHT", Joint Research
Council of JSC RZD, Moscow, Russian Federation
Oleg N. Nazarov,
Cand. Sci. (Eng.), Deputy Head of technical policy department,
JSC RZD, Moscow, Russian Federation
Efim N. Rozenberg,
Dr. Sci. (Eng.), Professor, First deputy Director General
of JSC Design & Research Institute for Information
Technology, Signaling and Telecommunication on Railway
Transport (JSC NIAC), Moscow, Russian Federation
Alexander V. Smolyaninov,
Dr. Sci. (Eng.), Professor of department "Wagons" of Ural
State University of Railway Transport, Yekaterinburg,
Russian Federation
Li Xuewei,
Dr. Sci., Professor, Vice-President of Engineering Union
of China Transport system, Party Member of CPC group
of Ministry of Education (Beijing Union University, China)
Victor F. Ushkalov,
Dr. Sci. (Eng.), Professor, corresponding member of the
National Academy of Science of Ukraine, division head of
Statistics for kinetics of material system of the Institute of
Technical Mechanics, Dnepr, Ukraine
Herman S. Fox-Rabinovich,
Dr. Sci. (Eng.), Chief researcher of McMaster University
Engineering, Hamilton, Ontario, Canada
Konstantin P. Shenfeld,
Dr. Sci. (Eng.), Executive director of JSC "VNIIZHT",
Moscow, Russian Federation
Coenraad Esveld,
Prof., Dr. of railway engineering of Delft Technical
University, General Director of "Esveld Consulting
Services", Zaltbommel, Netherlands

© JSC Railway Research Institute, 2021

Определение режимов нагружения для ресурсных испытаний железобетонных шпал на основе экспериментального измерения их напряженного состояния в условиях Экспериментального кольца, Щербинка

О. А. СУСЛОВ, Н. В. РЕССИНА, А. В. ПОРТНОВ, А. А. НОВИКОВ, В. А. МАРИЙЧУК

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

Аннотация. Рассмотрен вопрос изменения напряженно-деформированного состояния железобетонных шпал в зависимости от величины нагрузок на ось и требований к режимам их стендовых ресурсных испытаний. Данный вопрос весьма актуален, поскольку в настоящее время на отдельных участках сети (направления Восточного полигона) из-за высокой грузонапряженности увеличиваются воздействия на путь и возрастают нагрузки на ось. Такое изменение влечет за собой необходимость в пересмотре требований к методикам определения и подтверждения ресурса всех элементов пути, в том числе режимов нагружения железобетонных шпал при их стендовых испытаниях. Для определения влияния нагрузки на ось были проведены измерения фактического напряженно-деформированного состояния железобетонных шпал, уложенных на прямом участке Экспериментального кольца АО «ВНИИЖТ». Нагружение было реализовано обращающимся составом из 72 вагонов и специально сформированным опытным сцепом из локомотива и трех вагонов с нагрузкой на ось 23,5; 25 и 27 тс соответственно. Проведенные измерения позволили получить зависимости изменения напряжений и деформаций от изменения нагрузки на ось, а также выявить реологические особенности взаимодействия железобетонных шпал и балластного слоя. Полученные результаты измерений были использованы в качестве базовых напряжений и деформаций для расчета режимов нагружения в стендовых ресурсных испытаниях. Цель расчета — достижение максимальной идентичности напряженного состояния при нагружении шпал на стенде их напряженному состоянию при реальной эксплуатации. Дополнительно были проведены опытные стендовые нагружения железобетонной шпалы, в ходе которых реализованы полученные расчетом режимы и измерено ее напряженно-деформированное состояние. Результаты сравнения напряженного состояния железобетонной шпалы, полученные при натурных измерениях в пути и в процессе нагружения на стенде, показали их идентичность, что подтвердило адекватность расчетных режимов нагружения. Итоговым результатом работы стали режимы нагружения для стендовых испытаний железобетонных шпал, учитывающие влияние величины нагрузки на ось.

Ключевые слова: железнодорожный путь; железобетонные шпалы; методика измерения; тензометрия; напряженно-деформированное состояние; циклические испытания

Введение. В современных экономических условиях на особо нагруженных направлениях сети происходит интенсификация грузооборота в виде увеличения грузонапряженности (в период 2010–2019 гг. прирост грузонапряженности на отдельных направлениях составил более 30 %), а также увеличение средней нагрузки на ось (доля парка вагонов с нагрузкой на ось 25 тс составляет более 20 % [1, 2], а в отдаленной перспективе на выделенных участках возможен ввод в обращение вагонов с нагрузкой на ось 27 тс), что в результате вызывает увеличение уровня интенсивности истощения ресурса элементов верхнего строения пути [3, 4]. Такой режим эксплуатации прежде всего сокращает межремонтный период, а с учетом бюджетных и технологических ограничений в конечном итоге приводит к невозможности соблюдения нормативных ремонтных схем, и ряд участков пути эксплуатируется с выработанным нормативным ресурсом (участки с просроченными ремонтами) [5]. Для таких участков пути вопрос определения возможности их дальнейшей безопасной эксплуатации напрямую связан с вопросом определения остаточного ресурса как пути в целом, так и отдельных его элементов, и прежде всего элементов верхнего строения пути как наиболее изнашиваемой части путевой инфраструктуры [6].

Типовая конструкция верхнего пути — это, как правило, бесстыковой путь, рельсы типа Р65, упругие промежуточные скрепления, железобетонные шпалы и щебеночный балласт. Современные технологии мониторинга и диагностики состояния верхнего строения пути (ультразвуковая и магнитная дефектоскопия, видеоконтроль, путеизмерение) позволяют очень качественно отслеживать и предупреждать отказы, связанные с состоянием рельсов, промежуточных скреплений и балластного слоя [7]. В свою очередь, диагностирование состояния железобетонных шпал с учетом специфики их эксплуатации (большая

часть шпалы скрыта от контроля в балластном слое, а также рельсами и промежуточными скреплениями) затруднено, негодная шпала нередко выявляется уже после наступления ее отказа (явный излом, видимые трещины больших размеров, выкрашивание бетона). При массовом отказе шпал по причине истощения их ресурса возможно наступление состояния полного отказа пути (шпалы, наряду с промежуточными скреплениями, обеспечивают стабильность ширины колеи), а одиночная замена железобетонных шпал — одна из наиболее трудоемких и маломеханизированных операций текущего содержания пути. Кроме того, в процессе эксплуатации обновление шпал происходит крайне редко в ходе проведения промежуточных ремонтов и текущего содержания, что в конечном итоге предъявляет дополнительное требование: железобетонная шпала для участков с высокой грузонапряженностью и повышенными нагрузками на ось должна проектироваться со значительным эксплуатационным ресурсом, величина которого подтверждается в процессе постановки изделия на производство (стендовые и натурные эксплуатационные испытания) [8].

Наиболее эффективным методом подтверждения ресурса изделия с точки зрения затрат и времени, необходимых для получения результата, является метод стендовых испытаний, главное требование к которым — максимальное приближение режимов нагружения к реальным условиям эксплуатации. Для разработки таких режимов в реальных условиях эксплуатации исследуется напряженно-деформированное состояние объекта испытаний и на основе обработки результатов формируются режимы нагружения изделия на лабораторном стенде.

В соответствии с требованиями нормативных документов [9] в лабораторных условиях шпалы испытывают в подрельсовом и среднем сечениях. В подрельсовом сечении шпалу испытывают при действии изгибающего момента положительного направления (растянута нижняя зона поперечного сечения), рис. 1, а. В среднем сечении шпалу испытывают при действии изгибающего момента отрицательного направления (растянута верхняя зона поперечного сечения), рис. 1, б.

Шпалы испытывают как простые статически определимые балки на двух опорах с нагрузкой P посередине пролета, соответствующей фактическим эксплуатационным моментам. Нагрузка P при заданных схемах испытаний определяется следующим выражением:

$$P = 4 \frac{M_{\text{изг}}}{l} k_3,$$

где l — расстояние между опорами, мм; $M_{\text{изг}}$ — значение эксплуатационных изгибающих моментов в испытываемом сечении шпалы, кН·мм; k_3 — коэффициент запаса, учитывающий дополнительные воздействия на шпалы от колес подвижного состава с де-

фектами и боковые силы, передающиеся от колеса на рельс ($k_3 = 1,1–1,2$).

Фактические значения эксплуатационных изгибающих моментов $M_{\text{изг}}$ определяются на основе данных о фактическом напряженном состоянии шпалы с учетом ее геометрических характеристик по формуле

$$M_{\text{изг}} = \sigma W \left(\frac{y_c}{y_t} \right),$$

где σ — напряжение, измеренное в точке сечения шпалы, МПа; W — момент сопротивления сечения шпалы в точке измерения напряжений, мм³; y_c — расстояние от центра тяжести шпалы до крайних волокон сечения в точке измерения, мм; y_t — расстояние от центра тяжести шпалы до продольной оси тензорезистора, установленного в точке измерения, мм.

Таким образом, для определения испытательной нагрузки P , которую необходимо реализовать на лабораторном стенде, необходимо прежде всего выполнить натурные замеры величин напряжений в испытываемых сечениях железобетонной шпалы, что было реализовано на Экспериментальном кольце АО «ВНИИЖТ» в Щербинке.

Натурные замеры проводились в два этапа:

- замеры при проезде состава из локомотива и 72 вагонов;
- замеры при проезде сцепа из локомотива и одиночных вагонов с нагрузкой на ось 23,5; 25; 27 тс (три вагона).

Для выполнения замеров тензорезисторами было оборудовано пять шпал (шпалы № 12, 17, 24, 29, 36) в месте укладки опытных шпал (3 путь, 6 км, ПК 1). Схема наклейки тензорезисторов представлена на рис. 2.

Тензорезисторы с помощью соединительных проводов подключались к аналого-цифровому преобразователю (АЦП), сигналы от которого фиксировались для дальнейшей обработки. Для перехода от показаний преобразователя к фактическим значениям напряжений была выполнена калибровка измерительных схем. Калибровка выполнялась в лабораторных условиях на эталонных образцах — бетонных кубиках.

При дальнейшей обработке сигналов выполнялось преобразование значений АЦП в фактические напряжения по следующей формуле [10]:

$$\sigma = U_m k_\sigma,$$

где U_m — значение АЦП, мВ; k_σ — калибровочный коэффициент, МПа/мВ.

При обработке результатов испытаний все полученные записи процессов нагружения в поверхностном слое бетона шпал были обработаны по следующему алгоритму:

- анализ общей формы сигналов;
- выбор из сигналов значимых величин;

• формирование из выбранных величин рядов данных;

- статистическая обработка рядов данных;
- анализ полученных результатов.

На рис. 3 приведена характерная запись процесса изменения напряжений в шпале при проходе опытного сцепа из локомотива и трех вагонов. На рис. 4 представлена аналогичная запись при проходе опытного состава из 72 вагонов с нагрузкой на ось 23,5 тс.

Как видно из рис. 3 и 4, процесс изменения напряженного состояния бетона шпалы можно разделить на две составляющих:

- переменная составляющая от одиночного воздействия динамических сил колеса—рельс ($\tilde{\sigma}_д$);
- постоянная составляющая от многократного воздействия колес подвижных единиц, входящих в состав поезда ($\tilde{\sigma}_п$).

Сумма этих случайных процессов и будет характеризовать итоговое напряжение бетона шпалы ($\tilde{\sigma}$).

$$\tilde{\sigma} = \tilde{\sigma}_д + \tilde{\sigma}_п.$$

Анализ рис. 4 позволяет выделить три основные зоны в процессе изменения напряженного состояния бетона шпалы.

Первая зона — образование постоянной составляющей напряжений. Длительность делений зоны — 100–150 пропущенных осей с полной нагрузкой на ось.

Вторая зона — зона действия максимальной величины постоянной составляющей (от момента пропуска 100–150 осей в груженом состоянии до конца поезда).

Третья зона — релаксация постоянной составляющей (длительность процесса — 100–120 с).

Полное описание формирования напряжения в бетоне $\tilde{\sigma}$ может быть получено на основе статистического анализа случайных значений параметров $\tilde{\sigma}_д$ и $\tilde{\sigma}_п$ по следующей формуле [11]:

$$\tilde{\sigma} = \bar{\sigma} + \lambda \hat{\sigma},$$

где $\bar{\sigma}$ — математическое ожидание процесса $\tilde{\sigma}$; $\hat{\sigma}$ — среднеквадратическое отклонение (СКО) процесса $\tilde{\sigma}$.

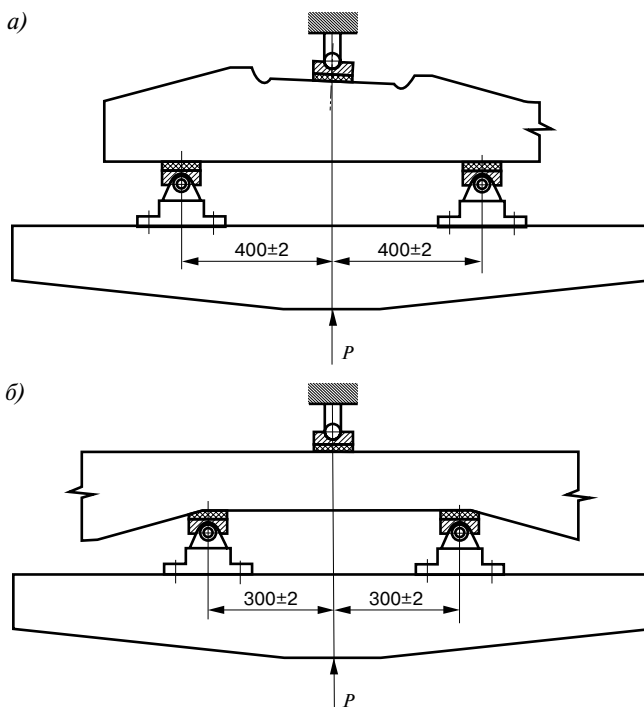


Рис. 1. Схема стендовых испытаний образцов шпал: а — в подрельсовом сечении; б — в среднем сечении

Fig. 1. Scheme of bench tests of sleeper samples: а — in the under-rail section; б — in the middle section

$$\bar{\sigma} = \bar{\sigma}_д + \bar{\sigma}_п;$$

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{(\hat{\sigma}_д)^2 + (\hat{\sigma}_п)^2}{2}};$$

λ — нормирующий множитель, соответствующий заданному уровню надежности ($\lambda = 1,96$); $\bar{\sigma}_д, \bar{\sigma}_п$ — математическое ожидание процессов $\tilde{\sigma}_д$ и $\tilde{\sigma}_п$; $\hat{\sigma}_д, \hat{\sigma}_п$ — СКО процессов $\tilde{\sigma}_д$ и $\tilde{\sigma}_п$.

Значения $\bar{\sigma}_д, \bar{\sigma}_п, \hat{\sigma}_д, \hat{\sigma}_п$ определялись на основе анализа записей изменения напряжения бетона при проходе через опытные шпалы одиночной оси и состава.

Итоговые величины статистических параметров, характеризующих процессы $\tilde{\sigma}_д, \tilde{\sigma}_п, \tilde{\sigma}$, представлены в табл. 1–3.

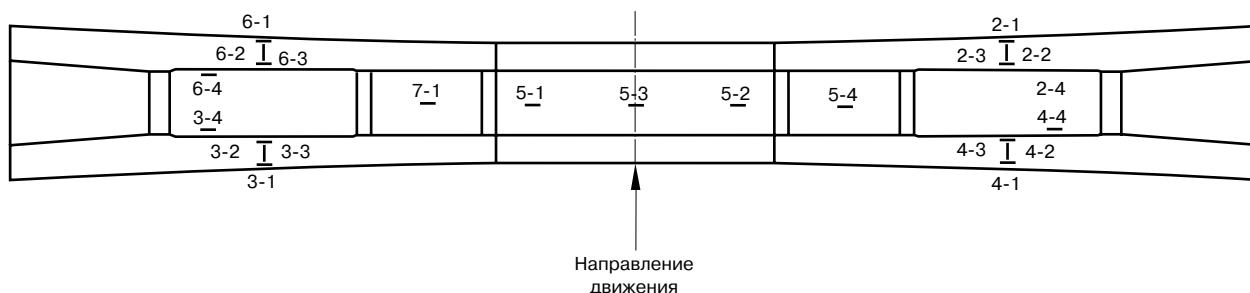


Рис. 2. Схема наклейки тензорезисторов на опытные шпалы
Fig. 2. Scheme of fixing strain gauges on experimental sleepers

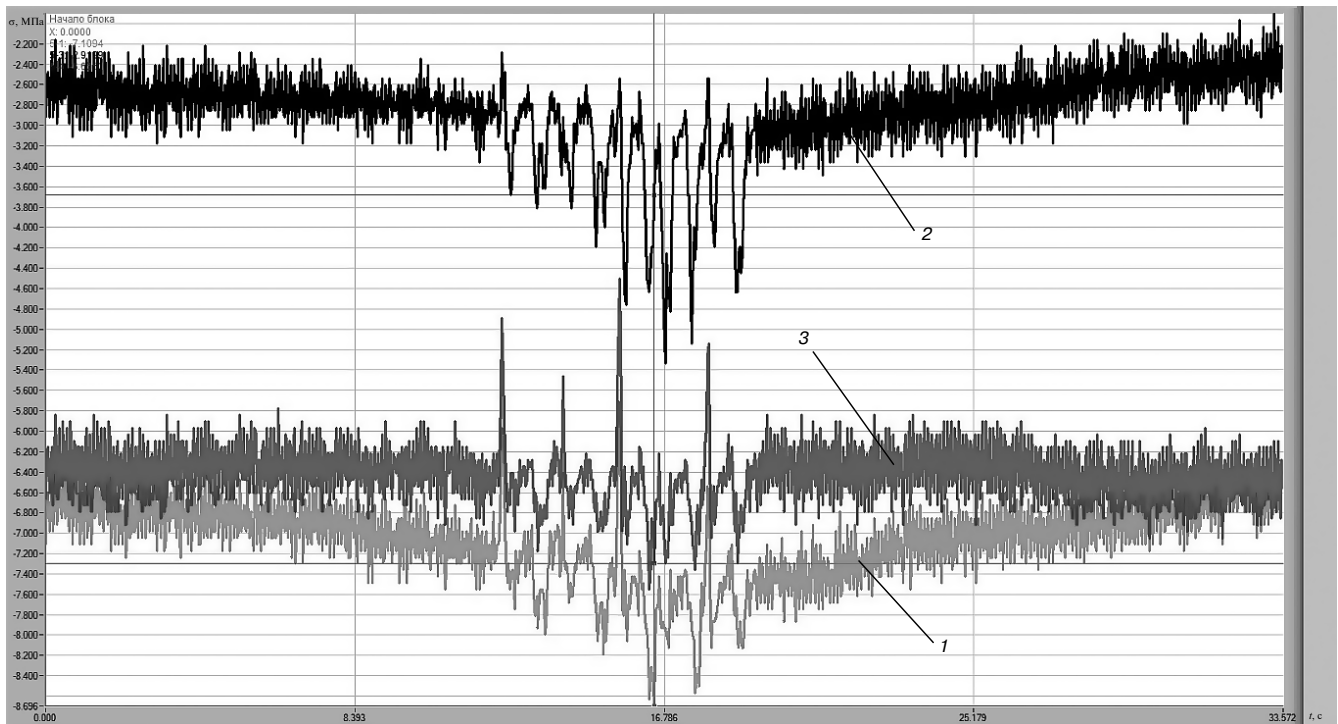


Рис. 3. Процесс изменения напряжений в шпале при проходе через сигналы опытного сцепа из локомотива и трех вагонов:

1 — сечение 5-1; 2 — сечение 5-3; 3 — сечение 5-4 (схема на рис. 2)

Fig. 3. Process of changing the stresses in the sleeper when passing through the signals of experimental coupling from a locomotive and three cars:

1 — section 5-1; 2 — section 5-3; 3 — section 5-4 (scheme in fig. 2)

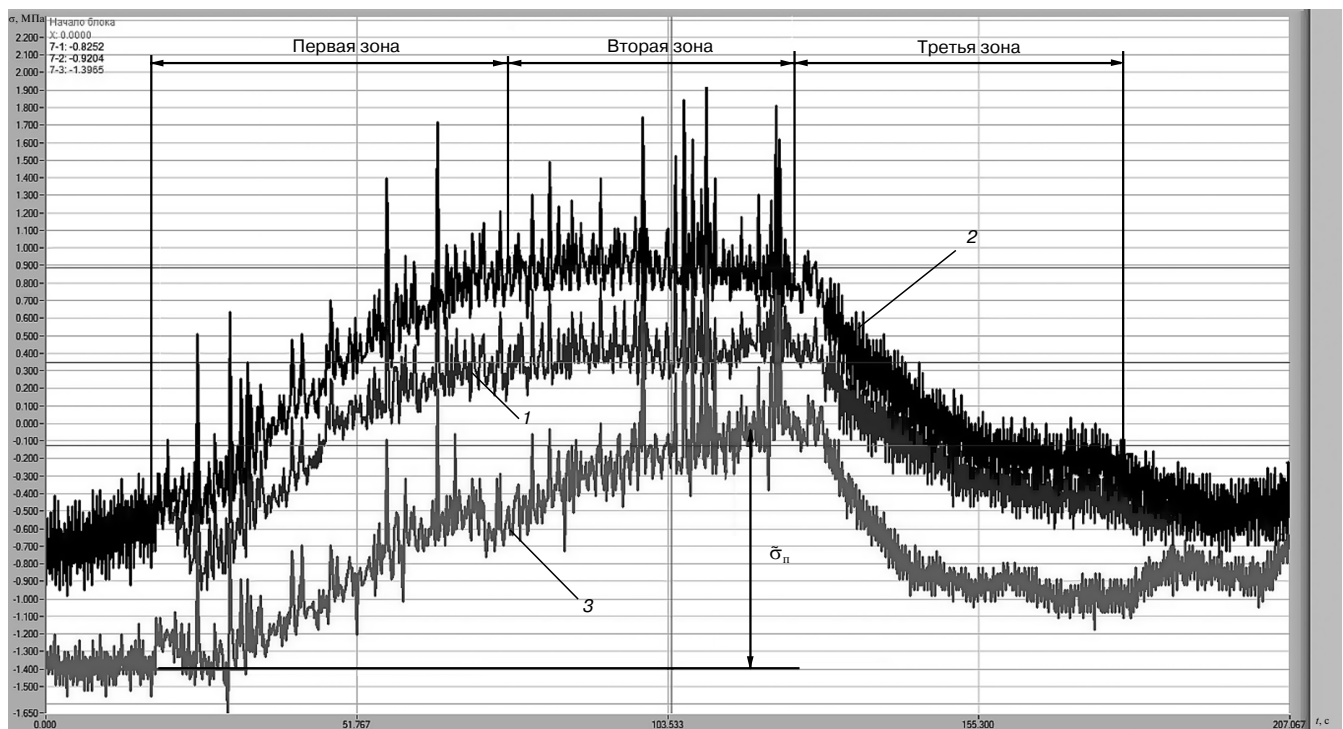


Рис. 4. Процесс изменения напряжений в шпале при проходе опытного состава из 72 вагонов с нагрузкой на ось 23,5 тс:

1 — сечение 5-1; 2 — сечение 5-3; 3 — сечение 5-4 (схема на рис. 2)

Fig. 4. Process of changing the stresses in the sleeper during the passage of an experimental train of 72 cars with an axle load of 23.5 tf:

1 — section 5-1; 2 — section 5-3; 3 — section 5-4 (scheme in fig. 2)

Таблица 1

Статистические параметры изменения напряженного состояния бетона
в измерительных сечениях на поверхности шпал при проходе одиночной оси (процесс $\tilde{\sigma}_a$)

Table 1

Statistical parameters of changes in the stress state of concrete in measuring sections
on the surface of sleepers during the passage of a single axle (process $\tilde{\sigma}_a$)

Нагрузка на ось, тс	Номер сечения																					
	1			2			3			4			5			6			7			
	$\bar{\sigma}$, МПа	$\hat{\sigma}$, МПа	$\bar{\sigma} + 1,96 \cdot \hat{\sigma}$, МПа	$\bar{\sigma}$, МПа	$\hat{\sigma}$, МПа	$\bar{\sigma} + 1,96 \cdot \hat{\sigma}$, МПа	$\bar{\sigma}$, МПа	$\hat{\sigma}$, МПа	$\bar{\sigma} + 1,96 \cdot \hat{\sigma}$, МПа	$\bar{\sigma}$, МПа	$\hat{\sigma}$, МПа	$\bar{\sigma} - 1,96 \cdot \hat{\sigma}$, МПа	$\bar{\sigma}$, МПа	$\hat{\sigma}$, МПа	$\bar{\sigma} - 1,96 \cdot \hat{\sigma}$, МПа	$\bar{\sigma}$, МПа	$\hat{\sigma}$, МПа	$\bar{\sigma} - 1,96 \cdot \hat{\sigma}$, МПа	$\bar{\sigma}$, МПа	$\hat{\sigma}$, МПа	$\bar{\sigma} + 1,96 \cdot \hat{\sigma}$, МПа	
Скорость движения 40 км/ч																						
27	1,5	1,1	3,7	1,5	1,2	3,9	1,2	1,2	3,5	-2,5	0,5	-3,8	-2,9	0,8	-5,0	-0,7	0,2	-1,1	2,5	0,5	3,8	
25	1,4	1,0	3,4	1,4	1,1	3,7	1,1	1,1	3,2	-2,3	0,5	-3,6	-2,8	0,6	-4,4	-0,7	0,1	-1,0	2,3	0,5	3,6	
23,5	1,3	1,0	3,3	1,3	1,0	3,3	1,0	1,0	3,1	-2,0	0,4	-3,0	-2,3	0,6	-3,8	-0,6	0,1	-0,9	1,9	0,5	3,1	
Скорость движения 60 км/ч																						
27	2,0	1,2	4,4	2,0	1,2	4,3	1,4	1,3	4,0	-2,2	0,6	-3,7	-2,7	0,9	-4,9	-0,6	0,2	-1,0	2,5	0,6	4,0	
25	1,9	1,1	4,0	1,7	1,1	3,9	1,3	1,1	3,5	-2,0	0,4	-2,9	-2,3	0,5	-3,4	-0,5	0,1	-0,8	2,0	0,4	3,0	
23,5	1,7	1,0	3,7	1,7	1,0	3,7	1,2	1,1	3,4	-1,7	0,3	-2,4	-2,0	0,5	-3,3	-0,5	0,1	-0,8	1,7	0,4	2,6	
Скорость движения 70 км/ч																						
27	2,3	1,4	4,9	2,1	1,4	4,8	1,6	1,4	4,5	-2,1	0,6	-3,7	-2,6	0,8	-4,7	-0,6	0,2	-1,0	2,3	0,5	3,6	
25	2,2	1,3	4,8	2,0	1,3	4,6	1,6	1,4	4,3	-1,9	0,4	-2,9	-2,2	0,5	-3,5	-0,5	0,1	-0,8	2,0	0,5	3,1	
23,5	1,9	1,2	4,3	1,8	1,2	4,1	1,4	1,3	3,9	-1,6	0,4	-2,5	-1,9	0,5	-3,2	-0,4	0,1	-0,8	1,7	0,4	2,7	

Таблица 2

Статистические параметры дополнительных постоянных напряжений в измерительных сечениях
на поверхности шпал при многократном воздействии осей подвижного состава (процесс $\tilde{\sigma}_n$)

Table 2

Statistical parameters of additional constant stresses in measuring sections
on the surface of sleepers under repeated action of the axles of the rolling stock (process $\tilde{\sigma}_n$)

Нагрузка на ось, тс	Номер сечения																				
	1			2			3			4			5			6			7		
	$\bar{\sigma}$, МПа	$\hat{\sigma}$, МПа	$\bar{\sigma} + 1,96 \cdot \hat{\sigma}$, МПа	$\bar{\sigma}$, МПа	$\hat{\sigma}$, МПа	$\bar{\sigma} + 1,96 \cdot \hat{\sigma}$, МПа	$\bar{\sigma}$, МПа	$\hat{\sigma}$, МПа	$\bar{\sigma} + 1,96 \cdot \hat{\sigma}$, МПа	$\bar{\sigma}$, МПа	$\hat{\sigma}$, МПа	$\bar{\sigma} + 1,96 \cdot \hat{\sigma}$, МПа	$\bar{\sigma}$, МПа	$\hat{\sigma}$, МПа	$\bar{\sigma} - 1,96 \cdot \hat{\sigma}$, МПа	$\bar{\sigma}$, МПа	$\hat{\sigma}$, МПа	$\bar{\sigma} + 1,96 \cdot \hat{\sigma}$, МПа	$\bar{\sigma}$, МПа	$\hat{\sigma}$, МПа	$\bar{\sigma} + 1,96 \cdot \hat{\sigma}$, МПа
27	1,6	1,0	3,6	1,4	1,0	3,5	1,2	1,2	3,7	1,7	1,0	3,7	-0,7	0,6	-1,8	0,9	0,6	2,1	0,6	0,4	1,4
25	1,4	1,0	3,4	1,3	1,0	3,3	1,2	1,1	3,3	1,6	1,0	3,6	-0,6	0,5	-1,7	0,8	0,6	2,0	0,5	0,4	1,3
23,5	1,4	1,0	3,3	1,2	1,0	3,2	1,1	1,1	3,3	1,5	1,0	3,5	-0,6	0,5	-1,6	0,8	0,6	2,0	0,5	0,4	1,3

На рис. 5 представлена схема расположения сечений, соответствующих нумерации, приведенной в табл. 1–3.

Таким образом, по результатам, приведенным в табл. 1–3, можно сделать вывод, что наиболее неблагоприятными сечениями шпалы с точки зрения рас-

чета бетона на растяжение является сечение 1 (растянутая верхняя зона середины шпалы) и сечение 7 (растянутая нижняя зона подрельсового сечения

Таблица 3

Статистические параметры изменения напряженного состояния бетона в измерительных сечениях на поверхности шпал при многократном воздействии осей подвижного состава (процесс σ)

Table 3

Statistical parameters of changes in the stress state of concrete in measuring sections on the surface of sleepers under repeated action of the axles of the rolling stock (process σ)

Нагрузка на ось, тс	Номер сечения																					
	1			2			3			4			5			6			7			
	$\bar{\sigma}$, МПа	$\hat{\sigma}$, МПа	$\bar{\sigma} + 1,96 \cdot \hat{\sigma}$, МПа	$\bar{\sigma}$, МПа	$\hat{\sigma}$, МПа	$\bar{\sigma} + 1,96 \cdot \hat{\sigma}$, МПа	$\bar{\sigma}$, МПа	$\hat{\sigma}$, МПа	$\bar{\sigma} + 1,96 \cdot \hat{\sigma}$, МПа	$\bar{\sigma}$, МПа	$\hat{\sigma}$, МПа	$\bar{\sigma} - 1,96 \cdot \hat{\sigma}$, МПа	$\bar{\sigma}$, МПа	$\hat{\sigma}$, МПа	$\bar{\sigma} - 1,96 \cdot \hat{\sigma}$, МПа	$\bar{\sigma}$, МПа	$\hat{\sigma}$, МПа	$\bar{\sigma} + 1,96 \cdot \hat{\sigma}$, МПа	$\bar{\sigma}$, МПа	$\hat{\sigma}$, МПа	$\bar{\sigma} + 1,96 \cdot \hat{\sigma}$, МПа	
Скорость движения 40 км/ч																						
27	3,1	1,1	5,2	3,1	1,1	5,3	2,8	1,1	5,0	−0,9	0,8	−2,4	−1,3	0,9	−3,1	0,9	0,7	2,3	4,2	0,8	5,7	
25	2,9	1,0	4,8	2,9	1,1	5,0	2,5	1,0	4,6	−0,9	0,8	−2,4	−1,3	0,8	−3,0	0,8	0,7	2,2	3,7	0,8	5,3	
23,5	2,7	1,0	4,7	2,7	1,0	4,7	2,4	1,0	4,4	−0,6	0,7	−2,1	−0,9	0,8	−2,5	0,8	0,7	2,2	3,3	0,8	4,8	
Скорость движения 60 км/ч																						
27	3,6	1,1	5,8	3,6	1,1	5,8	3,1	1,2	5,4	−0,6	0,8	−2,2	−1,1	0,9	−2,9	1,0	0,7	2,4	4,1	0,8	5,7	
25	3,3	1,0	5,3	3,2	1,0	5,2	2,7	1,1	4,8	−0,5	0,7	−2,0	−0,8	0,8	−2,3	0,9	0,7	2,3	3,4	0,8	4,9	
23,5	3,1	1,0	5,1	3,1	1,0	5,0	2,6	1,0	4,7	−0,3	0,7	−1,7	−0,6	0,8	−2,1	0,9	0,7	2,3	3,1	0,7	4,6	
Скорость движения 70 км/ч																						
27	3,9	1,2	6,3	3,7	1,2	6,1	3,3	1,2	5,7	−0,5	0,8	−2,1	−0,9	0,9	−2,7	1,1	0,7	2,5	3,9	0,8	5,5	
25	3,6	1,2	5,9	3,4	1,2	5,7	3,0	1,2	5,4	−0,4	0,8	−1,9	−0,7	0,8	−2,3	0,9	0,7	2,3	3,4	0,8	4,9	
23,5	3,3	1,1	5,5	3,2	1,1	5,3	2,8	1,1	5,1	−0,2	0,7	−1,6	−0,5	0,8	−2,0	1,0	0,7	2,3	3,1	0,7	4,5	

шпалы). Максимально вероятные значения растягивающих напряжений в этих опытных шпалах составляют 5,9 и 5,3 МПа соответственно при нагрузке на ось 25 тс.

С учетом данных о напряженном состоянии исследованных шпал, приведенных в табл. 1–3, были определены максимальные, минимальные и средние значения $M_{изг}$ в следующих сечениях, соответствующих точкам измерения напряжений:

- сечение 1 (растянута верхняя зона середины шпалы), $W = 9,1 \cdot 10^6 \text{ мм}^3$, $y_c = 83,8 \text{ мм}$, $y_t = 83,8 \text{ мм}$;
- сечение 5 (сжата верхняя зона подрельсовой части шпалы), $W = 12,88 \cdot 10^6 \text{ мм}^3$, $y_c = 104 \text{ мм}$, $y_t = 90,4 \text{ мм}$;
- сечение 7 (растянута нижняя зона подрельсовой части шпалы), $W = 15,07 \cdot 10^6 \text{ мм}^3$, $y_c = 88,9 \text{ мм}$, $y_t = 77,3 \text{ мм}$.

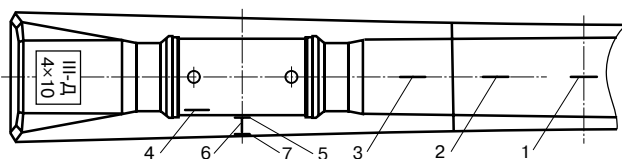


Рис. 5. Расположение расчетных сечений на шпале:

1–7 — номера сечений

Fig. 5. Location of the design sections on the sleeper:

1–7 — section numbers

Нагрузка P при схемах испытаний (рис. 1, а и б) определяется следующим выражением [12]:

$$P = 4 \frac{M_{изг}}{l - 0,1} k_3.$$

Результаты расчетов испытательных нагрузок приведены в табл. 4.

Анализ данных таблицы показывает, что для циклических испытаний шпал с целью определения их ресурса в условиях обращения подвижного состава с нагрузками на ось 25 тс должны быть назначены следующие величины P :

- при испытании подрельсового сечения максимальное значение силы в цикле нагружения 63 кН, минимальное значение силы в цикле нагружения 26 кН, итоговое среднее значение силы в цикле — 44 кН;
- при испытании среднего сечения максимальное значение силы в цикле нагружения 52 кН, минимальное значение силы в цикле нагружения 12 кН, итоговое среднее значение силы в цикле — 32 кН.

Для проверки и уточнения полученных испытательных нагрузок в лабораторных условиях были выполнены замеры напряжений в подрельсовом сечении шпалы при ее нагружении на стенде в соответствии с требованиями [9] и режиме воздействия вагона с нагрузкой на ось 25 тс. Напряжения изме-

Таблица 4

Максимальные, минимальные и средние значения испытательных нагрузок, необходимых для реализации в различных сечениях шпал

Table 4

Maximum, minimum and average values of test loads required for implementation in various sections of sleepers

Нагрузка на ось, тс	Значение P (сечение 1, схема б на рис. 1, среднее сечение поверху)			Значение P (сечение 5, схема а на рис. 1, подрельсовое сечение поверху)			Значение P (сечение 7, схема а на рис. 1, подрельсовое сечение понизу)		
	Среднее, кН	Максимально вероятное ($P=95\%$), кН	Минимально вероятное ($P=95\%$), кН	Среднее, кН	Максимально вероятное ($P=95\%$), кН	Минимально вероятное ($P=95\%$), кН	Среднее, кН	Максимально вероятное ($P=95\%$), кН	Минимально вероятное ($P=95\%$), кН
Скорость движения 40 км/ч									
27	27,2	45,4	9,1	–29,9	–51,2	–8,5	49,6	68,3	30,9
25	24,9	42,2	7,6	–28,3	–44,3	–12,3	44,3	62,9	25,7
23,5	23,7	40,7	6,7	–23,4	–38,8	–8,1	39,5	57,2	21,8
Скорость движения 60 км/ч									
27	31,7	50,9	12,5	–27,7	–49,8	–5,6	48,8	68,2	29,4
25	28,8	46,5	11,1	–23,1	–34,6	–11,5	40,7	58,3	23,0
23,5	27,3	44,3	10,3	–20,3	–33,3	–7,3	37,3	54,3	20,3
Скорость движения 70 км/ч									
27	34,1	54,5	13,7	–26,0	–47,5	–4,5	46,6	65,3	27,8
25	31,5	51,5	11,5	–21,9	–35,6	–8,3	40,5	58,5	22,4
23,5	29,2	48,0	10,4	–19,4	–32,3	–6,5	36,6	54,0	19,2

Таблица 5

Максимальные, минимальные и средние значения напряжений в различных сечениях шпал, полученные при стендовых испытаниях и натурных измерениях в режиме воздействия вагона с нагрузкой на ось 25 тс

Table 5

Maximum, minimum and average values of stresses in various sections of sleepers obtained during bench tests and field measurements in the mode of car impact with an axle load of 25 tf

Номер сечения	Максимальная сила, кН	Минимальная сила, кН	Среднее значение, кН	Коэффициент аппроксимации, МПа/кН	Максимальные напряжения (стенд), МПа	Максимальные напряжения (натурные испытания, $P=95\%$), МПа	Разность максимальных напряжений, МПа	Средние напряжения (стенд), МПа	Средние напряжения (натурные испытания), МПа	Разность средних напряжений, МПа
5	63	26	44	–0,1357	–6,8	–5,8	1,0	–4,7	–4,4	0,3
6	63	26	44	–0,0150	–0,8	–1,0	–0,3	–0,5	–0,7	–0,2
7	63	26	44	0,1097	5,5	5,7	–0,2	3,8	3,7	0,1

рались в сечениях 5–7 (см. рис. 5). На рис. 6 показан общий вид установки для проведения нагружений и фиксаций напряжений. В табл. 5 представлены значения напряжений в этих сечениях, полученные в процессе стендовых испытаний, и напряжений в тех же сечениях, которые были получены в ходе натурных измерений на Экспериментальном кольце АО «ВНИИЖТ».

Значения, приведенные в табл. 5, показывают, что при нагружении на опорах шпалы (при расстоянии между опорами 800 мм) в соответствии с указанным режимом (максимальная сила цикла — 63 кН, минимальная — 26 кН, среднее значение цикла — 44 кН)

будут реализованы следующие усредненные разности между напряжениями, полученными в ходе натурных испытаний, и напряжениями, полученными при нагружении образца на стенде:

- разности максимальных напряжений в 0,2 МПа;
- разности средних напряжений в 0,1 МПа.

Таким образом, предложенный режим циклических испытаний реализует фактическое напряженное состояние шпалы, соответствующее реальным условиям ее работы, и может быть рекомендован для проведения испытаний по подтверждению ресурса железобетонных шпал, в том числе при обращении подвижного состава с нагрузкой на ось 25 тс.

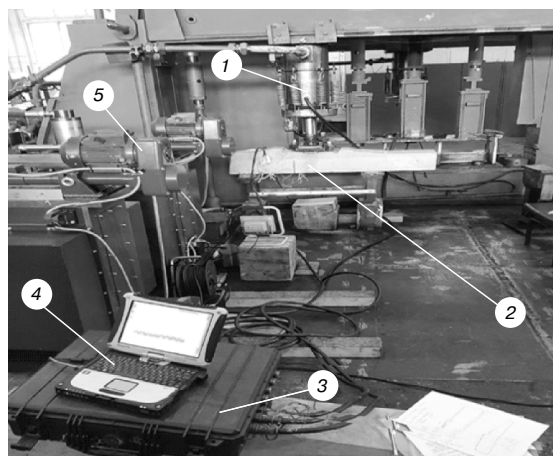


Рис. 6. Опытная установка для нагружения и фиксации напряжений в подрельсовом сечении шпалы:
1 — нагрузочный стенд; 2 — опытная шпала; 3 — измеритель напряжений (АЦП); 4 — ЭВМ; 5 — пульсатор
Fig. 6. Experimental bench for loading and fixing stresses in the under-rail section of the sleeper:
1 — load bench; 2 — experimental sleeper; 3 — voltage meter (analog-to-digital converter); 4 — computer; 5 — pulsator

Заключение. 1. Проведены измерения фактического напряженно-деформированного состояния железобетонных шпал, уложенных на прямом участке Экспериментального кольца АО «ВНИИЖТ».

2. В результате обработки данных тензометрических измерений определены наиболее нагруженные сечения шпалы — сечение с верхними волокнами в середине шпалы и сечение с нижними волокнами в подрельсовой части шпалы, а также выявлены особенности формирования напряжений в этих сечениях в зависимости от количества одновременно пропущенных осей поезда.

3. На основе полученных значений фактических напряжений в шпалах были определены величины нагрузок для циклических испытаний в стендовых условиях, позволяющие реализовать напряженное состояние шпал, эквивалентное воздействию вагонов с нагрузкой на ось 23,5; 25; 27 тс.

4. Проведенные лабораторные испытания подтвердили соответствие напряженного состояния железобетонных шпал, полученного с помощью циклического нагружения на стенде, напряженному состоянию, возникающему в «работающих» под поездной нагрузкой железобетонных шпалах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инфраструктура в условиях интенсификации перевозок / В. А. Гапанович [и др.] // Железнодорожный транспорт. 2016. № 3. С. 16–20.

Для цитирования: Определение режимов нагружения для ресурсных испытаний железобетонных шпал на основе экспериментального измерения их напряженного состояния в условиях Экспериментального кольца, Щербинка / О. А. Суслов [и др.] // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2021. Т. 80. № 3. С. 127–135. DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-3-127-135>.

2. Пехтерев Ф. С. О перспективных полигонах обращения составов поездов из вагонов с повышенной осевой нагрузкой // Железнодорожный транспорт. 2016. № 10. С. 31–33.

3. Воздействие на путь грузовых вагонов с повышенными осевыми нагрузками / В. С. Коссов [и др.] // Путь и путевое хозяйство. 2018. № 4. С. 37–39.

4. Шапетько К. В. Исследования накопления деформаций железнодорожного пути на участке испытаний вагонов с осевой нагрузкой 27 тс // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2017. Т. 76. № 4. С. 238–242. DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2017-76-4-238-242>.

5. Методические подходы к экономической оценке затрат при эксплуатации вагонов с осевой нагрузкой 27 т на участке Качканар—Смычка / Г. А. Грановская [и др.] // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2018. Т. 77. № 6. С. 347–356. DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2018-77-6-347-356>.

6. Михайлов С. В., Гоник М. М. Оценка ресурса железнодорожного пути при тяжеловесном движении путем расчета его динамических характеристик // Актуальные вопросы развития железнодорожного транспорта: материалы Всерос. науч.-практ. конф. к 75-летию аспирантуры Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта / под ред. А. Б. Косарева, Г. В. Гогричани. М.: РАС, 2019. Т. 1. С. 212–216. (Труды АО «ВНИИЖТ»).

7. Бельтюков В. П., Третьяков А. А. Комплексная оценка потребности в промежуточных ремонтах пути // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2016. Т. 13. № 3 (48). С. 321–327.

8. Расчет ресурса железобетонных шпал и балласта железнодорожного пути на основе моделирования / В. П. Сычев [и др.] // Наука и техника транспорта. 2020. № 4. С. 37–44.

9. ГОСТ 33320–2015. Шпалы железобетонные для железных дорог. Общие технические условия: межгос. стандарт: введен в действие в качестве нац. стандарта Российской Федерации приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 10 сентября 2015 г. № 1316-ст: дата введения 2016-03-01. М.: Стандартинформ, 2016. 32 с.

10. Серьезнов А. Н., Шашурин А. К. Методы и средства измерений в прочностном эксперименте. М.: Изд-во МАИ, 1990. 200 с.

11. Баврин И. И. Теория вероятности и математическая статистика. М.: Высшая школа, 2005. 160 с.

12. Железобетонные шпалы для рельсового пути / А. Ф. Золотарский [и др.] / под ред. А. Ф. Золотарского. М.: Транспорт, 1980. 270 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

СУСЛОВ Олег Александрович,

д-р техн. наук, технический эксперт, НИАЦ, АО «ВНИИЖТ»

РЕССИНА Наталья Владимировна,

канд. техн. наук, руководитель группы, НЦ «ЦПРК», АО «ВНИИЖТ»

ПОРТНОВ Алексей Владимирович,

канд. техн. наук, заведующий лабораторией, заместитель директора НЦ «ЦПРК», АО «ВНИИЖТ»

НОВИКОВ Александр Анатольевич,

заместитель заведующего лабораторией, НЦ «ЦПРК», АО «ВНИИЖТ»

МАРИЙЧУК Владислав Александрович,

мастер станкового оборудования, НЦ «ЦПРК», АО «ВНИИЖТ»

Статья поступила в редакцию 20.03.2020 г., принята к публикации 29.04.2021 г.

Determination of loading modes for endurance tests of reinforced concrete sleepers on the basis of experimental measurement of their stress state under the conditions of the Test Loop at Shcherbinka

O. A. SUSLOV, N. V. RESSINA, A. V. PORTNOV, A. A. NOVIKOV, V. A. MARIYCHUK

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

Abstract. The article considers the issue of changing the stress-strain state of reinforced concrete sleepers depending on the value of the axle loads and the requirements for the modes of its bench endurance tests. This issue is very relevant, since at present, in certain sections of the network (directions of the Eastern operational area), due to the high traffic density, the impact on the track increases and the axle load increases. Such a change entails the need to revise the requirements for the methods for determining and confirming the resource of all track elements, including the loading modes of reinforced concrete sleepers during its bench tests. To determine the influence of the axle load, measurements were made of the actual stress-strain state of reinforced concrete sleepers laid on the tangent section of the Test Loop of the JSC "VNIIZHT". The loading was realized by a running train of 72 cars and a specially formed experimental coupler of a locomotive and three cars with an axle load of 23.5, 25 and 27 tf, respectively. Measurements made it possible to obtain the dependence of the change in stresses and deformations on the change in the axle load, as well as to reveal the rheological features of the interaction of reinforced concrete sleepers and the ballast layer. Obtained measurement results were used as basic stresses and strains for calculating loading modes in bench endurance tests. Purpose of the calculation is to achieve the maximum identity of the stress state when the sleepers are loaded on the bench with its stress state during real operation. In addition, experimental bench loading of a reinforced concrete sleeper was carried out, during which the modes obtained by the calculation were implemented and its stress-strain state was measured. Results of comparing the stress state of a reinforced concrete sleeper obtained during full-scale measurements on the way and during loading on the stand showed their identity, which confirmed the adequacy of the calculated loading modes. The final result of the work was the loading modes for bench tests of reinforced concrete sleepers, taking into account the influence of the axle load value.

Keywords: railway track; reinforced concrete sleepers; measurement technique; strain measurement; stress-strain state; cyclic tests

DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-3-127-135>

REFERENCES

1. Gapanovich V. A., Pevzner V. O., Suslov O. A., Tret'yakov V. V. *Infrastructure in the conditions of traffic intensification*. Zheleznodorozhnyy transport, 2016, no. 3, pp. 16–20.
2. Pekhterev F. S. *On promising areas for circulation of trains from cars with increased axle load*. Zheleznodorozhnyy transport, 2016, no. 10, pp. 31–33.
3. Kossov V. S., Lunin A. A., Krasnov O. G., Spirov A. V. *Impact on the track of freight cars with increased axle loads*. Railway Track and Facilities, 2018, no. 4, pp. 37–39.
4. Shapet'ko K. V. *Research of the accumulation of railway track deformations in the section of testing of cars with an axle load of 27 tons*. Vestnik of the Railway Research Institute, 2017, Vol. 76,

no. 4, pp. 238–242. DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2017-76-4-238-242>.

5. Granovskaya G. A., Safonova A. I., Suslov O. A., Okhotnikov N. S. *Methodical approaches to the economic assessment of costs in the operation of cars with axle load of 27 tons at the section Kachkanar—Smychka*. Vestnik of the Railway Research Institute, 2018, Vol. 77, no. 6, pp. 347–356. DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2018-77-6-347-356>.

6. Mikhaylov S. V., Gonik M. M., Kosarev A. B., Gogrichiani G. V. *Estimation of the resource of a railway track in heavy traffic by calculating its dynamic characteristics*. Actual problems of the development of railway transport. Materials of the All-Russian scientific and practical conference for the 75th anniversary of the postgraduate study of the Railway Research Institute. Moscow, RAS Publ., 2019, pp. 212–216.

7. Bel'tyukov V. P., Tret'yakov A. A. *Comprehensive assessment of the need for intermediate track repairs*. Proceedings of Petersburg Transport University, 2016, Vol. 13, no. 3 (48), pp. 321–327.

8. Sychev V. P., Abdurashitov A. Yu., Sycheva A. V., Yurkova Yu. N. *Calculation of the resource of reinforced concrete sleepers and ballast of a railway track based on modeling*. Science and Technology in Transport, 2020, no. 4, pp. 37–44.

9. GOST 33320–2015. *Ferroconcrete cross ties for railways. General specifications*. Interstate standard, put into effect as national standard of the Russian Federation by order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated September 10, 2015 No. 1316-st. Moscow, Standartinform Publ., 2016, 32 p. (in Russ.).

10. Ser'eznov A. N., Shashurin A. K. *Methods and means of measurement in the strength experiment*. Moscow, MAI Publ., 1990, 200 p.

11. Bavrini I. I. *Probability theory and mathematical statistics*. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 2005, 160 p.

12. Zolotarevskiy A. F., Evdokimov B. A., Isaev N. M., Krysanov L. G., Serebrennikov V. V., Fedulov V. F. *Reinforced concrete sleepers for a rail track*. Moscow, Transport Publ., 1980, 270 p.

ABOUT THE AUTHORS

Oleg A. SUSLOV,

Dr. Sci. (Eng.), Technical Expert, NIATs, JSC "VNIIZHT"

Natal'ya V. RESSINA,

Cand. Sci. (Eng.), Head of the group, SC "TsPRK", JSC "VNIIZHT"

Aleksey V. PORTNOV,

Cand. Sci. (Eng.), Head of the Laboratory, Deputy Director of the SC "TsPRK", JSC "VNIIZHT"

Aleksander A. NOVIKOV,

Deputy Head of the Laboratory, SC "TsPRK", JSC "VNIIZHT"

Vladislav A. MARIYCHUK,

Bench equipment specialist, SC "TsPRK", JSC "VNIIZHT"

Received 20.03.2020

Accepted 29.04.2021

■ E-mail: suslov.oleg@vniizht.ru (O. A. Suslov)

For citation: Suslov O. A., Ressina N. V., Portnov A. V., Novikov A. A., Mariychuk V. A. Determination of loading modes for endurance tests of reinforced concrete sleepers on the basis of experimental measurement of their stress state under the conditions of the Test Loop at Shcherbinka // VNIIZHT Scientific Journal. 2021. 80 (3): 127–135 (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-3-127-135>.

Анализ стабильности подуклонки как фактора, определяющего боковой износ рельсов

Е. А. СИДОРОВА¹, Р. М. КУРТИКОВ²

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

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

Аннотация. Снижение интенсивности бокового износа рельсов по-прежнему остается важной задачей отраслевой науки. В рамках решения этой задачи проводятся исследования влияния на износ рельсов геометрии рельсовой колеи, интенсивности силового взаимодействия колес и рельсов, трибологических характеристик контактирующих поверхностей. В статье основное внимание уделено влиянию на износ геометрии рельсовой колеи, а именно подуклонки рельсов. Сформулировано определение стабильности подуклонки рельсов, позволяющее перейти к оценке этого показателя как по времени, так и по длине участка пути. Оценка стабильности подуклонки по времени проводилась на основе экспериментальных данных, полученных в ходе натурных исследований, проведенных в 2019–2020 гг. на Московской железной дороге. В результате оценки этих данных была построена зависимость изменения средних значений и среднеквадратического отклонения подуклонки рельсов на участке от времени. Средние значения и среднеквадратическое отклонение подуклонки на исследуемом участке рассматриваются в данной статье как совокупность параметров, позволяющих дать оценку стабильности подуклонки. Помимо этих параметров, предложено оценивать стабильность подуклонки рельсов по длине участка на основании отвода подуклонки и среднеквадратического отклонения. Оценка стабильности подуклонки рельсов по длине участка проводилась с использованием расчетов, выполненных в программном комплексе «Универсальный механизм». В результате расчетов были получены значения рамных и боковых сил и произведена оценка их максимальных и средних значений на участке. Это позволило ответить на вопрос: как влияет отвод подуклонки рельсов на уровень силового взаимодействия в точке контакта колес и рельсов, а значит, и на интенсивность изнашивания?

Ключевые слова: железнодорожный путь; подуклонка рельсов; боковые силы; рамные силы; стабильность железнодорожного пути

Введение. Боковой износ рельсов на сегодняшний день остается актуальной проблемой, требующей решения на сети железных дорог. Повышение нагрузки на ось и рост грузонапряженности на сети усложняют работу железнодорожного пути и обостряют вопросы, связанные с техническим обслуживанием инфраструктуры. В этих условиях важным становится контроль всех параметров пути, в том числе геометрии, которая, как многократно было отмечено в существующих исследованиях, влияет на рост сил взаимодей-

ствия пути и подвижного состава и на интенсивность износа [1, 2, 3, 4, 5].

Одним из таких контролируемых параметров железнодорожного пути является подуклонка рельсов [6, 7]. Значения подуклонки рельсов согласно [8] не должны выходить за границы установленного диапазона: не более 1/12 (включительно) и не менее 1/60 (включительно). При этом подуклонка рельсов — это параметр, который может изменяться в диапазоне указанных значений по длине участка пути. Это связано с характером движения железнодорожного подвижного состава, а также с тем, что сохранение стабильности подуклонки является трудоемкой задачей технического обслуживания пути [9].

Говоря о стабильности подуклонки рельсов, можно сформулировать следующее определение: стабильность подуклонки рельсов — это способность рельсовой колеи сохранять постоянство характеристик подуклонки рельсов по длине участка и времени.

Далее рассмотрим подробнее, какие характеристики подуклонки рельсов необходимо учитывать при оценке ее стабильности, а также покажем взаимосвязь между этими характеристиками и интенсивностью износа рельсов.

Стабильность подуклонки рельсов по времени. Одним из основополагающих показателей стабильности подуклонки рельсов является способность сохранять постоянство во времени с ростом пропущенного тоннажа.

В 2019–2020 гг. на Московской железной дороге были проведены эксперименты по измерению подуклонки на различных участках пути [10, 11]. Измерения проводились с периодичностью, позволяющей выявить изменения подуклонки рельсов за период времени.

На рис. 1 представлены результаты измерения средних значений и среднеквадратического отклонения (СКО) подуклонки рельсов в двух кривых малого радиуса (300 и 350 м), полученные на участке Московской железной дороги.

Из рисунка виден одинаковый характер изменения подуклонки рельсов со временем в кривых мало-

го радиуса, при котором средние значения подуклонки увеличиваются в сторону предельного значения $1/12$, а величины СКО подуклонки при этом снижаются, демонстрируя ее менее резкое отклонение по длине участка [11].

Стабильность подуклонки рельсов по длине участка. Охарактеризовать стабильность подуклонки рельсов по длине пути можно по двум показателям: крутизне отвода подуклонки на участке и СКО подуклонки [12]. Отвод подуклонки рельсов определяет интенсивность изменения подуклонки рельсов по длине пути и может быть рассчитан как отношение разницы величин подуклонки в начале и в конце участка Δf к длине участка dl .

При новом профиле рельса и величине проектной подуклонки, равной $1/20$, отвод на длине 1 м не должен превышать $1/167$, или $\approx 0,006$ рад. Превышение предельных значений ведет к повышенной интенсивности бокового износа рельсов в зависимости от длины участка.

Влияние этого показателя на силовое взаимодействие пути и подвижного состава оценивалось расчетными методами в программном комплексе «Универсальный механизм». Для этого в программный комплекс были заложены шесть участков пути с различными значениями подуклонки. Среднее значение подуклонки на всех шести участках принималось нормативным, т. е. равным $0,05$ ($1/20$).

На первых трех участках величина СКО подуклонки была задана в $\pm 0,03$. Таким образом, максимальные и минимальные отклонения подуклонки варьировались практически во всем диапазоне допустимых значений (от $0,02$ до $0,08$). Изменяя расстояние между максимумами и минимумами подуклонки, на рассматриваемых трех участках были заданы различные значения отвода подуклонки рельсов: $0,003$; $0,005$ и $0,009$ $1/\text{мм}$.

На трех других участках величина СКО подуклонки принималась в два раза меньшей — равной $0,015$. Следовательно, на этих участках были заданы значения отвода подуклонки рельсов равные $0,0015$; $0,002$ и $0,0045$ $1/\text{мм}$.

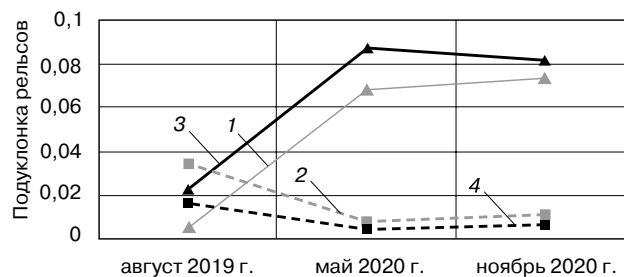


Рис. 1. Результаты измерения подуклонки рельсов на Московской железной дороге:
1 — средние значения в кривой $R=300$ м; 2 — СКО в кривой $R=300$ м; 3 — средние значения в кривой $R=350$ м; 4 — СКО в кривой $R=350$ м
Fig. 1. Results of measuring the rail canting on the Moscow Railway:
1 — average values in the curve $R=300$ m; 2 — standard deviation (SD) in the curve $R=300$ m; 3 — average values in the curve $R=350$ m; 4 — SD in curve $R=350$ m

Показатели взаимодействия пути и подвижного состава (боковые и рамные силы) рассчитывались для условий движения грузового вагона с нагрузкой $23,5$ тс со скоростью 60 км/ч на прямом участке пути и в кривой радиусом 1000 м. Параметры кривой задавались таким образом, чтобы обеспечить движение вагона с непогашенным ускорением, близким к нулю.

Результаты расчетов представлены на рис. 2 и 3. Кроме средних значений боковых и рамных сил, которые, как известно, являются одним из показателей, характеризующих интенсивность износа рельсов, оценивались и СКО полученных осциллограмм. При такой оценке можно не только проследить зависимость роста сил от увеличения крутизны отвода подуклонки, но и характер силового воздействия, приводящий к колебаниям кузова вагона и к неравномерному износу рельсов на участках.

На рис. 4 представлен пример одной из осциллограмм рамных сил, полученной расчетом, при движении грузового вагона по прямому участку пути с изменениями подуклонки с отводами $0,0015$ $1/\text{мм}$.

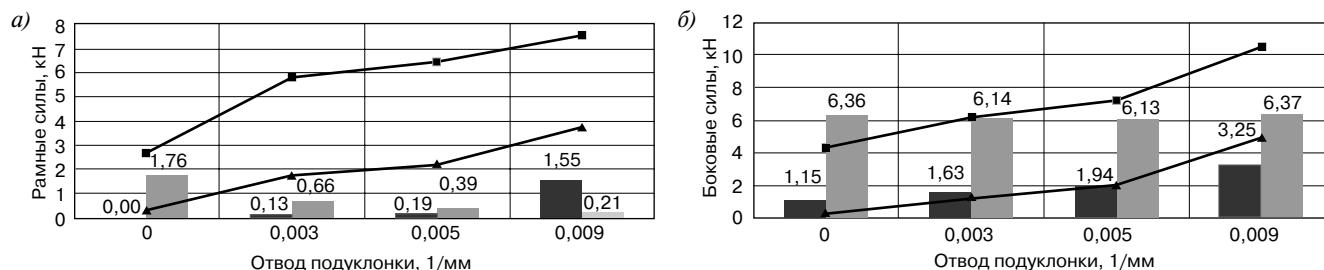


Рис. 2. Результаты расчетов на участках с подуклонкой рельсов при величине СКО $\pm 0,03$ для рамных (а) и для боковых (б) сил:

■ средние значения в прямой ■ средние значения в кривой — СКО в прямой — СКО в кривой
Fig. 2. Calculation results for sections with rail canting at SD ± 0.03 for frame (a) and for lateral (b) forces:
■ mean values in tangent section ■ mean values in curve — SD in tangent section — SD in curve

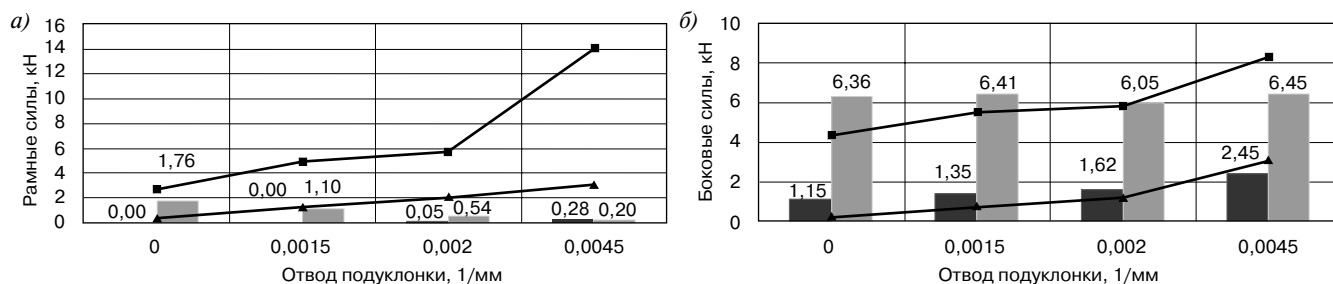


Рис. 3. Результаты расчетов на участках с подуклонкой рельсов при величине СКО $\pm 0,015$ для рамных (а) и для боковых (б) сил:

■ средние значения в прямой ■ средние значения в кривой — СКО в прямой — СКО в кривой

Fig. 3. Calculation results for sections with rail canting at SD $\pm 0,015$ for frame (a) and for lateral (b) forces:

■ mean values in tangent section ■ mean values in curve — SD in tangent section — SD in curve

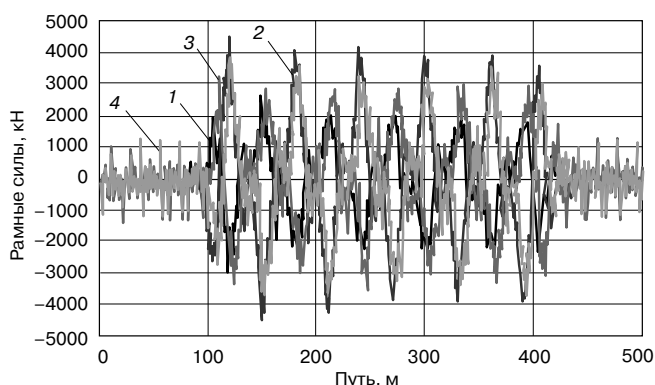


Рис. 4. Осциллограмма рамных сил:

1 — первая колесная пара; 2 — вторая колесная пара;
3 — третья колесная пара; 4 — четвертая колесная пара

Fig. 4. Oscillogram of frame forces:

1 — first wheelset; 2 — second wheelset;
3 — third wheelset; 4 — fourth wheelset

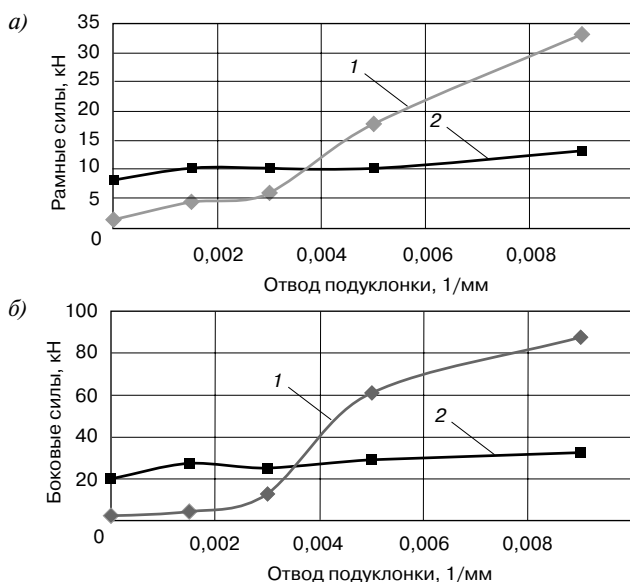


Рис. 5. Рассчитанные максимумы рамных (а) и боковых (б) сил для различных отводов подуклонки рельсов:

1 — прямая; 2 — кривая

Fig. 5. Calculated maxima of frame (a) and lateral (b) forces for various shifts of the rail canting:

1 — tangent section; 2 — curve

Из осциллограммы виден характер влияния изменений подуклонки на динамику вагона на прямом участке пути: заметно резкое увеличение рамных сил на участке с изменяющейся подуклонкой (от 100 до 400 м) по сравнению с участками с постоянной подуклонкой (от 0 до 100 м и от 400 до 500 м).

По полученным расчетом осциллограммам проводилась также оценка максимумов значений рамных и боковых сил. Результаты представлены в виде графиков на рис. 5.

Из рисунка видно, что увеличение отвода подуклонки приводит к существенному росту боковых сил на прямом участке пути, причем превышение отводом подуклонки отметки 0,005 1/мм обуславливает рост их интенсивности.

Выводы. Полученные результаты расчетов и натурных исследований подчеркивают необходимость поддержания стабильности подуклонки рельсов, которая должна оцениваться по двум факторам: интенсивности изменения со временем и интенсивности изменения по длине участка (отвод подуклонки). В качестве допустимой величины для отвода подуклонки целесообразно принять значение 0,004 1/мм, основываясь на результатах выполненных расчетов.

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. Влияние эксплуатационных факторов на уширение колеи и боковой износ рельсов / В.О. Певзнер [и др.] // Путь и путевое хозяйство. 2013. № 1. С. 8–11.
3. Жаров И.А., Захаров С.М. Зависимость типа изнашивания колес и рельсов от параметров их контакта и ширины колеи // Вестник ВНИИЖТ. 2010. № 2. С. 46–49.
4. Параметры колеи и износ рельсов в кривых / Н.И. Карпушенко [и др.] // Путь и путевое хозяйство. 2007. № 11 (2). С. 7–9.
5. Вериго М.Ф. Взаимодействие пути и подвижного состава в кривых малого радиуса и борьба с боковым износом рельсов и гребней колес. М.: ПКТБ ЦП МПС, 1997. 207 с.

6. Zakeri J.-A., Fathali M., Roundsari N.B. Effects of rail cant on wheel-rail contact forces in slab tracks // International Journal of Mechanics and Applications. 2011. No. 1 (1). P. 12–21.

7. Певзнер В. О., Потапов А. В., Белоцветова О. Ю. Подуклонка рельсов и ее связь с безопасностью движения и боковым износом // Путь и путевое хозяйство. 2018. № 2. С. 30–33.

8. Об утверждении и введении в действие Инструкции по текущему содержанию железнодорожного пути [Электронный ресурс]: распоряжение ОАО «РЖД» от 14 ноября 2016 г. № 2288р (ред. от 8 июня 2020 г.). URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=EXP&n=692153#049192640458186054> (дата обращения: 13.04.2021 г.).

9. Потапов А. В. Система оценки, контроля и регулирования подуклонки лежащих в пути рельсов // Наука и техника транспорта. 2019. № 1. С. 58–62.

10. Куртиков Р. М. Результаты наблюдений по оценке влияния подуклонки рельсов на боковой износ рельсов // Современные проблемы проектирования, строительства и эксплуатации железнодорожного пути: материалы XVI Междунар. науч.-техн. конф., посвященной памяти проф. Г. М. Шахуняца (Москва, 3–4 апреля 2019 г.). М.: РУТ (МИИТ), 2019. С. 266–269.

11. Куртиков Р. М. Неравномерность бокового износа и подуклонки рельсов в кривых участках пути // Аспирантские чтения: сб. науч. ст. аспирантов ИПСС РУТ (МИИТ). М.: Перо, 2020. Вып. 3. С. 31–33.

12. Потапов А. В., Певзнер В. О., Михайлов В. В. Подуклонка лежащих в пути рельсов (теория и практика). Саратов: Наука, 2009. 101 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

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

КУРТИКОВ Роман Михайлович, старший преподаватель, кафедра «Путь и путевое хозяйство», ФGAOU BO «РУТ» (МИИТ)

Статья поступила в редакцию 16.04.2021 г., принята к публикации 29.04.2021 г.

Для цитирования: Сидорова Е. А., Куртиков Р. М. Анализ стабильности подуклонки как фактора, определяющего боковой износ рельсов // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2021. Т. 80. № 3. С. 136–140. DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-3-136-140>.

Analysis of the canting stability as a factor determining the lateral wear of rails

E. A. SIDOROVA¹, R. M. KURTIKOV²

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

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

Abstract. Reducing the intensity of rail lateral wear remains an important task for industry science. As part of solving this problem, studies are being carried out on the influence of the geometry of the rail track on the wear of rails, the intensity of the force interaction of wheels and rails, the tribological characteristics of the contacting surfaces. The article focuses on the influence on the wear of the geometry of the rail track, namely the rail canting. The definition of the stability of the rail canting has been formulated, which makes it possible to proceed to the assessment of this indicator both in time and in the length of the track section. The assessment of the canting stability over time was carried out on the basis of experimental data obtained in the course of field studies carried out in 2019–2020 on the Moscow Railway. As a result of evaluating these data, the dependence of the change in the average values and the standard deviation of the rail canting in the section on time was built. The average values and standard deviation of the canting in the investigated area are considered in this article as a set of parameters that make it possible to assess the canting stability. In addition to these parameters, it is proposed to evaluate the canting stability along the length of the section based on the canting offset and the standard deviation. The assessment of the stability of the rail canting along the length of the section was carried out using calculations performed in the “Universal Mechanism” software package. As a result of calculations, the values of frame and lateral forces were obtained and an assessment of their maximum and average values at the site was made. This made it possible to answer the question: how does the retraction of the rail canting affect the level of force interaction at the point of contact between the wheels and rails, and, hence, the wear rate?

Keywords: railway track; rail canting; lateral forces; frame forces; railway track stability

DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-3-136-140>

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 side 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. Pevzner V. O., Belotsvetova O. Yu., Tret'yakov V. V., Potapov A. V., Petropavlovskaya I. B., Tret'yakov I. V., Goryunov A. V. *Vliyaniye ekspluatatsionnykh faktorov na ushireniye kolei i bokovoy iznos rel'sov* [Influence of operational factors on track widening and lateral wear of rails]. Railway Track and Facilities, 2013, no. 1, pp. 8–11.
3. Zharov I. A., Zakharov S. M. *Zavisimost' tipa iznashivaniya koles i rel'sov ot parametrov ikh kontakta i shiriny kolei* [Dependency between type of wear and rail wear and parameters of contact and track gauge]. Vestnik VNIIZhT [Vestnik of the Railway Research Institute], 2010, no. 2, pp. 46–49.
4. Karpushchenko N. I., Kozlov A. P., Kotova I. A., Antereykin E. S. *Parametry kolei i iznos rel'sov v krivyykh* [Track parameters and rail wear in curves]. Railway Track and Facilities, 2007, no. 11 (2), pp. 7–9.
5. Verigo M. F. *Vzaimodeystvie puti i podvizhnogo sostava v krivyykh malogo radiusa i bor'ba s bokovym iznosom rel'sov i grebney*

koles [Interaction of track and rolling stock in small radius curves and fight against lateral wear of rails and wheel flanges]. Moscow, PKTB TsP MPS Publ., 1997, 207 p.

6. Zakeri J.-A., Fathali M., Roundsari N.B. *Effects of rail cant on wheel-rail contact forces in slab tracks*. International Journal of Mechanics and Applications, 2011, no. 1 (1), pp. 12–21.

7. Pevzner V.O., Potapov A.V., Belotsvetova O. Yu. *Poduklonka rel'sov i ee svyaz' s bezopasnost'yu dvizheniya i bokovym iznosom* [Rail canting and its connection with traffic safety and lateral wear]. Railway Track and Facilities, 2018, no. 2, pp. 30–33.

8. *Ob utverzhdenii i vvedenii v deystvie Instruksii po tekushchemu soderzhaniiyu zheleznodorozhnogo puti* [On the approval and implementation of the Instruction on the current maintenance of the railway track]. Order of the JSC "Russian Railways" dated November 14, 2016 No. 2288r. URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=EXP&n=692153#049192640458186054> (retrieved on 13.04.2021) (in Russ.).

9. Potapov A.V. *Sistema otsenki, kontrolya i regulirovaniya poduklonki lezhashchikh v puti rel'sov* [System of evaluation, control and regulation of the rails lying in the track]. Science and Technology in transport, 2019, no. 1, pp. 58–62.

10. Kurtikov R.M. *Rezultaty nablyudeniya po otsenke vliyaniya poduklonki rel'sov na bokovoy iznos rel'sov* [Results of observations on the assessment of the influence of rail canting on lateral wear of rails]. Sovremennye problemy proektirovaniya, stroitel'stva i ekspluatatsii zheleznodorozhnogo puti. Materialy

XVI Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf., posvyashchennoy pamyati prof. G.M. Shakhnyantsa (Moskva, 3–4 aprelya 2019 g.) [Modern problems of design, construction and operation of a railway track. Materials of the XVI Int. scientific and technical conf. dedicated to the memory of prof. G.M. Shakhnyants (Moscow, April 3–4, 2019)]. Moscow, RUT (MIIT) Publ., 2019, pp. 266–269.

11. Kurtikov R.M. *Neravnomernost' bokovogo iznosa i poduklonki rel'sov v krivykh uchastkakh puti* [Unevenness of lateral wear and rail canting in curved sections of the track]. Aspirantskie chteniya. Sb. nauch. st. aspirantov IPSS RUT (MIIT) [Postgraduate reading. Coll. of scientific articles of IPSS RUTH (MIIT) graduates]. Moscow, Pero Publ., 2020, issue 3, pp. 31–33.

12. Potapov A.V., Pevzner V.O., Mikhaylov V.V. *Poduklonka lezhashchikh v puti rel'sov (teoriya i praktika)* [Canting of rails lying in the track (theory and practice)]. Saratov, Nauka Publ., 2009, 101 p.

ABOUT THE AUTHORS

Elena A. SIDOROVA,

Cand. Sci. (Eng.), Scientific Center "Track infrastructure and issues of wheel—rail interaction", JSC "VNIIZHT"

Roman M. KURTIKOV,

Senior Lecturer, Department "Track and Track Facilities", FGAOU VO "RUT" (MIIT)

Received 16.04.2021

Accepted 29.04.2021

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

For citation: Sidorova E.A., Kurtikov R. M. Analysis of the canting stability as a factor determining the lateral wear of rails // VNIIZHT Scientific Journal. 2021. 80 (3): 136–140 (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-3-136-140>.

ВЫШЛИ В СВЕТ ТРУДЫ ВНИИЖТ

Максимов И. Н., Кондрашов В. М. Альтернативные методы исследования динамики железнодорожных экипажей. М.: РАС, 2019. 108 с.

В книге подробно изложена методика исследования динамики железнодорожных экипажей, в основе которой лежит оригинальный подход к моделированию движения колесных пар железнодорожных экипажей в рельсовой колее, позволяющий реализовывать движение экипажей любой осности в прямых и кривых участках пути в режимах выбега, тяги и торможения.

Марков Д. П. Атомно-молекулярные механизмы вещественного трения. М.: РАС, 2019. 102 с.

В монографии представлены результаты 40-летних поисков ответа на вопрос «Что такое трение?». Даны определения полевого и вещественного трения. Уточнены понятия и особенности действия адгезионных и когезионных сил межатомного притяжения, введено понятие дегезионных сил межатомного отталкивания. Предложены новые атомно-молекулярные теории внешнего трения и изнашивания, течения жидкостей, дислокационной и аморфной

Ромен Ю. С. Взаимодействие пути и экипажа в рельсовой колее. М.: РАС, 2019. 160 с.

Рассмотрены проблемы системы «колесо—рельс». Дано описание основных этапов моделирования динамических процессов и проведения испытаний. Изложена методика составления математической модели движения подвижного состава и определения параметров взаимодействия подвижного состава и пути в процессе испытаний. Показано влияние состояния поверхности катания на силы вписывания, а также влияние неровностей на колебания тележки.

Представлены алгоритмы описания профиля колеса и рельса, позволяющие исследовать влияние отдельных участков профилей на динамические качества подвижного состава, безопасность движения и износ колес колесных пар. Приведена методика прогнозирования износа профиля и изменения его формы в зависимости от пробега.

Книга рассчитана на научных и инженерно-технических работников железнодорожного транспорта, также может быть полезна преподавателям и студентам транспортных вузов.

пластической деформации и разрушения кристаллических тел. Выдвинута гипотеза активации плавления, кристаллизации, пластической деформации и других процессов волнового акустического теплового диапазона и произведена оценка их параметров. На обсуждение выносятся 14 гипотез, очерчивающих контуры теории вещественного трения на границе и внутри твердых тел, в жидкостях и газах.

Монография предназначена для научных и научно-технических работников, изучающих процессы трения, также может быть полезна преподавателям и студентам вузов.

Книга предназначена для научных и научно-технических работников железнодорожного транспорта, а также может быть полезна преподавателям и студентам транспортных вузов.

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.

К вопросу совершенствования методики подтверждения максимальной безопасной (конструкционной) скорости движения для грузовых вагонов

Г. И. ГАДЖИМЕТОВ¹, А. А. ЛУНИН¹, Г. И. ПЕТРОВ²

¹Акционерное общество «Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава» (АО «ВНИИЖТ»), Коломна, 140402, Россия

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

Аннотация. Представлен анализ нормативных документов и научных публикаций, касающихся подтверждения конструкционной скорости подвижного состава. Материал изложен с позиции методического подхода к установлению конструкционной скорости на уровне максимального значения, достигнутого в ходе динамико-прочностных испытаний объекта и его испытаний по воздействию на путь и соответствующего требованиям технической документации. Значения показателей прочности и динамических качеств вагонов, полученные в ходе испытаний на участках пути с характеристиками, установленными в методиках испытаний, должны соответствовать требованиям нормативных документов.

Вместе с тем в эксплуатации ходовые части вагона, геометрия рельсовой колеи и конструкция верхнего строения пути в основном имеют состояние, отличное от того, при котором проводились испытания. Исходя из этого, для обеспечения безопасности движения в эксплуатации на пути различного состояния и конструкции устанавливаются допускаемые скорости движения. Так, для грузовых вагонов с трехэлементными тележками максимальная скорость движения, особенно в порожнем состоянии, ограничивается по причине ухудшения их динамических качеств, связанного с изменением в эксплуатации проектных параметров и характеристик элементов тележки и их жестких связей. Из-за ухудшения динамических качеств конструкционная скорость не может быть реализована в том числе и на пути, соответствующем требованиям методик испытаний, на котором она изначально подтверждалась.

Приемлемые с точки зрения безопасности максимальные допускаемые скорости движения грузовых вагонов традиционно устанавливаются по результатам испытаний, проводимых с середины прошлого века. При внедрении инновационных грузовых вагонов с тележками новой конструкции для оценки безопасности движения потребуется выполнение большого количества экспериментов и наработка опыта эксплуатации, при которых необходимо определить влияние различных факторов на безопасность движения. По сути, необходимо заново пройти весь экспериментальный путь установления скоростей движения, но за короткое время, что экономически весьма затратно.

Исходя из изложенного, для исключения рисков, связанных с нарушением безопасности, подтверждения конструкционной скорости и с целью снижения затрат при внедрении нового подвижного состава предложена натурно-виртуальная мето-

дика, предусматривающая применение компьютерного моделирования, при которой конструкционная скорость движения, указанная в технической документации, устанавливается на стадии разработки подвижного состава с учетом эксплуатационной вариативности ходовых частей экипажа и состояния пути.

Ключевые слова: железнодорожный подвижной состав; грузовой вагон; конструкционная скорость; допускаемая скорость; динамические качества; компьютерное моделирование; безопасность движения

Введение. Железнодорожный подвижной состав в соответствии с законодательством Российской Федерации отнесен к объектам технического регулирования, безопасность которых оценивается при проведении работ по подтверждению соответствия требованиям технического регламента Таможенного союза [1–3]. Одно из требований данного регламента гласит: «Железнодорожный подвижной состав и его составные части по прочности, устойчивости и техническому состоянию должны обеспечивать безопасное движение поездов с наибольшими скоростями в пределах допустимых значений» [3]. В терминах и определениях документов [3, 4] отмечено, что наибольшей скоростью движения железнодорожного подвижного состава, заявляемой в конструкторской документации, является конструкционная скорость. Также конструкционная скорость является идентификационным параметром, которым характеризуется каждая единица подвижного состава для информирования потребителя о диапазоне ее применения [3].

В эксплуатации при установлении скоростей движения поездов применяется термин «допускаемая скорость движения» [4–6], представляющий собой максимальную скорость движения железнодорожного подвижного состава в прямых, кривых участках железнодорожного пути и по стрелочным переходам, конструкция и техническое состояние которых соответствуют требованиям действующих нормативов. Максимальное значение допускаемой скорости устанавливается не выше значения конструкционной

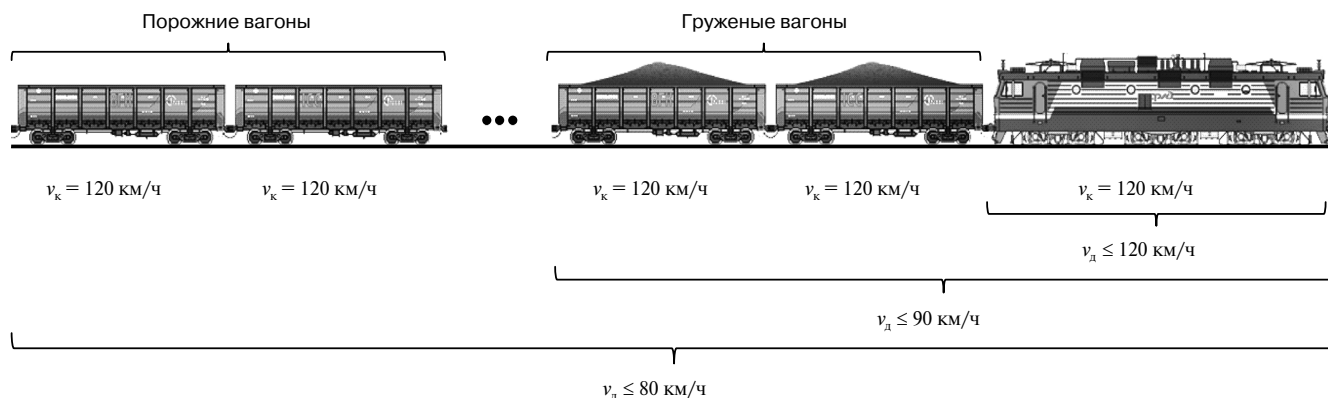


Рис. 1. Установление допускаемой скорости движения поезда: v_d — допускаемая скорость; v_k — конструкционная скорость
 Fig. 1. Establishing the permissible train speed: v_d — permissible speed; v_k — design speed

скорости, заявленной в конструкторской документации. Таким образом, конструкционная скорость является одним из параметров, определяющих технические возможности подвижного состава, и соответствует максимальной допускаемой скорости движения, которую он может реализовать в заданных условиях.

По нормам [5, 6] скорость движения поезда определяется допускаемой скоростью его самой медленной единицы подвижного состава (рис. 1).

Известно, что вследствие износа узлов и деталей тележек динамические качества вагонов ухудшаются, что является одной из причин ограничения максимальной допускаемой скорости движения в целях обеспечения безопасности: в грузе — 90 км/ч, в порожнем — 80 км/ч [7–10], хотя конструкционная скорость вагонов на тележках модели типа 18-100 и ее аналогах в обоих режимах установлена 120 км/ч. В этом случае снижение скорости движения не связано с конструкцией пути и отступлениями геометрии рельсовой колеи (ГРК), требующими снижения установленной скорости движения поездов. Ухудшение динамических качеств в эксплуатации свойственно и тележкам пассажирских вагонов, но при этом они остаются в пределах безопасных значений [11]. Кроме того, многими исследованиями установлено влияние изменения коничности колеса в эксплуатации на динамические качества подвижного состава.

Таким образом, является актуальным вопрос совершенствования методики подтверждения конструкционной скорости движения грузовых вагонов, так как объем проводимых на стадии разработки экспериментальных исследований только по стандартизованным методикам может быть недостаточным для обеспечения безопасности на этапе эксплуатации. Особо остро этот вопрос встает в связи с разработкой новых грузовых вагонов, рассчитанных на конструкционную скорость 140 км/ч и более.

Цель данного исследования — усовершенствование методики подтверждения конструкционной скорости движения грузовых вагонов, заявляемой в технической документации, которая позволит на стадии разработки учитывать изменение динамических качеств вагонов в эксплуатации.

Задачами настоящего исследования в контексте поставленной цели стали:

- определение объема испытаний, необходимого для подтверждения конструкционной скорости;
- анализ стандартизованных методик испытаний подвижного состава для определения конструкционной скорости движения;
- анализ зарубежных методик проведения динамических испытаний и моделирования движения подвижного состава;
- анализ документов для установления скоростей движения поездов в зависимости от вида отступлений ГРК;
- разработка алгоритма подтверждения конструкционной скорости движения грузовых вагонов, заявленной в технической документации, позволяющего на стадии разработки прогнозировать изменение динамических качеств вагонов в эксплуатации.

Объем испытаний для установления величины конструкционной скорости. В нормативных документах [12–21], а также в проанализированной периодической литературе отсутствуют единые методические подходы к подтверждению конструкционной скорости.

В [22, 23] величину конструкционной скорости предлагается устанавливать исходя из наибольших скоростей движения на прямом участке пути отличного состояния, при котором обеспечиваются динамические качества, прочность элементов экипажа, показатели, характеризующие физиологическое воздействие на человека, допускаемая температура нагрева букс, частота вращения подвагонных механизмов с приводом от оси вагона и др.

Представленный в [24] анализ показывает, что подходы к оценке конструкционной скорости движения железнодорожного подвижного состава отражены только в нормативных документах [12–21], определяющих методы испытаний и требования к прочности и динамическим качествам. В соответствии с ними максимальная скорость, достигнутая на прямом участке пути с регламентированной ГРК, при которой показатели динамических качеств и прочности несущих конструкций экипажа не превышают нормативных значений, является конструкционной скоростью.

Для вновь вводимого в эксплуатацию железнодорожного подвижного состава допускаемые скорости движения в эксплуатации устанавливаются в соответствии с нормами [5, 6] по результатам испытаний, проведенных на пути типовой конструкции, ГРК которой соответствует требованиям [12–16], но не выше конструкционной скорости.

В соответствии с нормами [5] допускаемые скорости движения вновь вводимого в эксплуатацию железнодорожного подвижного состава, кроме специального подвижного состава (СПС), устанавливаются на основании результатов их динамико-прочностных испытаний, испытаний по воздействию на путь, а также по показателям, характеризующим физиологическое воздействие на человека.

Согласно [6] допускаемые скорости движения вновь вводимого в эксплуатацию СПС устанавливаются на основании результатов их динамико-прочностных испытаний, испытаний по определению тормозной эффективности, а также расчетов его воздействия на путь.

При разработке новых образцов подвижного состава проводятся приемочные испытания для подтверждения требований технического задания, в котором устанавливаются требования к потребительским качествам и требования по технической совместимости с инфраструктурой и эксплуатируемыми на ней другими единицами подвижного состава. В объем ходовых приемочных испытаний, как правило, обязательно включают испытания, при проведении которых реализуется максимальная скорость, заявленная в конструкторской документации, а именно:

- динамические испытания;
- испытания по воздействию на путь;
- испытания на прочность;
- тормозные испытания;
- виброакустические испытания (показатели физиологического воздействия на человека);
- другие виды испытаний.

Кроме вышеуказанных испытаний выполняется комплекс расчетов и экспертиз для подтверждения работоспособности и прочности валопроводов и



Рис. 2. Виды испытаний, необходимых при установлении конструкционной скорости грузовых вагонов
Fig. 2. Types of tests required to establish the design speed of freight cars

узлов экипажной части, частота вращения которых пропорциональна скорости движения.

Исходя из вышеизложенного, предлагается установить необходимый, возможно не в полной мере достаточный, объем испытаний (рис. 2) для подтверждения конструкционной скорости, соответствующей максимально достигнутой скорости движения, при котором значения показателей находятся в пределах, установленных нормативными документами [17–21].

Актуальные методические подходы к определению конструкционной скорости движения. Для определения конструкционной скорости движения испытательные центры руководствуются положениями стандартизованных методов (методик), включенных во взаимосвязанные с техническими регламентами перечни (некоторые из них находятся на стадии включения). Единые подходы позволяют сопоставить результаты испытаний, проведенных разными аккредитованными испытательными центрами, и оценить уровень безопасности по единым критериям на всей территории Евразийского экономического союза.

Нормативные документы, устанавливающие методы испытаний для оценки динамических качеств, прочности несущих частей экипажа и воздействия на путь разного типа железнодорожного подвижного состава, приведены в [12–16].

В общем, подходы к проведению динамико-прочностных испытаний по методикам [12–16] схожи между собой. Перед началом испытаний проводится анализ конструкторской документации и расчетов для оценки возможности реализации максимальной скорости движения. Испытания начинают с малых скоростей и постепенно повышают скорость до конструкционной, заявленной в конструкторской документации. На каждой скорости выполняют не менее трех поездов «челноком» — передним и задним ходом. После проведения экспресс-анализа опытных данных определяется возможность повышения скорости, вплоть до конструкционной и на 10 % выше, если это не угрожает безопасности движения. При превышении значений показателей динамических качеств или воздействия на путь, установленных в нормативных документах, испытания прекращают.

В основном динамико-прочностные испытания совмещаются с испытаниями по воздействию на путь.

Максимальная реализованная при испытаниях скорость (не выше указанной в конструкторской документации), при которой обеспечиваются значения показателей в пределах, установленных нормативными документами, определяет конструкционную скорость. Кроме того, стандартизованные методики содержат требования к объекту испытаний, испытательному полигону, средствам испытаний, условиям проведения испытаний, методам испытаний, обработке результатов испытаний. В [12–16] установлено, что испытания проводятся на путях специализированных испытательных полигонов или железных дорог общего пользования, конструкция и содержание которых соответствуют требованиям Правил технической эксплуатации [9], а также документам, устанавливающим требования к пути [25]. Оценка состояния пути, на котором проводятся испытания, производится по результатам расшифровки лент путеизмерительного вагона [26]. Основные требования к железнодорожному пути, установленные в методиках испытаний [12–16] железнодорожного подвижного состава с конструкционной скоростью до 140 км/ч, приведены в табл. 1.

Как видно из таблицы, в требованиях к характеристикам испытательных полигонов для про-

ведения испытаний различного типа подвижного состава имеются как общие положения, так и расхождения, но по некоторым позициям требования отсутствуют. Вместе с тем следует отметить, что на стадии разработки подвижного состава и его первичного подтверждения соответствия требованиям технических регламентов проводится полный комплекс динамико-прочностных испытаний и испытаний по воздействию на путь. Обязательным условием для установления допускаемых скоростей движения подвижного состава в эксплуатации в соответствии с нормами [5] является проведение испытаний по [12], где установлены требования к каждой характеристике пути, что позволяет обеспечивать безопасность движения. Этим можно объяснить отсутствие в некоторых нормативных документах [13, 15, 16] требований к состоянию пути испытательных полигонов. Кроме того, участки железнодорожного пути для проведения испытаний по [12], в отличие от участков, где испытания проводятся по [13–16], подлежат аттестации по ГОСТ Р 8.568–2017 [27], по результатам которой должна быть подтверждена возможность воспроизведения условий испытаний и установления пригодности к использованию. В настоящий момент испытания по [12] в большинстве случаев проводятся

Таблица 1

Характеристики и требования к железнодорожному пути для проведения динамико-прочностных испытаний и испытаний по воздействию на путь

Table 1

Characteristics and requirements for a railway track for carrying out dynamic-strength tests and tests for impact on the track

Параметр	Нормативный документ				
	ГОСТ Р 55050–2012 [12]	ГОСТ Р 55514–2013 [13]	ГОСТ 32265–2013 [14]	ГОСТ 33788–2016 [15]	ГОСТ 34451–2018 [16]
Тип пути	Звеньевой или бесстыковой	—	Звеньевой или бесстыковой		—
Тип рельса	P65	—	P50 или P65	P65	—
Шпалы	Железобетонные или деревянные	—	Железобетонные или деревянные	—	—
Балласт	Щебеночный	—	Щебеночный или асбестовый	—	—
Эпюра шпал, шт./км	1840–2000	—	1840–2000	Не менее 1840	—
Прямой участок, м, не менее	6000	Наличие*	1000	8000	Наличие*
Участок пути с кривой радиусом, м	300–400; 600–700	Наличие*	300–400; 600–800	300–400; 600–950	Наличие*
Возвышение наружного рельса	Обеспечение движения с конструкционной скоростью и (или) достижением непогащенного ускорения, регламентированного методикой				
Стрелочные переводы (марка крестовины)	1/11 или 1/9	Наличие*	1/11 или 1/9		Наличие*
Отступления ГРК (качественная оценка пути)	Не ниже «удовлетворительно»	«удовлетворительно», «хорошо» и «отлично»	«отлично» или «хорошо» [20]	Не выше II степени	«удовлетворительно», «хорошо» и «отлично»

* Требуется наличие, без регламентации параметров.



Рис. 3. Хозяйственный поезд, содержащий разнотипный подвижной состав (справа налево): локомотив; пассажирский вагон; СПС; хоппер-дозатор; вагон-платформа
Fig. 3. Service train containing various types of rolling stock (from right to left): locomotive; passenger car; special rolling stock; hopper dispenser; platform car

на аттестованных испытательных полигонах Белореченская—Майкоп, Голутвин—Озеры и железнодорожных путях Западно-Сибирского испытательного полигона. Таким образом, при комплексном проведении динамико-прочностных испытаний и испытаний по воздействию на путь обязательным является соответствие характеристик полигона требованиям [12], что, в свою очередь, соответствует требованиям методик испытаний по оценке динамических качеств всех типов железнодорожного подвижного состава.

Вместе с тем следует унифицировать требования к испытательным полигонам и участкам железнодорожного пути для проведения испытаний по этим стандартизованным методикам (методам), что позволит обеспечить сопоставимость результатов испытаний и повысить безопасность движения, так как любая единица подвижного состава эксплуатируется в основном в составе поездов различного назначения, а не по отдельности друг от друга, как, например, в хозяйственном поезде (рис. 3), и должна испытываться по единым условиям.

Установление скорости движения поездов в зависимости от отступлений рельсовой колеи. Основные требования к железнодорожному пути, обеспечивающие его функционирование при скоростях движения до 200 км/ч, изложены в [25]. Одним из параметров, влияющих на безопасность движения поездов, является ГРК (неровности), оцениваемая по отступлениям от номинальных значений. Оценка отступлений производится по четырем степеням, регламентированным в зависимости от установленных скоростей движения поездов по следующему принципу: чем выше установленные скорости движения поездов, тем жестче величины степеней отступлений. В соответствии с инструкциями [25, 26] отступления I, II и III степени не требуют уменьшения установленных скоростей движения. Вместе с тем при определенном сочетании отступлений III степени требуется ограничение скорости движения поездов. Кроме того, требующим ограничения скорости движения и аргументом для его закрытия являются отступления IV степени (неисправности).

Таким образом, конструкция и характеристики упруго-диссипативных связей в экипаже подвижного состава должны обеспечивать его динамические ка-

чества при максимальных отступлениях ГРК, не требующих ограничения скорости.

Сравнение методических подходов динамических испытаний в разных странах. Полезно сопоставить условия проведения испытаний подвижного состава (например, грузовых вагонов), изложенные в отечественных нормативных документах, с условиями, которые установлены в соответствующих нормативных документах, регламентирующих оценку пригодности к эксплуатации грузовых вагонов в США [28] и допуск железнодорожного подвижного состава к эксплуатации в Европе (а именно в Германии) [29]. Результаты сравнения отражены в табл. 2.

Сравнение условий динамических испытаний показывает, что в США и Германии для допуска к эксплуатации практикуется проведение испытаний подвижного состава (грузовых вагонов) с эксплуатационными износами, а также выполнение дополнительных теоретических исследований.

Вместе с тем необходимо отметить, что в ГОСТ 9246–2013 [30] предусмотрено проведение испытаний макетов тележек, изготовленных с учетом наибольших износов элементов, определенных эксплуатационной документацией, в том числе и колес. Кроме того, в ГОСТ 33211–2014 [21] предусмотрено проведение теоретических исследований для оценки динамических качеств с новым и изношенным от 1,3 до 2,0 мм профилем поверхности катания колеса. В исследованиях [7, 31, 32] отмечено, что именно изношенное колесо в большей степени способствует ухудшению динамических качеств по сравнению с износами других элементов тележки. Однако в стандарте [15], касающемся испытаний вагонов, это не предусмотрено.

Следует особо отметить отсутствие в отечественной нормативной документации, устанавливающей методы испытаний, положений о применении виртуальных исследований для оценки соответствия нормам ожидаемых динамических качеств железнодорожного подвижного состава в эксплуатации.

Результаты, полученные в ходе работы. Проведенный анализ нормативных документов, периодической литературы, нормативно-правовых актов, зарубежных стандартов позволяет сделать следующие выводы о подтверждении конструкционной скорости как параметра, определяющего максимальную

Таблица 2

Условия проведения динамических испытаний вагонов в разных странах

Table 2

Conditions for carrying out dynamic tests of cars in different countries

Объект для предъявления требований	РФ [15]	США [28]	Германия [29]
Конструкция пути	Типовая		
Элементы пути	Типовые в плане		
ГРК	Типовая	Типовая Участки с искусственными неровностями для возбуждения колебаний кузова (боковая качка, галоупирование и подпрыгивание)	Типовая
Ходовые части подвижного состава	Новый профиль колеса	Новый профиль колеса	Новый профиль колеса
		Эксплуатационный профиль колеса (средний износ после 160 тыс. км пробега)	Профиль колеса при максимальной эквивалентной конусности
Теоретические исследования	Не оговорено	Применяются для анализа критической скорости	Применяются для оценки динамических качеств при внесении изменений в конструкцию, модификации, изменении условий эксплуатации

возможную скорость движения подвижного состава в эксплуатации:

1. Конструкционная скорость должна определяться исходя из соответствия динамических качеств подвижного состава, прочности и воздействия на путь требованиям нормативных документов, устанавливающих их безопасные значения.

2. Конструкционная скорость должна регламентироваться на прямом участке пути типовой конструкции.

3. Конструкционная скорость должна обеспечиваться при движении по пути с максимальными отступлениями, не требующими ограничения скорости движения в соответствии с действующими инструкциями по содержанию пути.

4. Конструкционная скорость должна обеспечиваться с учетом изменения массы подвижного состава от минимальной до максимальной (значения указаны в конструкторской документации).

5. Конструкционная скорость должна обеспечиваться в периоды межремонтных пробегов при возможном неблагоприятном сочетании износов (характеристик элементов) ходовых частей в эксплуатации в пределах, допускаемых технической документацией.

При частичном выполнении перечисленных условий в эксплуатационных документах следует указать существующие ограничения скорости в целях информирования потребителя (покупателя, эксплуатирующей организации) и контролирующих органов.

Возможности виртуальных исследований для оценки конструкционной скорости движения. Современные средства компьютерного моделирования позволяют существенно расширить знания о динамике и воздействии на путь с учетом эволюции, связанной с износом пути и ходовых частей, а также вариаций условий эксплуатации подвижного состава. Особенно успешно моделирование применяется в задачах проектирования подвижного состава при поиске оптимальных технических решений и проведении оценок динамики, основанных на сравнительном анализе динамики проектируемого экипажа и экипажа-прототипа, динамические качества которого достаточно хорошо изучены. Для проведения виртуальных исследований применяются программные комплексы Universal Mechanism, Medyna, NUCARS, Adams, PLM Siemens и др.

Важным преимуществом виртуальных исследований является возможность оценки динамических показателей на разных стадиях эволюции физических и геометрических параметров экипажей, связанных с износом узлов трения и профилей колес экипажа во время эксплуатации.

Применению компьютерного моделирования при проведении теоретических исследований динамических качеств железнодорожных экипажей с учетом эксплуатационных износов посвящено много статей и монографий [33–35]. Так, например, в [35] проведено моделирование динамики движения грузовых вагонов при различном состоянии ходовых частей в программном комплексе Universal Mechanism. Выполнено сравнение динамических качеств грузового вагона, полученных при теоретических исследованиях, с экспериментальными исследованиями на испытательном полигоне Белореченская—Майкоп. Результаты теоретических и экспериментальных исследований, представленные в работе, имеют удовлетворительную сходимость.

При теоретических исследованиях проведена оценка влияния на безопасность движения следующих изменений показателей технического состояния ходовых частей трехэлементной тележки:

- разность диаметров колес;
- разница баз боковин;
- продольные и поперечные зазоры в буксовом проеме;
- равномерный прокат;
- завышение/занижение положения фрикционных клиньев;
- зазоры в скользунах.

В [33] представлены результаты виртуальных исследований движения грузового вагона в программном комплексе Medyna и прогнозирования темпов износа колес. Ю. Б. Житковым проведены виртуальные исследования влияния на динамические качества вагона-цистерны при частичном заполнении котла жидким грузом [34].

Таким образом, представляется вполне реальным и целесообразным использование виртуальных исследований для оценки конструкционной скорости вагонов.

Алгоритм подтверждения конструкционной скорости движения. Предлагаемый подход предполагает выполнение многофакторных исследований для подтверждения конструкционной скорости при различных возможных в эксплуатации условиях, отличающихся от условий, при которых проводились испытания. Для снижения временных, финансовых затрат и ускорения внедрения новых разработок предлагается использование компьютерного моделирования при многофакторных натурно-виртуальных исследованиях. Применение цифровых моделей и проведение виртуальных испытаний предусмотрено планом «Технет», направленным на ускорение инновационного развития [36].

Предлагаемый порядок натурно-виртуального подтверждения конструкционной скорости грузового вагона приведен на рис. 4.

Алгоритм (дорожная карта) подтверждения конструкционной скорости предусматривает следующие этапы:

1. Проведение динамико-прочностных испытаний и испытаний по воздействию на путь в соответствии со стандартизованными методами.
2. Создание компьютерной модели, ее валидация и формирование программы расчетов.
3. Проведение многофакторных расчетов при неблагоприятном сочетании износов ходовых частей, а также при наибольших отклонениях ГРК, не требующих ограничения скорости.
4. Оценка соответствия динамических качеств требованиям нормативных документов и определение конструкционной скорости.



Рис. 4. Алгоритм натурно-виртуального подтверждения конструкционной скорости:

- существующий порядок;
 → усовершенствованный порядок
 Fig. 4. Algorithm of full-scale-virtual confirmation of design speed:
 → existing order; → improved order

Выводы. 1. Разработана натурно-виртуальная методика подтверждения конструкционной скорости движения грузовых вагонов, основанная на комбинации компьютерного моделирования динамики подвижного состава при возможных отклонениях ГРК и ходовых частей с результатами стандартных

динамических испытаний и испытаний по воздействию на путь.

2. Применение предлагаемой натурно-виртуальной методики подтверждения конструкционной скорости движения позволит повысить безопасность движения поездов при допуске к эксплуатации новых грузовых вагонов, так как возможное изменение их динамических качеств в эксплуатации оценивается на стадии разработки.

3. Предлагаемая натурно-виртуальная методика подтверждения конструкционной скорости повышает информированность потребителей рынка грузоперевозок и участников перевозочного процесса (потребителей, эксплуатирующие организации и т. д.), а также надзорные органы о технических возможностях грузовых вагонов в реализации максимальных скоростей движения.

Для визуализации информации об ограничениях в скоростях движения на подвижном составе предлагается ввести соответствующие знаки маркировки:

v_k — конструкционная скорость движения, подтвержденная результатами натурно-виртуальных исследований (динамико-прочностных и по воздействию на путь) в прямых участках пути. В кривых участках пути скорость движения ограничивается только регламентированным непогашенным ускорением. В стрелочных переводах скорость движения обеспечивается до максимальных скоростей, регламентированных инструкциями по содержанию пути;

v'_k — конструкционная скорость движения, подтвержденная результатами натурно-виртуальных исследований (динамико-прочностных и по воздействию на путь) в порожнем и (или) груженом состоянии в прямых участках пути. Имеется ограничение скорости движения (одно или несколько):

1) в прямых участках пути в груженом или порожнем состоянии;

2) в кривых участках пути:

- по динамическим качествам;
- по воздействию на путь;

3) в стрелочных переводах ниже регламентированных инструкциями по содержанию пути.

4. Для установления единого подхода предлагаемая методика натурно-виртуальных исследований, содержащая необходимые условия для подтверждения (установления) конструкционной скорости, может быть применена для других типов подвижного состава, а также для определения максимальной безопасной скорости по динамическим качествам при установлении допускаемых скоростей движения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. О железнодорожном транспорте в Российской Федерации [Электронный ресурс]: федер. закон от 10 января 2003 г. № 17-ФЗ

(ред. от 5 апреля 2016 г.). URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/19009> (дата обращения: 10.11.2020 г.).

2. О техническом регулировании [Электронный ресурс]: федер. закон от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ (ред. от 28 ноября 2018 г.). URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/18977> (дата обращения: 10.11.2020 г.).

3. О безопасности железнодорожного подвижного состава [Электронный ресурс]: техн. регламент Таможенного союза: ТР ТС 001/2011: утв. решением комиссии Таможенного союза от 15 июля 2011 г. № 710. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902293438> (дата обращения: 10.11.2020 г.).

4. ГОСТ 34056–2017. Транспорт железнодорожный. Состав подвижной. Термины и определения: межгос. стандарт: введен в действие в качестве нац. стандарта Российской Федерации приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 31 марта 2017 г. № 231-ст: дата введения 2017-11-01. М.: Стандартинформ, 2017. 32 с.

5. Нормы допускаемых скоростей движения подвижного состава по железнодорожным путям колеи 1520 (1524) мм [Электронный ресурс]: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 8 ноября 2016 г. № 2240р. URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=EXP&n=675788#09356013094848201> (дата обращения: 10.11.2020 г.).

6. О нормах допускаемых скоростей движения по железнодорожным путям колеи 1520 (1524) мм [Электронный ресурс]: утв. приказом МПС РФ от 20 декабря 1999 г. № 17ЦЗ. URL: <http://www.consultant.ru/cons/CGI/online.cgi?req=doc;base=EXP;n=316408;dst=100001#09503810020598593> (дата обращения: 10.11.2020 г.).

7. Коссов В. С., Березин В. В., Быков В. А. Факторы устойчивости порожних вагонов // Мир транспорта. 2012. № 2. С. 168–177.

8. Певзнер В. О., Ромен Ю. С. Основы разработки нормативов содержания пути и установления скоростей движения: сб. тр. ученых ОАО «ВНИИЖТ». М.: Интекст, 2013. С. 174–197. (Труды ОАО «ВНИИЖТ»).

9. Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации [Электронный ресурс]: утв. приказом Министерства транспорта Российской Федерации от 21 декабря 2010 г. № 286: с изм. и доп. URL: <https://base.garant.ru/55170488> (дата обращения: 10.11.2020 г.).

10. Ромен Ю. С. Устойчивость движения вагонов на тележках 18-100 // Вестник ВНИИЖТ. 2019. Т. 78. № 3. С. 149–154. DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2019-78-3-149-154>.

11. Пляскин А. Б. Влияние эксплуатационных изменений параметров тележек КВЗ-ЦНИИ на межремонтный пробег пассажирских вагонов: автореф. ... дис. канд. техн. наук: 05.22.07 / Петербургский гос. ун-т путей сообщения. СПб.: ПГУПС, 2002. 24 с.

12. ГОСТ Р 55050–2012. Железнодорожный подвижной состав. Нормы допустимого воздействия на железнодорожный путь и методы испытаний: нац. стандарт Российской Федерации: утв. и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 8 ноября 2012 г. № 703-ст: дата введения 2013-07-01. М.: Стандартинформ, 2013. 25 с.

13. ГОСТ Р 55514–2013. Локомотивы. Методика динамико-прочностных испытаний: нац. стандарт Российской Федерации: утв. и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 26 августа 2013 г. № 537-ст: дата введения 2014-07-01. М.: Стандартинформ, 2014. 16 с.

14. ГОСТ 32265–2013. Специальный подвижной состав. Методика динамико-прочностных испытаний: межгос. стандарт: введен в действие в качестве нац. стандарта Российской Федерации приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 8 ноября 2013 г. № 1422-ст: дата введения 2014-07-01. М.: Стандартинформ, 2014. 16 с.

15. ГОСТ 33788–2016. Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и динамические качества: межгос. стандарт: введен в действие в качестве нац. стандарта Российской Федерации приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 19 июля 2016 г. № 856-ст: дата введения 2017-05-01. М.: Стандартинформ, 2016. 50 с.

16. ГОСТ 34451–2018. Моторвагонный подвижной состав. Методика динамико-прочностных испытаний: межгос. стандарт: введен в действие в качестве нац. стандарта Российской Федерации приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 15 мая 2019 г. № 192-ст: дата введения 2019-12-01. М.: Стандартинформ, 2019. 28 с.
17. ГОСТ Р 55513–2013. Локомотивы. Требования к прочности и динамическим качествам: нац. стандарт Российской Федерации: утв. и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 26 августа 2013 г. № 536-ст: дата введения 2014-07-01. М.: Стандартинформ, 2014. 46 с.
18. ГОСТ 33796–2016. Моторвагонный подвижной состав. Требования к прочности и динамическим качествам: межгос. стандарт: введен в действие в качестве нац. стандарта Российской Федерации приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 4 июля 2016 г. № 800-ст: дата введения 2017-04-01. М.: Стандартинформ, 2016. 41 с.
19. ГОСТ 34093–2017. Вагоны пассажирские локомотивной тяги. Требования к прочности и динамическим качествам: межгос. стандарт: введен в действие в качестве нац. стандарта Российской Федерации приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 13 июня 2017 г. № 537-ст: дата введения 2018-01-01. М.: Стандартинформ, 2017. 46 с.
20. ГОСТ 31846–2012. Специальный подвижной состав. Требования к прочности несущих конструкций и динамическим качествам: межгос. стандарт: введен в действие в качестве нац. стандарта Российской Федерации приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 26 ноября 2012 г. № 1169-ст: дата введения 2014-01-01. М.: Стандартинформ, 2013. 71 с.
21. ГОСТ 33211–2014. Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам: межгос. стандарт: введен в действие в качестве нац. стандарта Российской Федерации приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 5 июня 2015 г. № 565-ст: дата введения 2016-07-01. М.: Стандартинформ, 2016. 59 с.
22. Вершинский С. В. О конструкционных скоростях вагонов // Вестник ВНИИЖТ. 1956. № 1 (5). С. 8–17.
23. Железнодорожный путь и подвижной состав для высоких скоростей движения / под ред. М. А. Чернышева. М.: Транспорт, 1964. С. 58–71.
24. Гаджиметов Г. И. К вопросу о термине «конструкционная скорость» в технической документации на железнодорожный подвижной состав // Вестник ВНИИЖТ. 2018. Вып. 101. С. 108–111.
25. Инструкция по текущему содержанию железнодорожного пути [Электронный ресурс]: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 14 ноября 2016 г. № 2288. URL: <https://base.garant.ru/71764006> (дата обращения: 10.11.2020 г.).
26. Инструкция по расшифровке лент и оценке состояния рельсовой колеи по показаниям путеизмерительного вагона ЦНИИ-2 и мерам по обеспечению безопасности движения поездов [Электронный ресурс]: утв. МПС России от 14 октября 1997 г. № ЦП-515. URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=EXP&n=373825#0029332614145512803> (дата обращения: 10.11.2020 г.).
27. ГОСТ Р 8.568–2017. Государственная система обеспечения единства измерений. Аттестация испытательного оборудования. Основные положения: нац. стандарт Российской Федерации: утв. и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29 декабря 2017 г. № 2121-ст: дата введения 2018-08-01. М.: Стандартинформ, 2018. 16 с.
28. AAR M-1001. Design, Fabrication, and Construction of Freight Cars / The Association of American Railroads. USA, 2013. Chapter 11. Service-Worthiness Tests and Analyses for New Freight Cars. P. 399–146.
29. EN 14363:2016. Railway applications. Testing and Simulation for the acceptance of running characteristics of railway vehicles. Running Behaviour and stationary tests. [S. l.], 2016. 202 p.
30. ГОСТ 9246–2013. Тележки двухосные трехэлементные грузовых вагонов железных дорог колеи 1520 мм. Общие технические условия: межгос. стандарт: введен в действие в качестве нац. стандарта Российской Федерации приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 8 ноября 2013 г. № 1423-ст: дата введения 2014-07-01. М.: Стандартинформ, 2014. 37 с.
31. Черкашин Ю. М., Погорелов Д. Ю., Симонов В. А. Влияние параметров экипажей и пути на безопасность движения поездов // Вестник ВНИИЖТ. 2010. № 2. С. 3–9.
32. Захаров С. М., Погорелов Д. Ю., Симонов В. А. Анализ влияния параметров экипажей и пути на интенсивность износа в системе колесо–рельс (на основе полного факторного эксперимента) // Вестник ВНИИЖТ. 2010. № 2. С. 31–35.
33. Орлова А. М., Савушкина Ю. В., Федорова В. И. Моделирование движения вагона и расчет износа колес с профилем поверхности катания ВНИЦТТ // Вестник ВНИИЖТ. 2019. Т. 78. № 1. С. 41–47. DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2019-78-1-41-47>.
34. Житков Ю. Б. Компьютерное моделирование динамики вагона-цистерны с жидким грузом: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07. СПб., 2018. 16 с.
35. Иванов Д. В. Влияние технического состояния ходовых частей грузовых вагонов на безопасность движения и износ в системе «колесо–рельс»: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07. М., 2010. 203 с.
36. План мероприятий («дорожная карта») по совершенствованию законодательства и устранению административных барьеров в целях обеспечения реализации Национальной технологической инициативы по направлению «Технет» (передовые производственные технологии) [Электронный ресурс]: утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 23 марта 2018 г. № 482-р. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71813046> (дата обращения: 10.11.2020 г.).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

- ГАДЖИМЕТОВ Гаджимет Исамединович**,
руководитель Испытательного центра подвижного состава,
АО «ВНИКИ»
- ЛУНИН Андрей Александрович**,
канд. техн. наук, заместитель генерального директора
по научной работе, АО «ВНИКИ»
- ПЕТРОВ Геннадий Иванович**,
д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Вагоны и
вагонное хозяйство», ФГАОУ ВО «РУТ» (МИИТ)

Статья поступила в редакцию 16.11.2020 г., принята к публикации 18.05.2021 г.

Для цитирования: Гаджиметов Г. И., Луни А. А., Петров Г. И. К вопросу совершенствования методики подтверждения максимальной безопасной (конструкционной) скорости движения для грузовых вагонов // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2021. Т. 80. № 3. С. 141–151. DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-3-141-151>.

On the issue of improving the methodology for confirming maximum safe (design) speed of freight railcars

G. I. GADZHIMETOV¹, A. A. LUNIN¹, G. I. PETROV²

¹Joint Stock Company "Scientific-Research and Design-Technology Institute of Rolling Stock" (JSC "VNIKT"), Kolomna, 140402, Russia

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

Abstract. The article provides the analysis of regulatory documents and scientific publications concerning the design speed of rolling stock. The material is provided from the perspective of a methodological approach to establishing the design speed at the level of the maximum value achieved during dynamic and strength tests and track impact tests of the object that meets requirements of technical documentation. Values of strength and dynamic properties of cars obtained during tests performed in track sections with characteristics established in test methods should comply with requirements of regulatory documents.

At the same time, during the operation of car running gear, rail geometry and track superstructure, basically have a state that is different from that in which tests were performed. Proceeding from this, in order to ensure traffic safety in operation, permissible speeds are set for tracks of various states and structures. Thus, for freight cars with three-piece bogies, the maximum speed, especially when empty, is limited due to the deterioration of its dynamic properties associated with change in the operation of design parameters and characteristics of bogie elements as well as its rigidity couplings. Due to the deterioration of dynamic properties, the design speed cannot be implemented, including on the track that meets requirements of test methods, on which it was initially confirmed.

The maximum permissible speeds of freight cars that are acceptable from the safety point of view are traditionally established based on the results of tests performed since the middle of the last century. When applying innovative freight cars with bogies of a new design, to assess traffic safety, it will be necessary to carry out a large number of tests and to gain operating experience, during which it is necessary to estimate the influence of various factors on traffic safety. In fact, it is necessary to repeat tests to set running speeds, but in a short time, which is very cost-intensive.

Based on the foregoing, in order to eliminate the risks associated with safety violation, to confirm the design speed and in order to reduce costs when applying new rolling stock, a full-scale virtual method has been proposed that provides the use of a computer simulation, in which the design speed specified in the technical documentation is set at the stage of rolling stock development, taking into account the operational variability of car running gear and the track state.

Keywords: design speed; permissible speed; dynamic properties; railway rolling stock; freight car; computer simulation; traffic safety

DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-3-141-151>

REFERENCES

1. *About railway transport in the Russian Federation.* Federal Law of January 10, 2003 No. 17-FZ. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/19009> (retrieved on 10.11.2020) (in Russ.).
2. *About technical regulation.* Federal Law of December 27, 2002 No. 184-FZ. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/18977> (retrieved on 10.11.2020) (in Russ.).
3. *On the safety of railway rolling stock. Tech. regulations of the Customs Union: TR CU 001/2011.* Approved by the decision of the Commission of the Customs Union of July 15, 2011 No. 710. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902293438> (retrieved on 10.11.2020) (in Russ.).
4. GOST 34056–2017. *Railway transport. Rolling stock. Terms and definitions.* Interstate standard, put into effect as nat. standard of the Russian Federation by order of the Federal Agency for

Technical Regulation and Metrology of March 31, 2017 No. 231-st. Moscow, Standartinform Publ., 2017, 32 p. (in Russ.).

5. *Norms of permissible speeds of motion of rolling stock on railway tracks of 1520 (1524) mm gauge.* Approved by order of the JSC "Russian Railways" dated November 8, 2016 No. 2240r. URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=EXP&n=675788#09356013094848201> (retrieved on 10.11.2020) (in Russ.).

6. *On the norms of permissible speeds of motion on railway tracks of 1520 (1524) mm gauge.* Approved by order of the RF Ministry of Railways of December 20, 1999 No. 17TSZ. URL: <http://www.consultant.ru/cons/CGI/online.cgi?req=doc;base=EXP;n=316408;dst=100001#09503810020598593> (retrieved on 10.11.2020) (in Russ.).

7. Kossov V.S., Berezin V.V., Bykov V.A. *Faktory ustoychivosti porozhnykh vagonov* [Stability factors of empty cars]. World of Transport and Transportation, 2012, no. 2, pp. 168–177.

8. Pevzner V.O., Romen Yu.S. *Osnovy razrabotki normativov soderzhaniya puti i ustanovleniya skorostey dvizheniya. Sb. tr. uchenykh OAO "VNIIZhT"* [Fundamentals of the development of standards for the maintenance of the track and the establishment of operating speeds. Coll. of works of scientists of the JSC "VNIIZHT"]. Moscow, Intext Publ., 2013, pp. 174–197.

9. *Rules for the technical operation of the railways of the Russian Federation.* Approved by order of the Ministry of Transport of the Russian Federation of December 21, 2010 No. 286. URL: <https://base.garant.ru/55170488> (retrieved on 10.11.2020) (in Russ.).

10. Romen Yu.S. *Ustoychivost' dvizheniya vagonov na telezhkakh 18-100* [Motion stability of railway cars on bogies 18-100]. Vestnik VNIIZhT [Vestnik of the Railway Research Institute], 2019, Vol. 78, no. 3, pp. 149–154. DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2019-78-3-149-154>.

11. Plyaskin A.B. *Vliyaniye ekspluatatsionnykh izmeneniy parametrov telezhek KVZ-TsNII na mezhremontnyy probeg passazhirskikh vagonov.* Avtoref. ... dis. kand. tekhn. nauk [Influence of operational changes in the parameters of bogies KVZ-TsNII on the overhaul mileage of passenger cars. Cand. tech. sci. diss. synopsis]. St. Petersburg, PGUPS Publ., 2002, 24 p.

12. GOST R 55050–2012. *Railway rolling stock. Permissible exposure norms to the railway track and test methods.* National standard of the Russian Federation, approved and put into effect by order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology of November 8, 2012 No. 703-st. Moscow, Standartinform Publ., 2013, 25 p. (in Russ.).

13. GOST R 55514–2013. *Locomotives. Dynamic and strength testing procedures.* National standard of the Russian Federation, approved and put into effect by order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated August 26, 2013 No. 537-st. Moscow, Standartinform Publ., 2014, 16 p. (in Russ.).

14. GOST 32265–2013. *Special railway rolling stock. Dynamic and strength testing procedures.* Interstate standard, put into effect as nat. standard of the Russian Federation by order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated November 8, 2013 No. 1422-st. Moscow, Standartinform Publ., 2014, 16 p. (in Russ.).

15. GOST 33788–2016. *Freight and passenger railcars. Methods of testing structural strength and dynamic performance.* Interstate standard, put into effect as nat. standard of the Russian Federation by order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metro-

logy dated July 19, 2016 No. 856-st. Moscow, Standartinform Publ., 2016, 50 p. (in Russ.).

16. GOST 34451–2018. *Motor railway rolling stock. Methodology of dynamic-strength tests*. Interstate standard, put into effect as nat. standard of the Russian Federation by order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated May 15, 2019 No. 192-st. Moscow, Standartinform Publ., 2019, 28 p. (in Russ.).

17. GOST R 55513–2013. *Locomotives. Requirements for strength and dynamic properties*. National standard of the Russian Federation, approved and put into effect by order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated August 26, 2013 No. 536-st. Moscow, Standartinform Publ., 2014, 46 p. (in Russ.).

18. GOST 33796–2016. *Railway multiple units. Durability and dynamics requirements*. Interstate standard, put into effect as nat. standard of the Russian Federation by order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology of July 4, 2016 No. 800-st. Moscow, Standartinform Publ., 2016, 41 p. (in Russ.).

19. GOST 34093–2017. *Passenger cars on locomotive traction. Requirements for structural strength and dynamic qualities*. Interstate standard, put into effect as nat. standard of the Russian Federation by order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated June 13, 2017 No. 537-st. Moscow, Standartinform Publ., 2017, 46 p. (in Russ.).

20. GOST 31846–2012. *Special rolling stock. Requirements for bearing structure strength and for dynamic properties*. Interstate standard, put into effect as nat. standard of the Russian Federation by order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology of November 26, 2012 No. 1169-st. Moscow, Standartinform Publ., 2013, 71 p. (in Russ.).

21. GOST 33211–2014. *Freight wagons. Requirements to structural strength and dynamic qualities*. Interstate standard, put into effect as nat. standard of the Russian Federation by order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated June 5, 2015 No. 565-st. Moscow, Standartinform Publ., 2016, 59 p. (in Russ.).

22. Vershinskiy S. V. *O konstruktsionnykh skorostyakh vagonov* [On the design speeds of cars]. Vestnik VNIIZhT [Vestnik of the Railway Research Institute], 1956, no. 1 (5), pp. 8–17.

23. Chernyshev M. A. *Zheleznodorozhnyy put' i podvizhnoy sostav dlya vysokikh skorostey dvizheniya* [Railway track and rolling stock for high speeds]. Moscow, Transport Publ., 1964, pp. 58–71.

24. Gadzhimetov G. I. *K voprosu o termine "konstruktsionnaya skorost'" v tekhnicheskoy dokumentatsii na zheleznodorozhnyy podvizhnoy sostav* [On the issue of the term "design speed" in the technical documentation for railway rolling stock]. Vestnik VNIKI [Bulletin of VNIKI], 2018, issue 101, pp. 108–111.

25. *Instruktsiya po tekushchemu soderzhaniyu zheleznodorozhnogo puti* [Instructions on the current maintenance of the railway track]. Approved by order of JSC "Russian Railways" dated November 14, 2016 No. 2288. URL: <https://base.garant.ru/71764006> (retrieved on 10.11.2020) (in Russ.).

26. *Instruktsiya po rasshifrovke lent i otsenke sostoyaniya rel'sovoy kolei po pokazaniyam puteizmeritel'nogo vagona TsNII-2 i meram po obespecheniyu bezopasnosti dvizheniya poezdov* [Instructions for decoding tapes and assessing the state of the rail track according to the indications of the TsNII-2 track measuring car and measures to ensure the safety of train traffic]. Approved by Ministry of Railways of Russia dated October 14, 1997 No. TsP-515. URL: [http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=](http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=EXP&n=373825#0029332614145512803)

EXP&n=373825#0029332614145512803 (retrieved on 10.11.2020) (in Russ.).

27. GOST R 8.568–2017. *State system for ensuring the uniformity of measurements. Verification of testing equipment. General provisions*. National Russian Federation standard, approved and put into effect by order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology of December 29, 2017 No. 2121-st. Moscow, Standartinform Publ., 2018, 16 p. (in Russ.).

28. AAR M-1001. *Design, Fabrication, and Construction of Freight Cars*. USA, The Association of American Railroads Publ., 2013, Chapter 11. Service-Worthiness Tests and Analyses for New Freight Cars, pp. 399–146.

29. EN 14363:2016. *Railway applications. Testing and Simulation for the acceptance of running characteristics of railway vehicles. Running Behaviour and stationary tests*. [S. l.], 2016. 202 p.

30. GOST 9246–2013. *Bogies two-axle three-piece for freight wagons of 1520 mm gauge railways. General technical specifications*. Interstate standard, put into effect as nat. standard of the Russian Federation by order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated November 8, 2013 No. 1423-st. Moscow, Standartinform Publ., 2014, 37 p. (in Russ.).

31. Cherkashin Yu. M., Pogorelov D. Yu., Simonov V. A. *Influence of carriage parameters and track on train traffic safety*. Vestnik of the Railway Research Institute, 2010, no 2, pp. 3–9.

32. Zakharov S. M., Pogorelov D. Yu., Simonov V. A. *Analysis of the influence of vehicle parameters and track on the wear rate in the wheel-rail system (based on a full factorial experiment)*. Vestnik of the Railway Research Institute, 2010, no. 2, pp. 31–35.

33. Orlova A. M., Savushkina Yu. V., Fedorova V. I. *Modelling car motion and the calculation of the wear of wheels with the VNITsTT rolling surface profile*. Vestnik of the Railway Research Institute, 2019, Vol. 78, no. 1, pp. 41–47. DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2019-78-1-41-47>.

34. Zhitkov Yu. B. *Computer modeling of the dynamics of a tank car with a liquid freight*. Cand. tech. sci. diss. synopsis. St. Petersburg, 2018, 16 p.

35. Ivanov D. V. *Influence of the technical condition of the running gears of freight cars on traffic safety and wear in the "wheel—rail" system*. Cand. tech. sci. diss. Moscow, 2010, 203 p.

36. *An action plan ("road map") to improve legislation and eliminate administrative barriers in order to ensure the implementation of the National Technological Initiative in the direction "Tekhnet" (advanced production technologies)*. Approved by order of the Government of the Russian Federation dated March 23, 2018 No. 482-r. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71813046> (retrieved on 10.11.2020) (in Russ.).

ABOUT THE AUTHORS

Gadzhimet I. GADZHIMETOV,

Head of the Rolling Stock Test Center, JSC "VNIKI"

Andrey A. LUNIN,

Cand. Sci. (Eng.), Deputy General Director for Research Works, JSC "VNIKI"

Gennadiy I. PETROV,

Dr. Sci. (Eng.), Professor, Head of the Department "Cars and car facility", FGAOU VO "RUT" (MIIT)

Received 16.11.2020

Accepted 18.05.2021

■ E-mail: gajimetov-gi@vniiki.com (G. I. Gadzhimetov)

For citation: Gadzhimetov G. I., Lunin A. A., Petrov G. I. On the issue of improving the methodology for confirming maximum safe (design) speed of freight railcars // VNIIZHT Scientific Journal. 2021. 80 (3): 141–151 (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-3-141-151>.

Оптимизация конструкции кузова вагона электропоезда по значению частоты собственных колебаний

Р. В. ГУЧИНСКИЙ^{1,2}

¹Общество с ограниченной ответственностью «ТМХ Инжиниринг» (ООО «ТМХ Инжиниринг»), Санкт-Петербург, 199178, Россия

²Институт проблем машиноведения Российской академии наук (ИПМаш РАН), Санкт-Петербург, 197046, Россия

Аннотация. Поиск путей оптимизации конструкции кузова является важным этапом проектирования новых вагонов электропоездов. Снижение массы кузова приводит к облегчению сопряженных с ним частей подвижного состава, сокращению энергозатрат на эксплуатацию и уменьшению износа в системе «колесо—рельс». Снижение массы кузова возможно за счет назначения оптимальной жесткости его основным несущим элементам. Повышение жесткости кузова при неизменной массе также является важной задачей для получения нормативных динамических качеств кузова вагона.

Приведен способ оптимизации конструкции кузова, основанный на расчете значения его первой частоты собственных изгибных колебаний. Расчет выполнен методом конечных элементов с использованием упрощенной балочно-оболочечной параметрической модели. В рамках оптимизационных расчетов рассмотрены 3125 рабочих вариантов сечений основных несущих элементов конструкции с разной жесткостью — обвязки и поперечных балок рамы, межокожных стоек и поперечных балок крыши. Проанализирована чувствительность значения частоты собственных колебаний к изменению жесткости основных несущих элементов без учета изменения массы. Получено, что наибольшее влияние на значение частоты оказывает жесткость обвязки и поперечных балок рамы. Показано, что соотношение жесткостей основных несущих элементов не остается постоянным для оптимальных вариантов конструкции и зависит от конструктивного исполнения кузова, целевых значений его массы и жесткости. При ограничении массы возможно выбрать конструкции, которые характеризуются наибольшей общей жесткостью кузова и являются наиболее оптимальными с точки зрения технологичности. При ограничении значений частоты собственных колебаний возможен выбор конструкции кузова с наименьшей массой металла. Представленный подход позволяет принять решения по модификации кузова исходя из требуемых параметров массы и (или) частоты собственных изгибных колебаний. Данный подход может использоваться при предпроектных исследованиях кузовов нового пассажирского подвижного состава.

Ключевые слова: электропоезд; кузов; оптимизация конструкции; жесткость кузова; метод конечных элементов; модальный анализ; частота собственных колебаний; динамика вагона

Введение. Проектирование нового конкурентоспособного подвижного состава предполагает улучшение его важнейших характеристик, например увеличение конструкционной скорости. При этом актуальной становится задача снижения массы вагона.

Из-за преобладающей массовой доли металлоконструкции кузова в общей массе вагона его конструкцию целесообразно оптимизировать. Для этого может потребоваться серия испытаний значительного количества кузовов с разнообразными техническими решениями. Выполнение предварительных численных экспериментов позволяет сократить объемы натурных испытаний и общие расходы на разработку новых вагонов. Уменьшение массы кузова влечет за собой сопутствующие сокращения массы тележек, рессорного подвешивания, тягового привода, уменьшение износа колесных пар и рельсов, а также энергозатрат при эксплуатации.

Снижение массы, во-первых, возможно за счет выбора материала [1]. Начиная с 1990-х гг. наряду со сварными стальными конструкциями, широко используемыми в отечественном вагоностроении, постепенно стала возрастать доля конструкций из алюминиевых сплавов и композитных материалов [2]. Применение композитных материалов позволяет сократить массу несущей конструкции до 30 % в сравнении со стальным кузовом [3, 4]. Во-вторых, массу кузова можно снизить за счет оптимального выбора размеров элементов конструкции. Например, топологическая оптимизация позволяет получить конструкцию кузова, наиболее эффективно работающую на изгиб и кручение, которая затем может быть доработана по критерию технологичности [5]. В [6] показана возможность снижения массы алюминиевого кузова около 10 % за счет оптимизации толщин экструдированных панелей. В-третьих, возможно добиться снижения массы кузова за счет изменения его конструктивной схемы [7].

При проектировании кузова возникает типичное для конструкции противоречие требований к его минимальной массе и достаточной жесткости для обеспечения прочности и динамических качеств. Поэтому для оптимизации конструкции кузова целесообразно использовать значение первой частоты собственных изгибных колебаний: с одной стороны, максимальное значение частоты позволяет обеспечить максимальную общую жесткость кузова, с дру-

гой — его минимальную массу. Частота собственных изгибных колебаний кузова является одним из основных нормируемых динамических параметров вагона моторвагонного подвижного состава. Этот параметр непосредственно связан с показателями плавности хода и уровнем комфорта пассажиров [8]. Испытания по определению частоты могут проводиться на необорудованных кузовах вагонов [9]. Для полностью оборудованного кузова вагона электропоезда она должна быть не менее 8 Гц в соответствии с отечественной нормативной документацией [10]. На значение частоты влияет ряд факторов, основные из которых — размеры и форма кузова, определяющие его жесткость, характер распределения и величина нагружающих его масс.

Оптимизация конструкций актуальна для многих видов сооружений и транспорта [11]. В [12] выполнена оптимизация кузова автобуса по частоте собственных изгибных колебаний. В качестве целевых функций в [13] также рассматриваются жесткость кузова автомобиля и деформации при продольном ударе. Прочность, жесткость и устойчивость конструкций учитываются при оптимизации кузовов грузовых вагонов [14, 15].

Цель настоящего исследования — определение оптимальных размеров основных элементов несущей конструкции кузова вагона электропоезда с заданной конструктивной схемой.

Параметрическая модель кузова. Для расчетов используются упрощенные модели проектных вариантов кузовов моторного вагона электропоезда ЭП2Тв классической конструкции (рис. 1). Из-за двойной симметрии изгибных колебаний рассматривается четверть кузова, предполагается симметричное расположение оборудования вагона.

Конечно-элементная модель кузова представляет собой полигональную оболочку с отверстиями под дверные и оконные проемы, замкнутую поперечными шпангоутами (рис. 2). Замыкание поперечных балок рамы и крыши с межоконными стойками в шпангоуты приводит к более эффективному использованию жесткости этих элементов [16]. Размер конечных элементов принимается равным 50 мм, так как при более крупном размере выявляется изменение значений частот собственных колебаний, превышающее 1%. Предполагается, что свариваемые элементы несущей конструкции кузова соединены жестко. Все основные несущие балки представляются балочными элементами. Гофрированные листы пола и крыши толщиной 1,5 мм моделируются с помощью комбинации балочных и оболочечных элементов, при этом реализуется возможность параметрически изменять размеры поперечных сечений тех балок, которые оказывают наибольшее влияние на жесткость конструкции при изгибе кузова (обвязка и поперечные балки рамы,

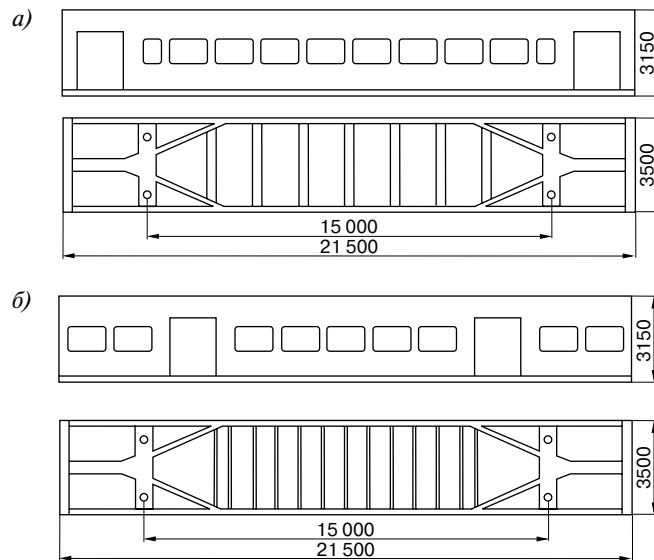


Рис. 1. Конструктивные схемы исполнений кузова вагона электропоезда ЭП2Тв:

a — первое исполнение; *б* — второе исполнение

Fig. 1. Structural diagrams of EP2Tv electric train car body designs:
a — first modification; *б* — second modification

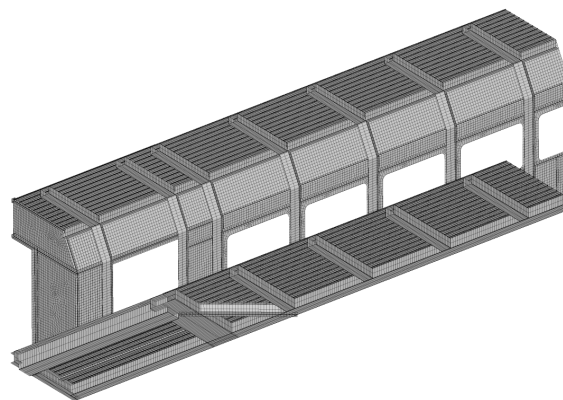


Рис. 2. Конечно-элементная модель четверти кузова первого исполнения

Fig. 2. Finite-element model of a quarter of a body of the first modification

поперечные профили крыши, стойки боковин). Под каждым окном располагаются две подоконные стойки в виде z-образного профиля. Хребтовая, шкворневая балка и раскосы рамы моделируются балочными элементами постоянного коробчатого сечения. При построении балочно-оболочечной модели в балочных элементах учитываются эксцентриситеты сечений. Толщина обшивки боковых стен принимается равной 2,5 мм. Стойки дверных проемов и межоконные стойки имеют одинаковое сечение. Силовой набор торцевой стены состоит из стоек торцевой двери и

горизонтального поперечного наддверного профиля. Подкрепляющие обшивку торцевой стены профили не моделируются из-за малого влияния жесткости торцевой стены на значение частоты собственных изгибных колебаний кузова. Обвязка рамы имеет постоянное коробчатое сечение по всей длине кузова. Предполагается, что выходы на нижние платформы в обоих исполнениях кузова отсутствуют. Кузова двух исполнений не имеют принципиальных отличий, за исключением сечений поперечных балок рамы и крыши, а также расположения оконных и дверных проемов. В первом исполнении балки рамы и крыши имеют коробчатое сечение, во втором — сечение швеллера для рамы и z-образное для крыши. Максимальное упрощение модели за счет балочных элементов позволяет рассмотреть наибольшее число проектных вариантов в рамках оптимизации за приемлемое время.

В качестве граничных условий используется ограничение линейных и угловых перемещений узлов,

лежащих в плоскостях симметрии. Известно, что жесткость опор в пределах используемых параметров рессорного подвешивания и пневморессор практически не оказывает влияния на значения первой частоты собственных колебаний [17]. Поэтому для расчета частоты собственных изгибных колебаний кузова используется его безопорное состояние.

Нагрузки от внутренних и наружных конструкций, от собственного веса пассажиров прикладываются с помощью сосредоточенных массовых элементов в соответствии с конструкторской документацией. Способ изменения плотности элементов кузова для приложения нагрузок не используется для более эффективной оценки изменения массы металлоконструкции модели. Расчет выполняется в состоянии брутто — при максимальной нагрузке от пассажиров, при этом учитывается вес сидящих и стоящих пассажиров исходя из нормативной плотности 7 человек на 1 м² площади пола, не занятой ногами сидящих пассажиров [10].

Для каждого конструктивного исполнения рассматривались 3125 вариантов конструкции кузова, характеризующихся различными комбинациями жесткостей основных конструктивных элементов. Наименования профилей и их жесткости для базового варианта кузова представлены в табл. 1 и 2 соответственно. Рабочие варианты конструкции определяются переменными значениями пяти параметров: высоты сечения обвязки, поперечных балок рамы, крыши, высоты и ширины сечения межоконных стоек. При этом толщины основных несущих профилей не изменяются. Каждый параметр принимает 5 значений, которые выбираются таким образом, что соответствующий момент инерции сечения составляет 1/3, 1/2, 1, 2, 3 момента инерции сечения профиля базового варианта. Оси x и z — главные центральные оси межоконной стойки, ось z перпендикулярна плоскости обшивки боковой стены. Значения высот основных несущих элементов, соответствующих изменению момента инерции сечения в k раз относительно базового варианта, приведены в табл. 3.

Материал всех конструкций упругий и имеет постоянные характеристики — модуль Юнга, равный $2,1 \times 10^5$ МПа, и коэффициент Пуассона, равный 0,3. Частота собственных изгибных колебаний кузова в вертикальной плоскости рассчитывается с помощью модального анализа в рамках конечно-элементного комплекса ANSYS Mechanical APDL. Для определения частоты собственных колебаний и их форм применяется блочный метод Ланцоша.

Влияние жесткости основных несущих элементов на частоту собственных изгибных колебаний. Предварительно рассматривается чувствительность частоты собственных колебаний только к изменению момента инерции основных несущих элементов первого исполнения кузова, при этом влияние изменения массы не учитывается. Для того чтобы при увеличении жестко-

Таблица 1

Основные несущие профили кузова базового варианта

Table 1

Basic structural body profiles of the basic version

Конструктивные элементы	Первое исполнение	Второе исполнение
Обвязка рамы	Труба 200×200×6	
Межоконные стойки	Труба 190×55×3	
Поперечные балки рамы	Труба 190×190×6	Швеллер 190×6
Поперечные балки крыши	Труба 190×150×2,5	Z-образный профиль 150×2

Таблица 2

Характеристики базового варианта

Table 2

Basic version characteristics

Показатели	Первое исполнение	Второе исполнение
Масса основных элементов металлоконструкции, т	13 096	11 900
Масса тары кузова, т	40 260	37 400
Масса брутто кузова, т	63 160	60 388
Моменты инерции, см ⁴ :		
1) Обвязка рамы	2923	2923
2) Поперечные балки рамы	2494	1044
3) Поперечные балки крыши	644	147
4) Межоконные стойки относительно оси x	83	83
5) Межоконные стойки относительно оси z	600	600
Частота изгибных колебаний кузова, Гц	8,98	7,67

сти поперечных сечений масса не менялась, изменялись толщины стенок поперечных сечений. Для изменения в k раз осевого момента инерции I_z коробчатого сечения ширины b и высоты h с толщиной стенок и полок t (рис. 3) необходимо изменить толщину полок до величины

$$t_1 = 0,5 \left(h - \sqrt{\frac{bh^3(1-k)}{(b-2t)(h-2t)}} + k(h-2t)^2 \right),$$

а толщину стенок до величины

$$t_2 = 0,5 \left(b - \frac{(b-2t)(h-2t)}{h-2t_1} \right),$$

при этом величина k должна удовлетворять условиям $t_1 > 0$, $t_2 > 0$, а также

$$k \leq \frac{1}{1 - (1 - 2t/b)(1 - 2t/h)^3}.$$

Используемые размеры поперечных сечений позволяют рассматривать значения $k = 0,8 \div 1,2$. В табл. 4 приводятся результаты расчета влияния изгибной жесткости основных несущих элементов кузова на частоту собственных колебаний.

Изменение жесткости поперечных балок крыши в рассматриваемых пределах оказывает влияние на частоту собственных колебаний кузова менее 0,1 %, поэтому в табл. 4 не приводится. Малая чувствительность значения частоты собственных колебаний кузова к изменению жесткости крыши объясняется ее низкой загруженностью. Влияние на частоту собственных колебаний жесткостей сечения межоконных стоек в двух направлениях с разным знаком объясняется их взаимной зависимостью. Например, при уменьшении t_1 происходит увеличение t_2 , что приводит к росту значения частоты.

По результатам моделирования жесткость обвязки и поперечных балок рамы оказывает наиболее существенное влияние на частоту собственных колебаний, что связано с наибольшей удельной нагруженностью рамы по сравнению с остальными элементами кузова вагона электропоезда. Эти результаты подтверждают выводы исследования [18], в котором рассматривалась оптимизация конструкции стального кузова за счет изменения толщин элементов и их массы.

Анализ результатов расчетов. С использованием макроса, написанного на языке программирования APDL, встроенном в программный комплекс ANSYS, были получены значения частот собственных изгибных колебаний для рабочих вариантов двух исполнений кузова с различными значениями жесткости основных несущих элементов в соответствии с табл. 3. Результаты расчета показаны на рис. 4 и 5, по горизонтальной оси приведены разности масс рабочих и

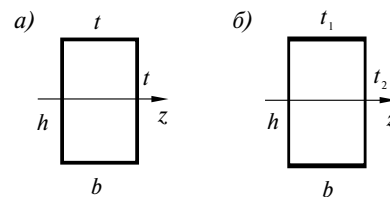


Рис. 3. Изменение толщин коробчатого сечения:
а — базовый вариант; б — с измененной жесткостью ($k > 1$);
 t — толщина стенок; t_1 — толщина полки;
 t_2 — толщина боковой стенки

Fig. 3. Changing the thickness of the box section:
а — basic version; б — with changed rigidity ($k > 1$);
 t — wall thickness; t_1 — thickness of the shelf;
 t_2 — side wall thickness

базового вариантов. Результаты, соответствующие наиболее оптимальным вариантам конструкции кузова, располагаются в левой верхней четверти точечной диаграммы.

В сравнении с базовым вариантом для первого исполнения возможно увеличение частоты собственных колебаний на 0,3 Гц без изменения массы либо сокращение массы кузова на 350 кг без изменения частоты. Повышения частоты при постоянной массе можно достичь, увеличивая размер сечения обвязки за счет уменьшения сечения межоконных стоек. Снизить массу возможно за счет уменьшения сечений межоконных стоек и балок крыши.

Для второго исполнения возможно увеличение частоты собственных колебаний на 0,4 Гц и сокращение

Таблица 3

Геометрические параметры несущих элементов рабочих и базового вариантов

Table 3

Geometrical parameters of load-bearing elements of working and basic versions

Показатели	Коэффициент жесткости				
	0,33	0,5	1	2	3
Высота обвязки рамы, мм	140	160	200	250	286
Высота поперечных балок рамы, мм	118 (119)	141 (142)	190	255 (254)	303 (300)
Высота поперечных балок крыши, мм	91 (94)	110 (112)	150	204 (200)	243 (235)
Высота сечения межоконных стоек, мм	33	40	55	75	91
Ширина сечения межоконных стоек, мм	123	145	190	248	289

Примечание. В скобках приведены отличающиеся параметры для второго исполнения. Полу жирным шрифтом указаны значения для базового варианта. Note. Differing parameters for the second version are given in brackets. Values for basic version are shown in bold.

Таблица 4

Изменение частоты собственных колебаний кузова
(в % от базового варианта, $k = 1$) при изменении жесткости в k раз
его основных несущих элементов

Table 4

Change in the frequency of natural vibrations of the body
(in % of the base version, $k = 1$) when the rigidity changes k times
of its main load-bearing elements

Несущие элементы	$k = 0,8$	$k = 0,9$	$k = 1,1$	$k = 1,2$
Обвязка рамы	-1,1	-0,5	+0,4	+0,9
Поперечные балки рамы	-1	-0,4	+0,3	+0,6
Межоконные стойки относительно оси x	0	+0,1	0	-0,4
Межоконные стойки относительно оси z	-0,5	-0,1	+0,1	+0,1

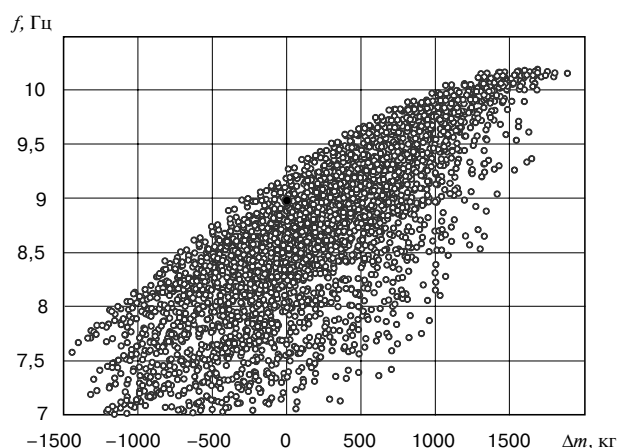


Рис. 4. Значения частоты собственных колебаний f в зависимости от изменения массы Δm для первого исполнения кузова (черный маркер — базовый вариант)

Fig. 4. Values of natural vibrations frequency f depending on the change in the mass Δm for the first modification of the body (black marker — basic version)

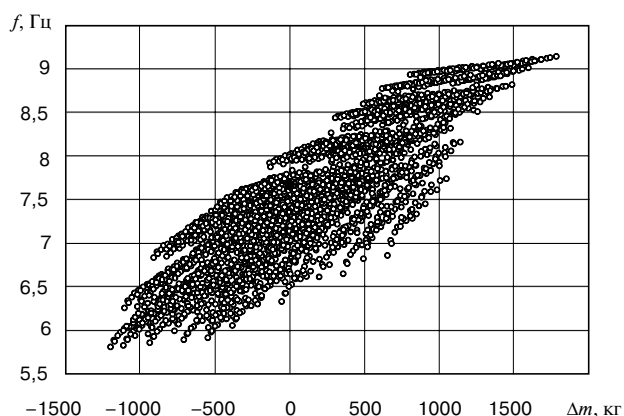


Рис. 5. Значения частоты собственных колебаний в зависимости от изменения массы для второго исполнения кузова (черный маркер — базовый вариант)

Fig. 5. Values of natural vibrations frequency depending on the change in the mass for the second modification of the body (black marker — basic version)

массы на 350 кг. Увеличение частоты в этом случае возможно за счет увеличения жесткости поперечных балок и сокращения сечений стоек и балок крыши.

На основании оценки кривой, ограничивающей поле результатов сверху, можно заключить, что для повышения частоты собственных колебаний кузова брутто на 1 Гц необходимо увеличение жесткости кузова, приводящее к повышению массы металлоконструкции примерно на 1 т. При этом для достижения результата усиление конструкции необходимо выполнять наиболее эффективным способом. Результаты усиления кузова моторного вагона электропоезда ДТ1 с целью повышения значения частоты собственных колебаний также в целом согласуются с правилом: 1 Гц — 1 т. Для подтверждения правила необходимы дальнейшие расчетные эксперименты.

Результаты, представленные на рис. 5, имеют выраженные разрежения, которые связаны с дискретным характером изменения жесткостей сечений. Каждая обособленная область результатов соответствует определенной комбинации значений жесткости обвязки и поперечных балок рамы. Рассмотрение большего числа вариантов жесткости балок приведет к более полному заполнению диаграммы, однако время решения задачи может существенно увеличиться. Например, рассмотрение 7 вариантов жесткости обвязки и поперечных балок рамы приводит к удвоению числа всех комбинаций жесткости. На данный момент расчет частот собственных колебаний для 3125 вариантов кузова занимает около 12 ч для 64 Gb RAM. Использование в расчете различных алгоритмов оптимизации является направлением для дальнейшей работы.

Верхняя кривая поля результатов оптимизации соответствуют наиболее рациональным размерам несущих элементов. Для рабочих вариантов, соответствующих верхней кривой поля результатов в пределах изменения массы ± 300 кг, были рассчитаны моменты инерции рассматриваемых сечений балок. Результаты были нормированы по осевому моменту инерции сечения обвязки рамы. На рис. 6 представлены относительные жесткости сечений (темным цветом показано соответствие столбца диапазону значений вариантов). Например, для первого исполнения кузова оптимальная жесткость на изгиб поперечных балок рамы составляет от 0,18 до 0,54 жесткости коробчатого сечения обвязки.

Из полученных результатов следует, что в оптимальном варианте кузова вагона электропоезда классической конструкции наибольшей изгибной жесткостью должна обладать обвязка рамы. Следующим наиболее жестким несущим элементом кузова являются поперечные балки рамы. Жесткость межоконных стоек при изгибе в плоскости сечений кузова составляет до 10 % жесткости обвязки, в плоскости боковой стены — до 29 % жесткости обвязки. Рабочие варианты, характеризующиеся максимальной

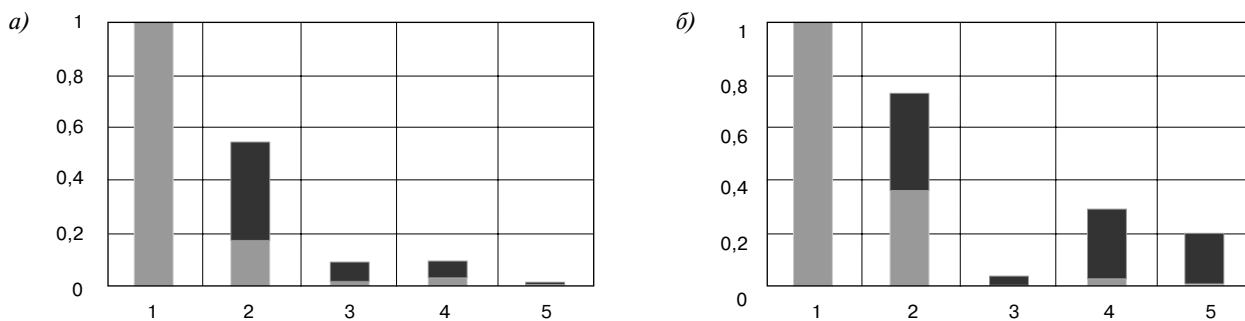


Рис. 6. Соотношение жесткостей основных конструктивных элементов первого (а) и второго (б) исполнений кузова:

1 — обвязка; 2 — поперечные балки рамы; 3 и 4 — межоконные стойки, изгиб относительно осей x и z ; 5 — поперечные балки крыши.

Темным цветом обозначено соответствие диапазону значений

Fig. 6. Ratio of the rigidity of the main structural elements of the first (a) and second (b) modifications of the body:

1 — bracing; 2 — cross beams of the frame; 3 and 4 — inter-window racks, bending about the x and z axes; 5 — cross beams of the roof.

Dark color indicates compliance with the range of values

частотой при сохранении исходной массы базового варианта, соответствуют минимальным размерам сечения межоконных стоек. Это связано с тем, что в случае первого исполнения кузова происходит интенсивный сдвиг крыши относительно рамы кузова из-за наличия оконных проемов (рис. 7, а). Увеличение жесткости кузова повышением жесткости стоек оказывается неэффективным из-за близкого расположения оконных проемов; гораздо большего эффекта можно достичь изменением формы, размеров и размещения проемов. Во втором исполнении кузова сдвиг крыши кузова относительно рамы при его изгибе происходит в основном благодаря дверным проемам, расположенным в пределах базы вагона [19]. Расположение дверных проемов в областях кузова с наибольшей поперечной силой приводит к уменьшению общей жесткости и при прочих равных условиях — к уменьшению частоты изгибных колебаний. Разница в значениях частоты в 1,3 Гц для базового варианта рассмотренных исполнений обусловлена также существенно отличающейся жесткостью обвязки рамы и в меньшей степени — отличиями по массе оборудованных кузовов. Сдвиг конструкции второго исполнения по оконным проемам (рис. 7, б) уменьшается в сравнении с первым исполнением (рис. 7, а), поэтому изгиб межоконных стоек в продольной вертикальной плоскости для второго исполнения кузова выражен гораздо меньше, чем для первого, и увеличение их жесткости для повышения жесткости кузова тоже неэффективно. Жесткость балок крыши не превышает 20 % жесткости обвязки и зависит от нагруженности крыши.

В общем случае соотношение жесткостей основных несущих элементов зависит от конструктивного исполнения кузова, нагрузок и их распределения, а также целевых показателей массы и жесткости. При проектировании нового подвижного состава может быть рекомендовано предварительное назначение жесткости обвязки и шпангоутов в межоконных поперечных с-

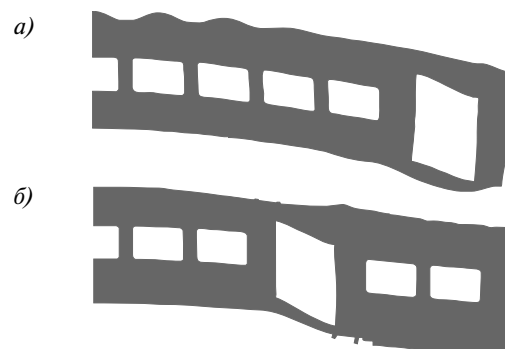


Рис. 7. Формы изгибных колебаний базового варианта кузова двух исполнений:

а — первое исполнение; б — второе исполнение

Fig. 7. Forms of bending vibrations of basic body versions of both modifications:

а — first modification; б — second modification

чения кузова исходя из средних значений жесткости (рис. 6), а затем решение задачи оптимизации конструкции для окончательного выбора размеров сечений. При дальнейшем проектировании целесообразно выполнять расчеты на уточненной оболочечной модели.

Заключение. Наибольшее влияние на жесткость кузова вагона электропоезда классической конструкции оказывает изменение жесткости обвязки рамы.

В оптимальной конструкции кузова с точки зрения частоты собственных изгибных колебаний наибольшей жесткостью на изгиб обладает обвязка и поперечные балки рамы из-за их большей удельной нагруженности. Соотношение жесткостей основных несущих элементов кузова оптимальной конструкции не является постоянным и зависит от его конструктивного исполнения, распределения масс и целевых показателей массы и жесткости кузова.

Для повышения значения частоты первого тона собственных изгибных колебаний кузова следует рассматривать различные комбинации жесткостей основных несущих элементов.

Способ оптимизации конструкции кузова по критерию максимального значения частоты может быть использован при предпроектной разработке кузовов нового подвижного состава. При этом рекомендуется упрощать модель кузова до основных несущих элементов и рассматривать наиболее существенные нагрузки для достижения удовлетворительной адекватности модели. Использование в расчете различных алгоритмов оптимизации является направлением для дальнейшей работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Cho J. G., Koo J. S., Jung H. S. A lightweight design approach for an EMU carbody using a material selection method and size optimization // *Journal of Mechanical Science and Technology*. 2016. Vol. 30. No. 2. P. 673–681.
2. Singh D. Comparison of carbon steel and composite side wall of light rail vehicle by finite element analysis: Thesis of Master of Science in Mechanical Engineering. Texas, Arlington, 2017. 59 p.
3. Seo S. I., Kim J. S., Cho S. H. Development of a hybrid composite bodyshell for tilting trains // *Proceedings Institution of Mechanical Engineers. Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*. 2008. Vol. 222. No. 1. P. 1–13.
4. Wennberg D., Stichel S. Multi-functional design of a composite high-speed train body structure // *Struct Multidisc Optim*. 2013. Vol. 50. No. 3. P. 475–488.
5. Koenig J., Friedrich H. E. Integral consideration of the lightweight design for railway vehicles: Rep. German Aerospace Center — Institute of Vehicle Concepts. [S. l.], 2012. 13 p.
6. Structural-optimization-based design process for the body of a railway vehicle made from extruded aluminum panels / H. A. Lee [et al.] // *Proceedings Institution of Mechanical Engineers. Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*. 2015. Vol. 230. No. 4. P. 1283–1296.
7. De La Guerra E. Lightweight primary structures for High-speed railway carbodies // *360.revista de alta velocidad*. 2018. No. 5. P. 9–21.
8. Определение параметров изгибных колебаний кузовов вагонов и оценка ходовых динамических и эксплуатационных показателей электропоезда нового поколения / А. Н. Скачков [и др.] // *Вестник РГУПС*. 2018. № 4 (72). С. 78–87.
9. ГОСТ 34093–2017. Вагоны пассажирские локомотивной тяги. Требования к прочности и динамическим качествам: межгос. стандарт: введен в действие в качестве нац. стандарта Российской Федерации приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 13 июня 2017 г. № 537-ст: дата введения 2018-01-01. М.: Стандартинформ, 2017. 41 с.
10. ГОСТ 33796–2016. Моторвагонный подвижной состав. Требования к прочности и динамическим качествам: межгос. стандарт: введен в действие в качестве нац. стандарта Российской Федерации приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 4 июля 2016 г. № 800-ст: дата введения 2017-04-01. М.: Стандартинформ, 2016. 35 с.
11. Прагер В. Основы теории оптимального проектирования конструкций. М.: Мир, 1977. 109 с. (Механика. Новое в зарубежной науке; вып. 11).
12. Haryanto I., Raharjo F. Optimization of Bus Body Frame Structure for Weight Minimizing with Constraint of Natural Frequency using Adaptive Single-Objective Method // *International Journal of Sustainable Transportation Technology*. 2018. Vol. 1. No. 1. P. 9–14.
13. Car Body Optimization Considering Crashworthiness, NVH and Static Responses / P. Adduri [et al.] // *Proceedings 13th Int. LS-DYNA Users Conf. Dearborn, USA*, 2014. P. 1–8.
14. Булычев М. А., Лозбинов В. П. Совершенствование способов расчета и оптимизации несущих элементов кузовов вагонов // *Механика вагонов: сб. науч. тр. / Брянский гос. техн. ун-т. Брянск: БГТУ*, 1998. С. 36–47.
15. Тютюнников А. И. Структурно-параметрическая оптимизация несущих конструкций кузовов грузовых вагонов путем эволюционного моделирования: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07. Брянск: БГТУ, 2011. 20 с.
16. Гучинский Р. В., Петин С. В. Разработка узла конструкции судна по условию усталостной долговечности // *Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета*. 2012. № 4 (159). С. 177–186.
17. Гучинский Р. В. Расчет частоты собственных изгибных колебаний кузова вагона электропоезда с учетом податливости опор // *Вестник Уральского государственного университета путей сообщения*. 2019. № 2 (42). С. 4–11.
18. Analysis of modal frequency optimization of railway vehicle car body / W. Sun [et al.] // *Advances in Mechanical Engineering*. 2016. Vol. 8. No. 4. P. 1–12.
19. Гучинский Р. В., Петин С. В. Предварительный расчет частоты собственных изгибных колебаний кузовов вагонов электропоездов // *Вестник института проблем естественных монополий: Техника железных дорог*. 2019. № 2 (46). С. 50–57.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

ГУЧинский Руслан Валерьевич, канд. техн. наук, эксперт бюро кузовов, ООО «ТМХ Инжиниринг»; старший научный сотрудник, лаборатория прикладных исследований, ИПМаш РАН

Статья поступила в редакцию 24.03.2021 г., принята к публикации 11.05.2021 г.

Для цитирования: Гучинский Р. В. Оптимизация конструкции кузова вагона электропоезда по значению частоты собственных колебаний // *Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ)*. 2021. Т. 80. № 3. С. 152–159. DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-3-152-159>.

Optimization of an EMU train carbody by the value of the natural bending frequency

R. V. GUCHINSKY^{1,2}

¹Limited liability company “TMH Engineering” (TMH Engineering Ltd), St. Petersburg, 199178, Russia

²Institute of Problems of Mechanical Engineering of the Russian Academy of Sciences (IPME RAS), St. Petersburg, 197046, Russia

Abstract. Finding ways to optimize the body structure is an important point in the design of new electric train cars. Reducing the mass of the body leads to a lightening of the parts of the rolling stock associated with it, a reduction in energy consumption for operation and a decrease in wear in the

“wheel — rail” system. Reducing the weight of the body is possible by assigning optimal rigidity to its main load-bearing elements. Increasing the rigidity of the body with a constant mass is also an important task to obtain the standard dynamic properties of the car body.

The article presents method for optimizing the body structure based on calculating the value of its first frequency of natural bending vibrations. The calculation was carried out by the finite element method using a simplified beam-shell parametric model. Within the optimization calculations, 3125 working versions of sections of the main load-bearing structural elements with different rigidity were considered — bracing and cross-beams of the frame, inter-window racks and cross-beams of the roof. The sensitivity of the value of the natural vibration frequency to the change in the rigidity of the main bearing elements without taking into account the change in mass is analyzed. It was found that the rigidity of the frame bracing and cross beams has the greatest influence on the frequency value. It is shown that the ratio of the rigidity of the main bearing elements does not remain constant for optimal design options and depends on the design of the body, the target values of its mass and rigidity. When mass is limited, it is possible to choose designs that are characterized by the greatest overall body rigidity and are the most optimal in terms of manufacturability. By limiting the values of natural vibration frequency, it is possible to choose a body structure with the lowest metal mass. The presented approach allows making decisions on body modification based on the required parameters of mass and (or) the frequency of natural bending vibrations. This approach can be used in pre-design studies of the bodies of new passenger rolling stock.

Keywords: electric train; body; design optimization; body rigidity; finite element method; modal analysis; natural frequency; car dynamics

DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-3-152-159>

REFERENCES

1. Cho J. G., Koo J. S., Jung H. S. *A lightweight design approach for an EMU carbody using a material selection method and size optimization*. Journal of Mechanical Science and Technology, 2016, Vol. 30, no. 2, pp. 673–681.
2. Singh D. *Comparison of carbon steel and composite side wall of light rail vehicle by finite element analysis*. Thesis of Master of Science in Mechanical Engineering. Texas, Arlington, 2017, 59 p.
3. Seo S. I., Kim J. S., Cho S. H. *Development of a hybrid composite bodyshell for tilting trains*. Proceedings Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit, 2008, Vol. 222, no. 1, pp. 1–13.
4. Wennberg D., Stichel S. *Multi-functional design of a composite high-speed train body structure*. Struct Multidisc Optim, 2013, Vol. 50, no. 3, pp. 475–488.
5. Koenig J., Friedrich H. E. *Integral consideration of the lightweight design for railway vehicles*. Rep. German Aerospace Center — Institute of Vehicle Concepts. [S. l.], 2012, 13 p.
6. Lee H. A., Jung S. B., Jang H. H., Shin D. H. *Structural-optimization-based design process for the body of a railway vehicle made from extruded aluminum panels*. Proceedings Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit, 2015, Vol. 230, no. 4, pp. 1283–1296.
7. De La Guerra E. *Lightweight primary structures for High-speed railway car bodies*. 360.revista de alta velocidad, 2018, no. 5, pp. 9–21.
8. Skachkov A. N., Samoshkin S. L., Korshunov S. D., Lomakov P. S., Zhukov A. S. *Opredelenie parametrov izgibnykh kolebaniy kuzovov vagonov i otsenka khodovykh dinamicheskikh i ekspluatatsionnykh pokazateley elektropoezda novogo pokoleniya* [Determination of the parameters of bending vibrations of car bodies and assessment of the running dynamic and operational indicators of a new generation electric train]. Vestnik RGUPS, 2018, no. 4, pp. 78–87.
9. GOST 34093–2017. *Passenger cars on locomotive traction. Requirements for structural strength and dynamic qualities*. Interstate standard, put into effect as nat. standard of the Russian Federation by order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated June 13, 2017 No. 537-st. Moscow, Standartinform Publ., 2017, 41 p. (in Russ.).
10. GOST 33796–2016. *Railway multiple units. Durability and dynamics requirements*. Interstate standard, put into effect as nat. standard of the Russian Federation by order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated July 4, 2016 No. 800-st. Moscow, Standartinform Publ., 2016, 35 p. (in Russ.).
11. Prager V. *Osnovy teorii optimal'nogo proektirovaniya konstruktivnykh* [Fundamentals of the theory of optimal design of structures]. Mekhanika. Novoe v zarubezhnoy nauke; vyp. 11 [Mechanics. New in foreign science; no. 11]. Moscow, Mir Publ., 1977, 109 p.
12. Haryanto I., Raharjo F. *Optimization of Bus Body Frame Structure for Weight Minimizing with Constraint of Natural Frequency using Adaptive Single-Objective Method*. International Journal of Sustainable Transportation Technology, 2018, Vol. 1, no. 1, pp. 9–14.
13. Adduri P., Leiva J., Quinn G., Watson B. *Car Body Optimization Considering Crashworthiness, NVH and Static Responses*. Proceedings of 13th Int. LS-DYNA Users Conf. Dearborn, USA, 2014, pp. 1–8.
14. Bulychiev M. A., Lozbinov V. P. *Sovershenstvovanie sposobov rascheta i optimizatsii nesushchikh elementov kuzovov vagonov* [Improvement of methods of calculation and optimization of load-bearing elements of car bodies]. Mekhanika vagonov. Sb. nauch. tr. [Mechanics of cars. Coll. of scientific papers]. Bryanskiy gos. tekhn. un-t [Bryansk State Technical University], Bryansk, BGUTU Publ., 1998, pp. 36–47.
15. Tyutyunnikov A. I. *Strukturno-parametricheskaya optimizatsiya nesushchikh konstruktivnykh kuzovov gruzovykh vagonov putem evolyutsionnogo modelirovaniya*. Avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk [Structural-parametric optimization of load-bearing structures of freight car bodies by evolutionary modeling. Cand. tech. sci. diss. synopsis]. Bryansk, BGUTU Publ., 2011, 20 p.
16. Guchinsky R. V., Petinov S. V. *Development of the vessel structure assembly according to the fatigue life condition*. Scientific and technical bulletins of the St. Petersburg State Polytechnic University, 2012, no. 4 (159), pp. 177–186.
17. Guchinsky R. V. *Calculation of the frequency of natural bending vibrations of the body of an electric train car taking into account the flexibility of the supports*. Herald of the Ural State University of Railway Transport, 2019, no. 2 (42), pp. 4–11.
18. Sun W., Zhou J., Gong D., You T. *Analysis of modal frequency optimization of railway vehicle car body*. Advances in Mechanical Engineering, 2016, Vol. 8, no. 4, pp. 1–12.
19. Guchinsky R. V., Petinov S. V. *Preliminary calculation of the frequency of natural bending vibrations of bodies of electric train cars*. Bulletin of the Institute of Natural Monopolies Problems: Railway Engineering, 2019, no. 2 (46), pp. 50–57.

ABOUT THE AUTHOR

Ruslan V. GUCHINSKY,

Cand. Sci. (Eng.), Expert of the Carbody Bureau, TMH Engineering Ltd; Senior Researcher, Applied Research Laboratory, IPME RAS

Received 24.03.2021

Accepted 11.05.2021

■ E-mail: r.guchinski@tmh-eng.ru (R. V. Guchinsky)

For citation: Guchinsky R. V. Optimization of an EMU train carbody by the value of the natural bending frequency // VNIIZHT Scientific Journal. 2021. 80 (3): 152–159 (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-3-152-159>.

Система стабилизации платформы железнодорожного грузоподъемного крана

Д. А. ПОТАХОВ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I» (ФГБОУ ВО «ПГУПС»), г. Санкт-Петербург, 190031, Россия

Аннотация. При эксплуатации железнодорожного крана в кривых участках пути возможны сход колесных пар ходовых тележек крана с рельсовой колеи при его смещении в процессе вывешивания на выносных опорах, непопадание колесной пары ходовой тележки на рельсовую колею после выполнения работ и снятия крана с выносных опор, что значительно сказывается на выполнении погрузо-разгрузочных работ. Одной из причин возникновения подобных опасных ситуаций является не строго горизонтальное положение неповоротной платформы железнодорожного крана.

Железнодорожные грузоподъемные краны входят в состав восстановительных поездов, предназначенных для ликвидации последствий сходов с рельсов подвижного состава. Приоритетной задачей для восстановительных поездов является сокращение времени ликвидации последствий транспортных происшествий, которого можно добиться за счет применения новых или усовершенствованных приспособлений или методов.

В статье описывается система автоматической стабилизации (горизонтирования) платформы грузоподъемного крана на железнодорожном ходу (на примере крана типа ЕДК 500/1) при его движении в кривых участках пути (рассматривается движение железнодорожного крана на относительно небольших скоростях (до 50 км/ч)).

С целью исследования модернизированной технической системы (грузоподъемный кран, оснащенный системой автоматической стабилизации платформы) проводится ее математическое имитационное моделирование. На начальном этапе в системе автоматизированного проектирования SolidWorks создается твердотельная цифровая модель железнодорожного крана в сочетании с участком железнодорожного пути; разработанная твердотельная модель транслируется в среду SimMechanics MATLAB. Далее с целью повышения адекватности моделирования разработанная динамическая модель дорабатывается при помощи интеграции библиотек программы MATLAB (SimMechanics, SimHydraulics, Fuzzy Logic Toolbox и др.) для учета взаимодействия элементов различной физической природы. Приводятся результаты моделирования модернизированной технической системы, которые подтверждают целесообразность использования системы стабилизации на железнодорожных грузоподъемных кранах при прохождении кривых участков пути.

Ключевые слова: железнодорожный подъемный кран; система стабилизации; динамическое моделирование; SimMechanics; SimHydraulics; Fuzzy Logic Toolbox

Введение. Согласно данным ОАО «РЖД» (распоряжение ОАО «РЖД» от 24.12.2014 г. № 3107р «Об утверждении сводного тематического плана для

рационализаторов ОАО «РЖД»)), при выполнении работ грузоподъемными кранами в кривых участках пути существует опасность схода колесных пар ходовых тележек крана с рельсовой колеи при его смещении в процессе вывешивания на выносных опорах, а также непопадания колесной пары ходовой тележки на рельсовую колею после выполнения работ и снятия крана с выносных опор. Эти технические недостатки осложняют выполнение погрузо-разгрузочных работ в кривых участках пути, а порой делают их невозможными. Главной причиной является не строго горизонтальное положение неповоротной платформы железнодорожного крана при работе в кривых, при котором поверхности выносных опор крана находятся на разных уровнях по высоте.

Правилами по охране труда для работников восстановительных поездов ОАО «РЖД» [1] работа железнодорожного крана без выносных опор запрещается. В некоторых случаях это ведет к снижению производительности, качества путевых работ и ограничению использования железнодорожных кранов. Однако потребность выполнения механизированных погрузо-разгрузочных работ в кривых участках пути объективно существует, особенно в случаях схода подвижного состава с рельсов (аварийно-восстановительные работы), выполнения путевых работ в кривых, а также в случае производства работ в ограниченном пространстве (например, в туннелях). Обеспечить работоспособность железнодорожного крана при максимальном значении возвышения наружного рельса в кривой в условиях ограниченного пространства возможно за счет контроля горизонтального положения платформы.

Существующий парк грузоподъемных кранов (как и других технических средств) восстановительных поездов железных дорог Российской Федерации обновляется медленно. Решением проблемы может стать модернизация технических средств восстановительных поездов и повышение надежности работы отдельных узлов и агрегатов за счет применения современных методов, материалов и устройств.

Описание предложенного технического решения. Анализ мирового опыта организации современного пассажирского движения показывает, что эффективным

решением, увеличивающим скорость движения при одновременном обеспечении высоких показателей комфорта, является использование подвижного состава, оборудованного системой принудительного наклона кузова в кривых [2, 3, 4]. Положительный эффект достигается за счет наклона кузова внутрь кривой. Успешный опыт применения данной системы обосновывает актуальность создания аналогичных систем и для другого типа подвижного состава.

В настоящей статье рассмотрен вопрос оснащения дизель-электрического железнодорожного крана (на примере железнодорожного крана ЕДК 500/1) системой автоматической стабилизации (горизонтирования) платформы при движении на относительно небольших скоростях (до 50 км/ч), включающей в себя: гидросистему с четырьмя гидроцилиндрами двойного действия, гидрораспределителями, насосами, фильтрами, предохранительными клапанами, гидробаком и дросселями (рис. 1). Данная система имеет датчики давления, размещенные в полостях гидроцилиндров, и блок управления.

Гидроцилиндры размещаются на каждой ходовой тележке с обеих сторон и крепятся к крановой неповоротной платформе. Гидравлическая система крана подключена к следящей системе управления, работа которой основана на алгоритмах нечеткой логики. Наклон платформы и контроль устойчивости железнодорожного крана осуществляется по выходным данным «Программы контроля и управления грузовой и собственной устойчивостью транспортного средства» [5].

Создание и настройка среды имитационного моделирования. С целью исследования модернизированной технической системы железнодорожного крана ЕДК 500/1 с системой стабилизации платформы было выполнено ее математическое моделирование.

Ввиду того, что виртуальная реальность многих CAD-моделей системы автоматизированного проектирования (САПР) представляет собой цифровую среду, где приводы технического объекта моделируются без полного учета их природы, характеристики такой имитационной системы в какой-то степени будут отличаться от реальной технической системы. Поэтому с целью повышения адекватности моделирования характеристики виртуальной реальности должны быть скорректированы с учетом взаимодействия элементов различной физической природы. Интеграция библиотек программы MATLAB (SimMechanics, SimHydraulics и др.) в среде Simulink в сочетании с возможностью программного управления позволяют это осуществить [6, 7].

Используемое программное обеспечение MATLAB позволяет проводить исследования моделей САПР, разработанных в CAD-системах (SolidWorks, Autodesk Inventor, Pro/ENGINEER) [8]. Для этого необходимо транслировать CAD-модель в SimMechanics при по-

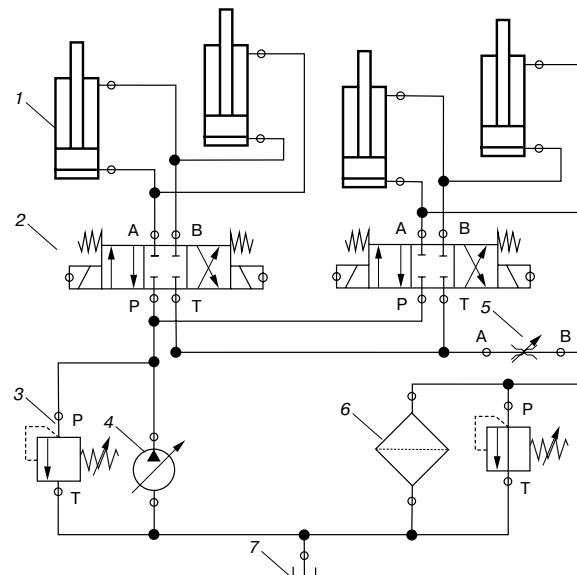


Рис. 1. Принципиальная гидросхема системы стабилизации платформы железнодорожного крана:
1 — гидроцилиндр; 2 — гидрораспределитель; 3 — предохранительный клапан; 4 — насос; 5 — дроссель; 6 — фильтр; 7 — гидробак

Fig. 1. Basic hydraulic diagram of the platform stabilization system of railway crane:
1 — hydraulic cylinder; 2 — hydraulic valve; 3 — safety valve; 4 — pump; 5 — throttle; 6 — filter; 7 — hydraulic reservoir

мощи специализированного CAD-транслятора [8]. В этом случае SimMechanics автоматически преобразует твердотельную трехмерную модель с установленными связями между элементами модели в эквивалентную цифровую модель, сохраняя физическую структуру механизма, геометрические и кинематические отношения его компонентов. Использование данного транслятора значительно облегчает и повышает качество трехмерного моделирования (особенно при исследовании динамического нагружения), так как в CAD-системах значительно легче разрабатывать 3D-модели, а при помощи библиотек Simulink программы MATLAB создавать адекватные приводы механизмов.

Исследуемую модель можно условно разбить на следующие взаимосвязанные подсистемы: механическая часть (железнодорожный кран, железнодорожный путь), гидравлическая часть (механизм наклона платформы), привод механизма передвижения, система программного управления.

На первом этапе в CAD-системе SolidWorks создается твердотельная цифровая модель на основе железнодорожного крана ЕДК 500/1 в сочетании с участком железнодорожного пути [9, 10]. Механизмы в модели условно учтены сосредоточенными массами, элементы металлоконструкции, не оказывающие значимое влияние, исключены. Адекватность цифровой CAD-модели своему прототипу подтверждается удовлетворительной сходимостью значений реакций выносных опор модели с реакциями рассматриваемого крана, полученных

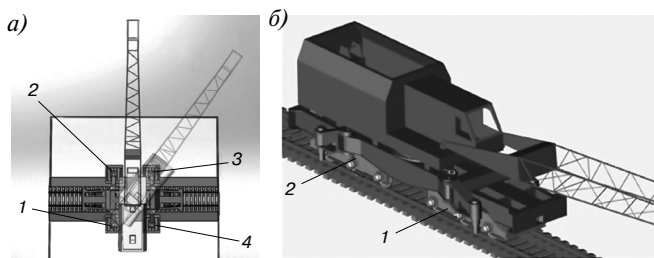


Рис. 2. Расчетные схемы крана:

a — стрела под углом 90° от оси железнодорожного пути;
1–4 — выносные опоры крана; *б* — стрела в направлении движения крана; 1–2 — ходовые тележки крана
Fig. 2. Crane design schemes:
a — arm at an angle of 90° from the axis of the railway track;
1–4 — crane outriggers; *б* — arm in the direction of crane motion:
1–2 — crane bogies

предприятием-изготовителем при приемо-сдаточных испытаниях (паспорт крана; рис. 2, *a, б*; табл. 1, 2).

На основе данной твердотельной модели при использовании специализированного CAD-транслятора создается модель железнодорожного крана ЕДК 500/1 в среде SimMechanics (рис. 2, *б*). Модель SimMechanics представляет схему, состоящую из соединенных между собой блоков, которые определяют физические свойства элементов (масса, момент инерции), координаты характерных точек тел, возможное движение (степени свободы) и связи одной части механизма

Таблица 1

Реакции выносных опор крана, кН
(расчетная схема рис. 2, *a*, стрела под углом 90° от оси железнодорожного пути)

Table 1

Reactions of crane outriggers, kN
(design scheme fig. 2, *a*, arm at an angle of 90° from the axis of the railway track)

Опоры	Вылет 10,0 м, груз 20 т		Вылет 17,0 м, груз 10 т	
	Паспорт крана	Цифровая модель	Паспорт крана	Цифровая модель
Опоры 2, 3	515	511	490	481
Опоры 1, 4	170	164	145	158

Таблица 2

Реакции колес крана, кН
(расчетная схема рис. 2, *б*, стрела в направлении движения крана)

Table 2

Crane wheel reactions, kN
(design diagram fig. 2, *б*, arm in the direction of crane motion)

Колеса	Вылет 21,0 м, груз 5 т		Вылет 17,0 м, груз 10 т	
	Паспорт крана	Цифровая модель	Паспорт крана	Цифровая модель
Тележка 1	137	142	156	153
Тележка 2	68	67	59	60

относительно другой [8]. При необходимости происходит «доработка» модели: удаление или изменение связей между блоками.

В среде Simulink при помощи библиотеки SimHydraulics создается принципиальная модель гидропривода предложенной системы стабилизации; в полостях гидроцилиндров устанавливаются датчики давления p_1, p_2, p_3, p_4 (рис. 3) [11, 12]. Разработанная Simulink-модель гидропривода учитывает сжимаемость жидкости, трение между подвижными частями в гидроцилиндре, инерцию жидкости и потери в трубопроводе.

Принудительный наклон платформы железнодорожного крана осуществляется на основе определения текущего положения центра масс (ПЦМ) [5]. Собственная и грузовая устойчивость крана гарантируется нахождением проекции ПЦМ на плоскость опирания в пределах определенной зоны — ядра опирания. Опирание происходит в точках, соответствующих местоположению опорных устройств (гидроцилиндров).

Система работает следующим образом:

- информационный поток от датчиков давления рабочей жидкости в полостях гидроцилиндров поступает в блок управления;
- данные датчиков давления заносятся в соответствующую ячейку квадратной матрицы A (рис. 4);
- считая значения давления материальными точками, где сосредоточена определенная часть массы грузоподъемного средства, определяется текущее ПЦМ согласно формуле [13, 14]:

$$x_{\text{ЦМ}} = \left(\sum_{i=1}^n m_i x_i \right) \left(\sum_{i=1}^n m_i \right)^{-1};$$

$$y_{\text{ЦМ}} = \left(\sum_{i=1}^n m_i y_i \right) \left(\sum_{i=1}^n m_i \right)^{-1},$$

где: $x_{\text{ЦМ}}, y_{\text{ЦМ}}$ — координаты центра масс системы; m_i — массы материальных точек, входящих в систему, кг; x_i, y_i — координаты материальных точек системы; n — количество материальных точек.

В представленной формуле вместо масс m_i подставляются значения давления рабочей жидкости в опорных гидроцилиндрах P_i (Па). При помощи блоков библиотек Simulink эта формула воспроизводится в той же области, что и модель железнодорожного крана для обработки данных в режиме реального времени.

Система управления непрерывно отслеживает проекцию ПЦМ грузоподъемной машины на плоскость опирания в пределах опорного контура и осуществляет приложение дополнительных нагрузок со стороны опорных гидроцилиндров, приводящих платформу крана в горизонтальное положение.

Изменения ПЦМ зависит от скорости движения железнодорожного крана v и параметров кривой (ра-

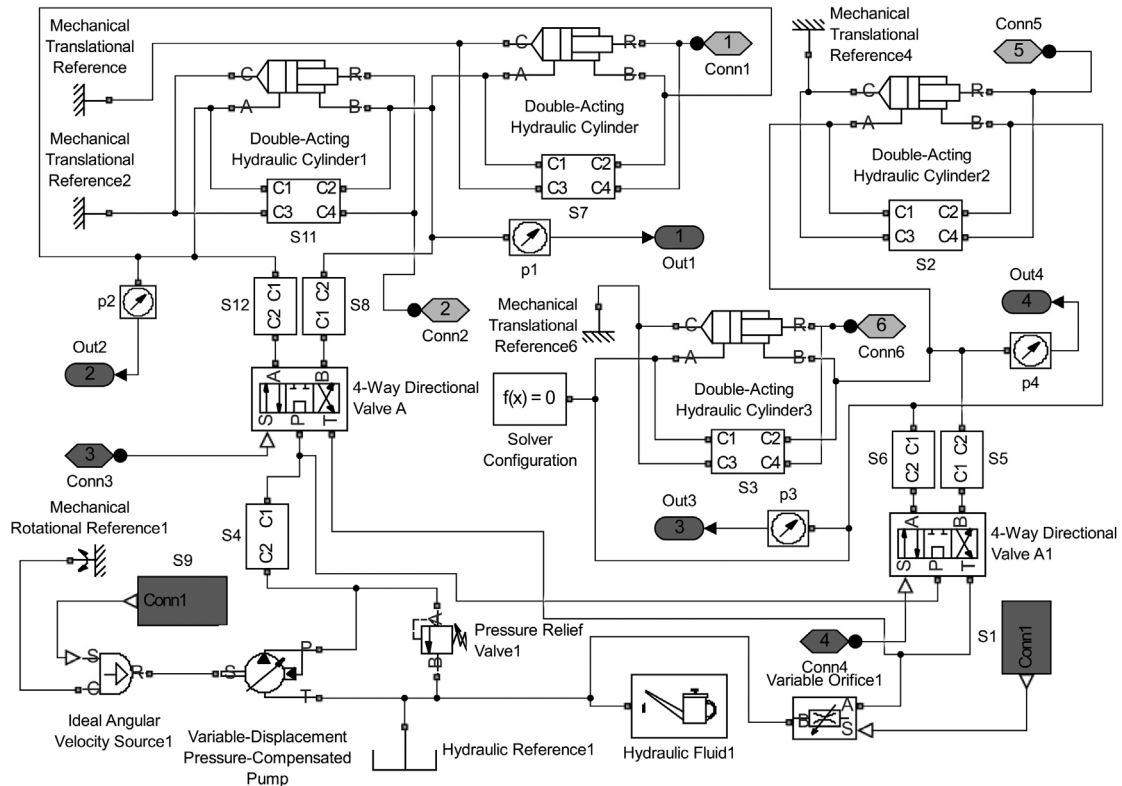


Рис. 3. Модель гидропривода системы стабилизации платформы железнодорожного крана
Fig. 3. Model of the hydraulic drive of the railway crane platform stabilization system

диус кривой r , величина возвышения наружного рельса h железнодорожного пути). Управляющее воздействие зависит от следующих параметров гидросистемы: угловой скорости вала гидронасоса W , положения запорно-регулирующего элемента (золотника) гидрораспределителя z , площади проходного сечения дросселя S . Блок управления, основанный на алгоритмах нечеткой логики и теории нечетких множеств, осуществляет контроль и управление режимами работы насоса, гидрораспределителей, дросселей и скоростью движения крана и таким образом осуществляет приложение дополнительных нагрузок со стороны опорных гидроцилиндров, возвращающих ПЦМ платформы крана в горизонтальное положение. Применение нечеткой логики позволяет оптимизировать систему «изменение ПЦМ железнодорожного крана—управляющее воздействие».

Для реализации процесса нечеткого моделирования в программе MATLAB применяется специальный пакет Fuzzy Logic Toolbox [15, 16]. С целью создания системы нечеткого вывода в интерактивном режиме с помощью графических средств настраиваются «Редактор систем нечеткого вывода FIS (FIS Editor)», «Редактор функций принадлежности (Membership Function Editor)», «Редактор правил системы нечеткого вывода (Rule Editor)» пакета Fuzzy Logic Toolbox, в которых задаются и редактируются: свойства входных

и выходных переменных; функции принадлежности отдельных термов системы нечеткого вывода; отдельные правила системы нечеткого вывода [15, 16].

Далее моделируется привод механизма передвижения железнодорожного крана, который состоит из редуктора, inductionной муфты и электродвигателя.

На последнем этапе происходит объединение всех созданных подсистем железнодорожного крана, имеющих входы и выходы для взаимодействия с другими подсистемами в общей Simulink-модели,

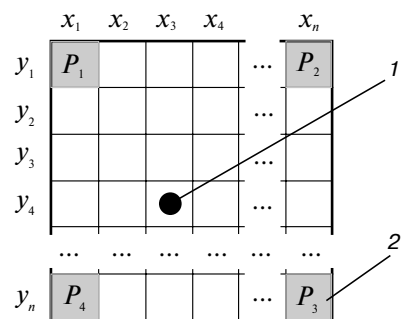


Рис. 4. Матрица значений проекции центра масс:

1 — центр масс; 2 — положение опоры

Fig. 4. Matrix of the mass projection center:

1 — center of mass; 2 — support position; x_1-x_n, y_1-y_n — coordinates of material points of the system; P_1-P_n — pressure values in hydraulic cylinders

при помощи блоков библиотек SimMechanics, SimHydraulics, Fuzzy Logic Toolbox и других библиотек MATLAB. Это осуществляется посредством сенсорных блоков, блоков возбудителей, силовых упругих элементов, блоков конвертеров, специальных блоков и др. Созданная структурная интерактивная цифровая модель железнодорожного крана приведена на рис. 5. Субсистемы и блоки 6–11 представляют собой механическую часть железнодорожного крана, а блок 1 — моделирует передачу усилия из SimHydraulics в SimMechanics (рис. 5). Для удобства анализа в модель железнодорожного крана были добавлены подсистемы замера давления, расхода, сил взаимодействия, перемещений контрольных точек крана и других параметров системы; с целью обеспечения читаемости блок-схемы применялись блоки From и Goto, позволяющие создавать виртуальные связи между подсистемами без проведения видимых линий связи.

Программа MATLAB на основании составленных блок-схем синтезирует соответствующие дифференциальные уравнения и осуществляет их численное решение [6, 7].

Таким образом, получена единая имитационная среда моделирования объекта исследования, учитывающая взаимодействие элементов различной физической природы с учетом интегрированных алгоритмов управления.

Математическое моделирование модернизированной технической системы. С целью исследования

модернизированной технической системы осуществляется имитационное моделирование. В расчетах принято, что железнодорожный кран равномерно движется со скоростью, равной 20 км/ч: по прямому участку пути (t_0-t_1), по переходному участку пути (t_1-t_2), в кривой (t_2-t_3), далее опять по переходному участку пути (t_3-t_4), по прямому участку пути (t_4-t_5) (рис. 6). Принято, что железнодорожный путь не имеет микронеровностей, а максимальное значение возвышения наружного рельса в кривой $h = 150$ мм. Радиус кривой $r = 300$ м. Симуляция сопровождается трехмерной визуализацией (анимацией) движений моделируемой технической системы в виртуальной реальности, которая обеспечивает наибольшую наглядность в представлении ее работы (рис. 6).

Для начала движения железнодорожного крана подается сигнал из системы управления на привод механизма передвижения; кран движется со скоростью 20 км/ч. При движении железнодорожного крана по прямому участку пути золотник гидрораспределителя зафиксирован в нейтральном положении — вход-выход рабочей жидкости в полости гидроцилиндров заблокирован, давление в левых и правых гидроцилиндрах по ходу движения крана одинаковое; происходит удерживание платформы в горизонтальном положении.

При прохождении переходных и кривых участков пути система управления определяет ПЦМ по показаниям датчиков давления в зависимости от скорости

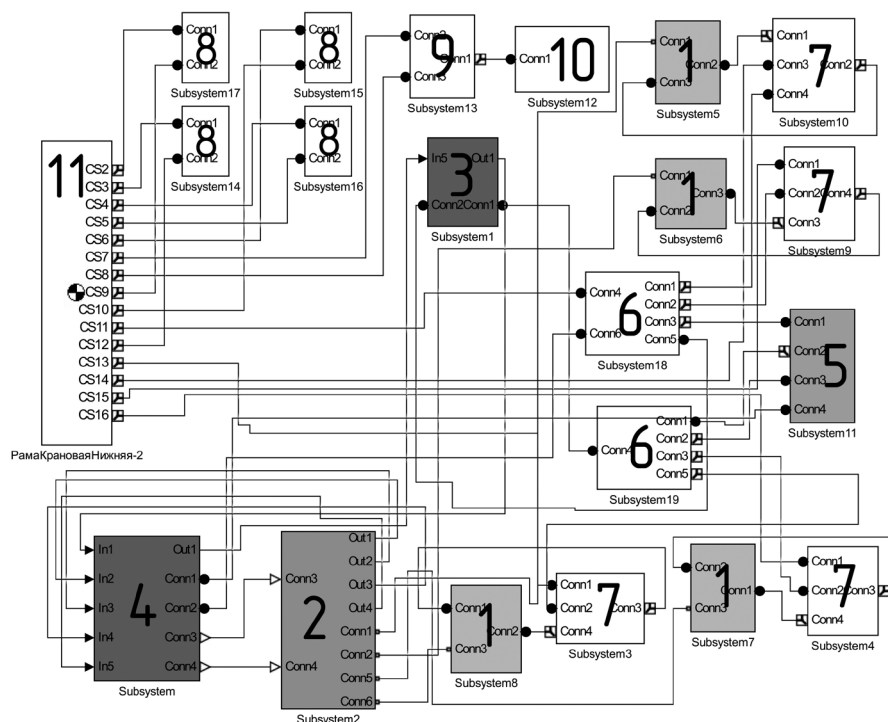


Рис. 5. Модель железнодорожного крана в системе Simulink.

Субсистемы и блоки:

- 1 — передача усилия из SimHydraulics в SimMechanics; 2 — гидропривод механизма наклона платформы;
 - 3 — привод механизма передвижения;
 - 4 — программное управление;
 - 5 — рельсошпальная решетка;
 - 6 — ходовые тележки; 7 — гидроцилиндры механизма наклона платформы;
 - 8 — выносные опоры; 9 — поворотная платформа; 10 — ферменная стрела;
 - 11 — рама крановая
- Fig. 5. Model of a railway crane in the Simulink system.
- Subsystems and blocks:
- 1 — transfer of effort from SimHydraulics to SimMechanics; 2 — hydraulic drive of the platform tilt mechanism; 3 — drive of the motion mechanism; 4 — software control; 5 — rail and sleeper grid;
 - 6 — bogies; 7 — hydraulic cylinders of the platform tilt mechanism; 8 — outriggers;
 - 9 — rotating platform; 10 — truss arm;
 - 11 — crane frame

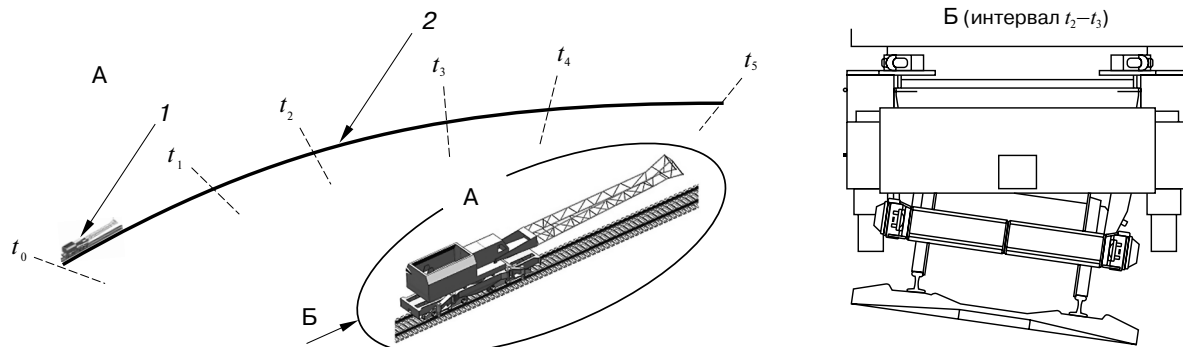


Рис. 6. Расчетная модель:
1 — железнодорожный кран; 2 — железнодорожный путь; t_0-t_5 — время.

Примечание. Балластная призма и насыпь скрыты

Fig. 6. Design model:
1 — railway crane; 2 — railway track; t_0-t_5 — time.
Note. Ballast prism and embankment are hidden

движения и скорости изменения возвышения наружного рельса. Далее в зависимости от скорости изменения ПЦМ система управления осуществляет регулирование на основе алгоритмов нечеткой логики: W — изменяет объемный расход насоса; z — устанавливает направление движения усилия гидроцилиндров и регулирует расход рабочей жидкости; S — обеспечивает необходимый режим скорости изменения положения поршня и штока относительно цилиндра, создавая сопротивление прохождению потока рабочей жидкости (при полном открытии дросселя скорость поршня максимальная; при полном закрытии дросселя вся подача насоса направляется через клапан на слив в бак, скорость поршня равна нулю). Таким образом, осуществляется выравнивание платформы посредством оптимального усилия воздействия гидроцилиндров в соответствующем направлении для обеспечения необходимого наклона платформы (со стороны возвышения рельса — втягивание штока, с другой стороны — выдвигание штока гидроцилиндра). При этом в одном цилиндре заполняется поршневая полость, в другом — штоковая. После прохождения переходной кривой система переводит гидрораспределители в нейтральное положение, тем самым запирая гидросистему механизма наклона платформы; кран движется в кривой с удерживанием платформы в горизонтальном положении. Предложенная система стабилизации позволила достигнуть угла наклона платформы относительно ходовой тележки до 6° в криволинейных участках пути (рис. 6, 7); при этом максимальный обеспечиваемый системой угол наклона — 8° .

При выходе из кривой подаются сигналы управления гидрораспределителям и система обрабатывает в обратном порядке. Силовой гидроцилиндр выполняет роль гасителя вертикальных колебаний платформы, обеспечивая плавность хода.

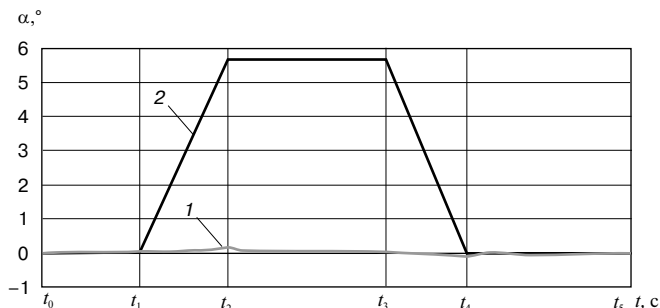


Рис. 7. Изменение угла наклона платформы крана α относительно железнодорожного пути в поперечном направлении:

1 — кран с системой стабилизации;
2 — кран без системы стабилизации

Fig. 7. Changing the angle of inclination of the platform α of the crane relative to the railway track in the transverse direction:
1 — crane with a stabilization system; 2 — crane without stabilization system

Предложенная система, осуществляющая выравнивание платформы, может работать как в следящем режиме в процессе всего движения и работы железнодорожного крана, так и в периодическом режиме. Выбор режима работы возлагается на обслуживающий персонал грузоподъемного крана.

К достоинствам разработанной системы относятся: отсутствие необходимости учета конструктивных устройств, кинематических и жесткостных параметров технического средства; отсутствие требования заранее известных данных о кривизне кривой, координатах начала и конца криволинейных участков пути при движении крана, а применение нечеткой логики позволяет оптимизировать систему «изменение ПЦМ железнодорожного крана — управляющее воздействие».

Выводы. В среде Simulink MATLAB при помощи библиотек SimMechanics, SimHydraulics, Fuzzy Logic Toolbox был проведен анализ предложенного

технического решения: системы стабилизации платформы железнодорожного крана при движении в кривых участках железнодорожного пути, основанной на алгоритмах нечеткой логики.

Полученные результаты математического моделирования модернизированной технической системы позволили исследовать предложенную систему с целью корректировки, настройки и оптимизации ее параметров, а также оценки влияния ее работы на характеристики подвижного состава.

Разработанная система стабилизации платформы железнодорожного грузоподъемного крана позволяет:

- четко позиционировать платформу в горизонтальном положении в кривых участках пути, что обеспечивает снижение опасности, а в некоторых случаях исключает сход колесных пар крана с рельсовой колеи при его смещении в процессе вывешивания на выносных опорах и непопадание колесной пары ходовой тележки на рельсовую колею после выполнения работ и снятия крана с выносных опор;

- выполнять при необходимости погрузо-разгрузочные работы без выносных опор в кривых участках пути, в том числе в условиях ограниченного пространства (например, в тоннеле).

Нужно отметить, что в данном исследовании рассматривается движение железнодорожного крана на относительно небольших скоростях (до 50 км/ч) и, значит, относительно небольших значениях центростремительного ускорения при движении в кривых, т. е. при движении железнодорожного крана непосредственно в месте выполнения погрузо-разгрузочных работ. Следовательно, для скоростного и высокоскоростного пассажирского и грузового подвижного состава (со скоростями свыше 140 и 250 км/ч) применение аналогичной системы с некоторыми доработками требует дополнительных исследований, особенно в области влияния на здоровье и комфорт пассажиров.

Алгоритм интеграции пакета Fuzzy Logic Toolbox, библиотек SimMechanics и SimHydraulics пакета Simulink на базе программы MATLAB и программного комплекса САПР SolidWorks, позволяющий получить единую среду моделирования, применим к широкому диапазону сложных технических систем. При этом исследуемая техническая система представляет собой совокупность взаимосвязанных подсистем, каждая из которых рассматривается с учетом влияния одной подсистемы на другую. Такой подход значительно повышает качество проектирования, позволяя исследовать и анализировать динамику работы разрабатываемых систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила по охране труда для работников восстановительных поездов ОАО «РЖД»: ПОТ РЖД-4100612-ЦРБ-090-2016 [Электронный ресурс]: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 9 ноября 2016 г. № 2247р. URL: <https://legalacts.ru/doc/rasporjazhenie-oao-rzhd-ot-09112016-n-2247r-ob-utverzhenii> (дата обращения: 20.03.2021 г.).
2. Исследование уровня комфорта пассажиров в поездах с принудительным наклоном кузова в кривых методами математического моделирования / Д. Я. Антипин [и др.] // Транспорт Урала. 2017. № 3 (54). С. 3–8.
3. Persson R. Tilting trains. Description and analysis of the present situation. Report / KTH Railway Vehicles. Stockholm, 2007. 80 p.
4. Liu - Henke X., Luckel J., Jaker K-P. An active suspension/tilt system for a mechatronic railway carriage // Control Engineering Practice. 2002. Vol. 10. Issue 9. P. 991–998.
5. Программа контроля и управления грузовой и собственной устойчивостью транспортного средства: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2018616841 / Я. С. Ватулин [и др.]. № 2018614084; дата поступления 25 апреля 2018 г.; зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 7 июня 2018 г.
6. Xue D., Chen Y. System Simulation Techniques with MATLAB and Simulink. John Wiley & Sons, Inc., 2013. 488 p.
7. Russell K., Shen Q., Sodhi R. S. Kinematics and Dynamics of Mechanical Systems: Implementation in MATLAB and SimMechanics. Boca Raton, FL: CRC Press, Inc., 2016. 443 p.
8. SimMechanics: User's Guide: Version 2.7 / MathWorks, Inc. Natick, MA, 2007. 840 p.
9. Алямовский А. А. SolidWorks Simulation. Инженерный анализ для профессионалов: задачи, методы, рекомендации. М.: ДМК Пресс, 2015. 562 с.
10. Kurowski P. Engineering Analysis with SOLIDWORKS Simulation 2017. SDC Publications (USA), 2017. 600 p.
11. SimHydraulics: User's Guide: Version 1.16 / MathWorks, Inc. Natick, MA, 2015. 688 p.
12. Василенко В. А. Гидравлическое оборудование мобильных машин: справочник. М.: Машиностроение, 1983. 301 с.
13. Пискунов Н. С. Дифференциальное и интегральное исчисления для втузов: учеб. пособие для втузов. В 2-х т. Т. 1. 13-е изд. М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1985. 432 с.
14. Ватулин Я. С. Автоматизированный комплекс управления устойчивостью мобильных грузоподъемных средств // Известия Тульского государственного университета. Серия: Подъемно-транспортные машины / под ред. П. А. Сорокина. Тула: Изд-во ТулГУ, 2001. С. 146–152.
15. Леоненков А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 736 с.
16. Siddique N. Computational Intelligence: Synergies of Fuzzy Logic, Neural Networks and Evolutionary Computing. Wiley, Inc., 2013. 517 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

ПОТАХОВ Денис Александрович, аспирант, кафедра «Подъемно-транспортные, путевые и строительные машины», ФГБОУ ВО «ПГУПС»

Статья поступила в редакцию 28.03.2021 г., принята к публикации 29.04.2021 г.

Для цитирования: Потахов Д. А. Система стабилизации платформы железнодорожного грузоподъемного крана // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2021. Т. 80. № 3. С. 160–167. DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-3-160-167>.

Railway crane platform stabilization system

D. A. POTAKHOV

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "St. Petersburg State University of Railways of Emperor Alexander I" (FGBOU VO "PGUPS"), St. Petersburg, 190031, Russia

Abstract. When operating a railway crane in curved sections of the track, derailment of wheelsets of the crane bogies from the rail track when it is displaced during hanging on the outriggers, wheelset of the bogie missing the rail track after the work has been completed or the crane has been down from the outriggers, which significantly affects performance of loading and unloading operations. One of the reasons for the occurrence of such dangerous situations is the not strictly horizontal position of the non-rotating platform of the railway crane.

Railway cranes are part of recovery trains designed to eliminate the consequences of rolling stock derailments. A priority for recovery trains is to reduce the time it takes to eliminate the consequences of traffic accidents, which can be achieved through the use of new or improved devices or methods.

The article describes a system of automatic stabilization (leveling) of the platform of a railway crane (for example, EDK 500/1 crane type) when it moves in curved sections of the track (the motion of a railway crane at relatively low speeds (up to 50 km/h) is considered).

In order to study the modernized technical system (a crane equipped with an automatic platform stabilization system), its mathematical simulation is carried out. At the initial stage, a solid-state digital model of a railway crane in combination with a section of a railway track is created in the SolidWorks computer-aided design system; developed solid model is translated into the SimMechanics MATLAB environment. Further, in order to improve the adequacy of modeling, the developed dynamic model is being finalized by integrating MATLAB program libraries (SimMechanics, SimHydraulics, Fuzzy Logic Toolbox, etc.) to take into account the interaction of elements of different physical nature. Results of modeling modernized technical system are presented, which confirm the advisability of using the stabilization system on railway cranes when passing curved track sections.

Keywords: railway crane; stabilization system; dynamic modeling; SimMechanics; SimHydraulics; Fuzzy Logic Toolbox

DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-3-160-167>

REFERENCES

1. *Occupational Safety Rules for employees of recovery trains of the JSC "Russian Railways": POT RZD-4100612-TsRB-090-2016*. Approved by order of the JSC "Russian Railways" dated November 9, 2016 No. 2247r. URL: <https://legalacts.ru/doc/rasporjazhenie-oao-rzhd-ot-09112016-n-2247r-ob-utverzhdenii> (retrieved on 20.03.2021) (in Russ.).
2. Antipin D. Ya., Vaulin P. V., Lapshin V. F., Mitrakov A. S. *Issledovanie urovnya komforta passazhirov v poezdakh s prinuditel'nym naklonom kuzova v krivykh metodami matematicheskogo modelirovaniya* [Investigation of the comfort level of passengers in trains with forced body tilt in curves by methods of mathematical modeling]. *Transport Urala*, 2017, no. 3 (54), pp. 3–8.
3. Persson R. *Tilting trains. Description and analysis of the present situation*. Report. Stockholm, KTH Railway Vehicles Publ., 2007, 80 p.

4. Liu-Henke X., Luckel J., Jaker K.-P. *An active suspension/tilt system for a mechatronic railway carriage*. *Control Engineering Practice*, 2002, Vol. 10, Issue 9, pp. 991–998.

5. Vatulin Ya. S., Vatulina E. Ya., Polyakov B. O., Potakhov D. A., Potakhov E. A. *Programma kontrolya i upravleniya gruzovoy i sobstvennoy ustoychivost'yu transportnogo sredstva* [Program of control and management of the freight and its own stability of the vehicle]. *Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM 2018616841* [Certificate of state registration of the computer program 2018616841]. No. 2018614084; registered in the Register of Computer Programs on June 7, 2018 (in Russ.).

6. Xue D., Chen Y. *System Simulation Techniques with MATLAB and Simulink*. John Wiley & Sons, Inc. Publ., 2013, 488 p.

7. Russell K., Shen Q., Sodhi R. S. *Kinematics and Dynamics of Mechanical Systems: Implementation in MATLAB and SimMechanics*. Boca Raton, FL, CRC Press, Inc. Publ., 2016, 443 p.

8. *SimMechanics: User's Guide: Version 2.7*. Natick, MA, MathWorks, Inc. Publ., 2007, 840 p.

9. Alyamovskiy A. A. *SolidWorks Simulation. Inzhenernyy analiz dlya professionalov: zadachi, metody, rekomendatsii* [SolidWorks Simulation. Engineering analysis for professionals: tasks, methods, recommendations]. Moscow, DMK Press Publ., 2015, 562 p.

10. Kurowski P. *Engineering Analysis with SOLIDWORKS Simulation 2017*. SDC Publications (USA), 2017. 600 p.

11. *SimHydraulics: User's Guide: Version 1.16*. Natick, MA, MathWorks, Inc. Publ., 2015, 688 p.

12. Vasil'chenko V. A. *Gidravlicheskie oborudovanie mobil'nykh mashin. Spravochnik* [Hydraulic equipment of mobile machines. Reference book]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1983, 301 p.

13. Piskunov N. S. *Differentsial'noe i integral'noe ischisleniya dlya vtuzov* [Differential and integral calculus for technical colleges]. Ucheb. posobie dlya vtuzov. V 2-kh t. T. 1. 13-e izd. [Textbook for technical colleges. In 2 Vols. Vol. 1. 13th Ed.]. Moscow, Nauka Publ. Glavnaya redaktsiya fiziko-matematicheskoy literatury [Main edition of physical and mathematical literature], 1985, 432 p.

14. Vatulin Ya. S. *Avtomatizirovanny kompleks upravleniya ustoychivost'yu mobil'nykh gruzopod'emnykh sredstv* [Automated complex of stability control of mobile lifting equipment]. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Pod'emno-transportnye mashiny* [Bulletin of the Tula State University. Series: Handling and lifting machines]. Tula, TulGU Publ., 2001, pp. 146–152.

15. Leonenkov A. V. *Nechetkoe modelirovanie v srede MATLAB i fuzzyTECH* [Fuzzy modeling in MATLAB and fuzzyTECH]. St. Petersburg, BKhV-Peterburg Publ., 2005, 736 p.

16. Siddique N. *Computational Intelligence: Synergies of Fuzzy Logic, Neural Networks and Evolutionary Computing*. Wiley, Inc. Publ., 2013, 517 p.

ABOUT THE AUTHOR

Denis A. POTAKHOV,

Post-graduate, Department of "Handling and lifting, track and construction machines", FGBOU VO "PGUPS"

Received 28.03.2021

Accepted 29.04.2021

■ E-mail: potakhovd@mail.ru (D. A. Potakhov)

For citation: Potakhov D. A. Railway crane platform stabilization system // VNIIZHT Scientific Journal. 2021. 80 (3): 160–167 (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-3-160-167>.

История и современность экономики железнодорожного транспорта в трудах ученых ВНИИЖТ

Л. А. МАЗО, О. Ф. МИРОШНИЧЕНКО, Е. Н. ЕФИМОВА

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

Аннотация. В статье отражены важнейшие направления работы и вклад ученых отделения экономики и финансов ВНИИЖТ (ныне научного центра «Экономика комплексных проектов и тарифообразование») в развитие экономической науки на железнодорожном транспорте со времени основания отделения в 1944 г. до настоящего времени.

Теоретические основы измерения экономической эффективности капитальных вложений и новой техники в народном хозяйстве страны были созданы заведующим отделением академиком Т. С. Хачатуровым, затем адаптированы применительно к условиям железнодорожного транспорта заведующим отделением д-ром техн. наук, проф. А. Е. Гибшманом, заведующим сектором д-ром экон. наук, проф. Н. Н. Барковым и их последователями.

Вопросы управленческого учета, анализа, планирования эксплуатационных расходов, калькулирования себестоимости перевозок, расчета удельных величин затрат на измерители транспортной работы занимают центральное место в исследованиях отделения. Под научным руководством д-ра экон. наук, проф. А. П. Абрамова в этой области исследований в отделении сложилась большая научная школа.

В развитие научных направлений по экономическому стимулированию и повышению производительности труда, управлению финансами большой вклад внесла д-р экон. наук, проф. М. М. Толкачева.

Традиционное для отделения экономики и финансов научное направление — совершенствование ценообразования на грузовые и пассажирские перевозки, прочие виды деятельности. Теоретические исследования и практические разработки с начала 70-х гг. прошлого века проводились под руководством д-ра экон. наук А. В. Крейнина, а позднее — заведующего отделением д-ра экон. наук Л. А. Мазо.

С середины 80-х гг. под руководством д-ра экон. наук, проф. О. Ф. Мирошниченко вопросы экономики пассажирских перевозок выделяются в отдельное научное направление, охватывающее высокоскоростное движение, затраты, маркетинг, тарифы, реформирование пассажирского комплекса.

В настоящее время сотрудники научного центра продолжают проводить исследования по важнейшим направлениям экономики железнодорожного транспорта, которые способствуют повышению эффективности и конкурентоспособности ОАО «РЖД» на рынке транспортных услуг.

Ключевые слова: ученые-экономисты ВНИИЖТ; научная школа; экономика транспорта; теоретические основы; методические рекомендации; практические разработки

Введение. Коллектив отделения экономики и финансов, преобразованный в 2018 г. в научный центр «Экономика комплексных проектов и тарифо-

образование», в течение 77 лет в составе ВНИИЖТ проводит исследования актуальных проблем в области экономики, результаты которых претворяются в практической работе. Особо подчеркнем, что научные исследования, проводимые научным центром, как правило, завершаются подготовкой нормативно-методических документов, утверждаемых руководством ОАО «РЖД» и правительственными органами на федеральном уровне.

Многие научные идеи сотрудников отделения экономики и финансов увидели свет на страницах журнала «Вестник ВНИИЖТ». Результаты научных исследований коллектива за последние 20 лет достаточно широко отражены в сборниках научных трудов ВНИИЖТ, посвященных юбилейным датам отделения [1–5].

Направления исследований экономической эффективности капитальных вложений и новой техники. Характерным в творческой деятельности подразделения является историческая преемственность нескольких поколений ученых, трудами которых создан и развивается научный потенциал экономической науки на железнодорожном транспорте. Ряд выработанных в отделении экономики и финансов ВНИИЖТ методических подходов получил распространение и теоретическое развитие и за пределами нашей отрасли. Важно отметить, что родоначальником отделения был выдающийся ученый с мировым именем — академик Т. С. Хачатуров, впоследствии возглавивший ВНИИЖТ, а затем — отделение экономики Академии наук СССР. Созданные им теоретические основы измерения *экономической эффективности капитальных вложений и новой техники* в народном хозяйстве страны были адаптированы применительно к условиям железнодорожного транспорта руководителями отделения экономики и финансов ВНИИЖТ д-ром техн. наук, проф. А. Е. Гибшманом, д-ром экон. наук, проф. А. П. Абрамовым и заведующими сектором эффективности капитальных вложений д-ром экон. наук, проф. Н. Н. Барковым и его продолжателем канд. экон. наук Н. А. Яндровским, которые создали научную школу в этой области (фото 1, 2).

Под их руководством с активным участием кандидатов экономических наук А. Л. Вольфсона,

А.А. Пугачевой, а позднее А.В. Шмелева, В.В. Аненкова и Л.В. Горовых проводился комплекс исследований по методологии оценки экономической эффективности капитальных вложений и проблемам восстановления основных фондов железнодорожного транспорта. По результатам этих исследований совместно с МИИТ в 1998 г. были разработаны Методические рекомендации по оценке инвестиционных проектов на железнодорожном транспорте, утвержденные МПС РФ и получившие широкое практическое применение. В настоящее время это направление развивает старший научный сотрудник К.В. Стельмашенко.

Важное научно-практическое значение имеют и сегодня Методические рекомендации по расчету показателей удельных капитальных вложений на прирост перевозочной работы и мощности технических средств железных дорог, а также метод последовательного включения в план объектов инвестирования по мере убывания их экономической эффективности. В итоге была сформирована оптимизационная модель перспективного планирования капитальных вложений.

Сотрудники отделения одними из первых провели исследование внутранспортного эффекта инвестиций в развитие транспорта, что имело важное значение для обоснования социально-экономической эффективности строительства новых линий. Цикл этих работ совместно с Институтом системного анализа (ИСА) РАН и Институтом технико-экономических изысканий и проектирования железнодорожного транспорта (Гипротранстэи) ОАО «РЖД» завершился в 2009 г. изданием соответствующей методики, утвержденной ОАО «РЖД».

В конце 80-х гг. прошлого века по заказу Государственного комитета по науке и технике (ГКНТ) СССР под руководством первого заместителя директора института д-ра техн. наук, проф. Е.А. Сотникова во ВНИИЖТ велись масштабные научные исследования по развитию высокоскоростного движения. В работе по данному направлению принимали участие все научные подразделения. От отделения экономики и финансов эту работу [6] возглавляла канд. экон. наук (впоследствии д-р экон. наук, проф.) О.Ф. Мирошниченко (фото 3).

В начале нынешнего века с участием технических отделений под руководством директора ВНИИЖТ канд. техн. наук И.С. Беседина было выполнено технико-экономическое обоснование организации высокоскоростного движения поездами «Сапсан» на действующей линии Москва—Санкт-Петербург (д-р экон. наук Л.А. Мазо, канд. экон. наук Н.А. Яндоловский, д-р экон. наук, проф. О.Ф. Мирошниченко, кандидаты экономических наук В.В. Аненков, Л.В. Горовых, С.С. Пастухов).

Наряду с эффективностью капитальных вложений важным направлением исследований отделения является *эффективность научно-технического прогресса и стимулирование внедрения новой техники и техноло-*



Фото 1. Коллектив сектора эффективности капитальных вложений отделения экономики и финансов. 1987 г.
Стоят (слева направо): А.В. Шмелев, В.В. Аненков, Е.Ю. Парышева, С.Г. Галушкина, С.Н. Шалимов, А.А. Митаишвили.
Сидят (слева направо): Л.А. Пахомова, Е.С. Бражникова, Н.Н. Барков, Н.А. Яндоловский, О.Н. Карганова
Photo 1. The personnel of the sector of efficiency of capital investments of the Department of Economics and Finance. 1987.
Standing (from left to right): A. V. Shmelev, V. V. Anenkov, E. Yu. Parysheva, S. G. Galushkina, S. N. Shalimov, A. A. Mitaishvili.
Sitting (from left to right): L. A. Pakhomova, E. S. Brazhnikova, N. N. Barkov, N. A. Yandolovskiy, O. N. Karganova



Фото 2. Обсуждение актуальной проблемы в кабинете заведующего отделением А.П. Абрамова. 1983 г.
Слева направо: канд. экон. наук Н.Н. Яндоловский, д-р экон. наук, проф. А.П. Абрамов, канд. экон. наук Г.В. Котов
Photo 2. Discussion of a topical problem in the office of the head of the department A. P. Abramov. 1983.
From left to right: Cand. Econ. Sci. N. N. Yandolovskiy, Dr. Econ. Sci., Prof. A. P. Abramov, Cand. Econ. Sci. G. V. Kotov

гий. Эти исследования в разные периоды возглавляли д-р экон. наук, проф. А.П. Абрамов, д-р экон. наук, проф. О.Ф. Мирошниченко, кандидаты экономических наук Э.И. Хаит, Т.В. Елисеева, Г.Е. Писаревский, Г.А. Грановская (фото 4, 5), В.А. Малов.

Под руководством канд. экон. наук, доцента Э.И. Хаит в 1974 г. впервые на железнодорожном транспорте был применен метод лимитных цен, сформулированный в Методических указаниях по определению лимитных цен на новые изделия, заказываемые



Фото 3. Вручение представителем пассажирской компании АМТРАК памятного диплома члену делегации российских железных дорог — О. Ф. Мирошнichenko. Нью-Йорк, 1996 г.
Photo 3. Representative of the AMTRAK passenger company presented a commemorative diploma to a member of the delegation of the Russian Railways — O. F. Miroshnichenko. New York, 1996



Фото 4. Сотрудники сектора себестоимости и тарифов отделения экономики и финансов. 1987 г.
Стоят (слева направо): А. С. Малышев, Н. В. Гордеева, Г. Е. Писаревский, канд. экон. наук, Л. И. Галицкая, Л. Я. Беккер, Е. Е. Четверикова, Г. А. Грановская, канд. экон. наук, И. Г. Мамай, О. Ф. Мирошнichenko, д-р экон. наук, проф., Н. Д. Наумова, В. И. Лукашев, д-р экон. наук, проф.
Сидят (слева направо): Т. И. Стебунова, А. В. Крейнин, д-р экон. наук, заслуженный экономист РФ, А. П. Абрамов, д-р экон. наук, проф., Э. И. Хаит, канд. экон. наук, Т. А. Чеботарева
Photo 4. Employees of the cost and tariffs sector of the Department of Economics and Finance. 1987.
Standing (from left to right): A. S. Malyshev, N. V. Gordeeva, G. E. Pisarevskiy, Cand. Econ. Sci., L. I. Galitskaya, L. Ya. Bekker, E. E. Chetverikova, G. A. Granovskaya, Cand. Econ. Sci., I. G. Mamay, O. F. Miroshnichenko, Dr. Econ. Sci., Prof., N. D. Naumova, V. I. Lukashov, Dr. Econ. Sci., Prof.
Sitting (from left to right): T. I. Stebunova, A. V. Kreinin, Dr. Econ. Sci., Honored Economist of the Russian Federation, A. P. Abramov, Dr. Econ. Sci., Prof., E. I. Khait, Cand. Econ. Sci., T. A. Chebotareva

промышленности для железнодорожного транспорта. Впоследствии эти методические указания неоднократно совершенствовались автором совместно с видными учеными технических подразделений института и вы-

держали несколько изданий. По существу, лимитные цены можно расценить как ноу-хау в ценообразовании. Произошел переход от традиционного затратного метода установления цен к отражению в них эффективности в сфере потребления. Конструкторские и проектные организации не имели права принимать к исполнению задание на разработку образцов новой продукции при отсутствии в нем лимитных цен.

В 1979 г. канд. экон. наук Т. В. Елисеева выполнила с участием технических отделений ВНИИЖТ технико-экономическое обоснование оптимальной структуры парка грузовых вагонов. Методология решения этой крупной народнохозяйственной проблемы сохраняет свое теоретическое значение и в наши дни. Интересно, что выгоды от специализации вагонов на примере двухъярусных платформ для легковых автомобилей были озвучены в трудах д-ра экон. наук Н. Н. Баркова еще в 60-х гг.

В 70-е гг. все больше внимания стали уделять оценке экономической эффективности и качества продукции. Для этих целей в 1975 г. д-ром экон. наук, проф. А. П. Абрамовым была разработана Методика денежной оценки показателей эксплуатационной работы железнодорожного транспорта. В дальнейшем эта методика развивалась и актуализировалась, служа основой для разработки дорожных экономических справочников в 1989 и 1997 гг. (авторы — А. П. Абрамов, Э. И. Хаит, Г. А. Грановская).

В 1980 г. вышли разработанные под руководством Э. И. Хаит Методические указания по определению экономической эффективности внедрения новой техники, изобретений и рационализаторских предложений на железнодорожном транспорте. О. Ф. Мирошнichenko разработала ряд методик по расчету экономической эффективности применения радиосвязи в различных хозяйствах, что способствовало ускорению внедрения новой техники в области железнодорожной связи. Важные задачи по повышению эффективности перевозок крупногабаритных грузов, включая транспортеры грузоподъемностью 500 т и с отдельным локомотивом, а также технико-экономическому обоснованию эффективности устранения негабаритных мест решались в исследованиях Г. Е. Писаревского и Т. В. Елисеевой (фото 5). Ими выпущен цикл методик расчета эффективности различных инновационных решений в области железнодорожной техники и технологий.

В связи с развитием международных перевозок в 80-е гг. появилась необходимость определения их эффективности. В этих целях Л. А. Мазо совместно с сотрудниками Института комплексных транспортных проблем (ИКТП) при Госплане СССР была разработана Методика определения эффективности экспорта и импорта транспортных услуг в части железнодорожного транспорта, которая была утверждена Госпланом СССР.

В 1991 г. Э.И. Хаит с участием практически всех отделений ВНИИЖТ, а также МИИТ и Проектно-конструкторского бюро локомотивного хозяйства (ПКБ ЦТ) были разработаны Методические рекомендации по определению экономической эффективности мероприятий научно-технического прогресса на железнодорожном транспорте, которые и в настоящее время сохраняют важное научно-практическое значение.

В развитие этих рекомендаций с учетом современных экономических требований под научным руководством канд. экон. наук А.А. Пугачевой в 2008 г. были разработаны и утверждены ОАО «РЖД» Методические рекомендации по расчету экономической эффективности новой техники, технологии, объектов интеллектуальной собственности и рационализаторских предложений [7]. Наряду с этим были созданы отдельные, конкретные методики расчета и подтверждения экономического эффекта от использования результатов научно-технических работ в отраслевых дирекциях ОАО «РЖД». Эти методики широко используются при технико-экономическом обосновании параметров, разработке и внедрении новой техники и технологий производственными, научно-исследовательскими, проектно-конструкторскими и внедренческими организациями не только ОАО «РЖД», но и предприятий-поставщиков.

Целый ряд работ следующего периода, выполненных совместно с техническими научными отделениями института, посвящен методам расчета экономической эффективности с учетом производственно-технических особенностей отдельных видов перевозок и технологий перевозочного процесса. К таким работам относятся:

- Методика оценки экономической эффективности пассажирского поезда дальнего следования в условиях функционирования ОАО «Федеральная пассажирская компания» (д-р экон. наук О. Ф. Мирошников, канд. экон. наук А. Е. Огинская, 2011 г.).

- Техничко-экономическое обоснование вождения тяжеловесных и длинносоставных поездов на полигоне Западно-Сибирской, Южно-Уральской и Свердловской дорог (канд. экон. наук А. А. Пугачева, инженер М. В. Малова, 2011 г.).

- Методика анализа эксплуатационных расходов и возможных финансовых рисков владельцев инфраструктуры и собственников вагонов, потенциально зависящих от характеристики конструкций грузовых вагонов на базовых моделях тележек (канд. экон. наук Г. Е. Писаревский, 2012 г.).

- Методика расчета и анализа экономической эффективности международных поездов, проездные документы на которые оформляются по глобальным ценам (канд. экон. наук С. С. Пастухов, 2012 г.).

- Порядок определения эффективности формирования и вождения соединенных поездов во всех видах движения на основе критериев экономической целе-



Фото 5. Старейший сотрудник отделения экономики и финансов канд. экон. наук Т. В. Елисеева с заведующим лабораторией канд. экон. наук Г. Е. Писаревским. 2007 г.

Photo 5. The oldest employee of the Department of Economics and Finance Cand. Econ. Sci. T. V. Eliseeva with the head of the laboratory Cand. Econ. Sci. G. E. Pisarevskiy. 2007

сообразности, состояния и загрузки инфраструктуры, безопасности движения (канд. экон. наук Е. Н. Ефимова, канд. экон. наук П. Б. Маневич, 2015 г.) [8].

- Комплексная методика оценки технологической и экономической эффективности тяжеловесного движения и вождения соединенных поездов на железнодорожных линиях, учитывающая их влияние на стоимость жизненного цикла объектов инфраструктуры и тягового подвижного состава (д-р экон. наук О. Ф. Мирошников, канд. экон. наук А. Е. Огинская, 2016 г.) [9].

- Методика оценки и критерии экономической эффективности отправительских маршрутов (канд. экон. наук А. В. Шмелев, канд. экон. наук Е. Н. Ефимова, 2017 г.) [10].

Все перечисленные методики утверждены ОАО «РЖД» и используются в практической деятельности железных дорог.

Развитие методов анализа и планирования хозяйственной деятельности предприятий железнодорожного транспорта. Важным направлением исследований отделения является разработка методов *анализа и планирования хозяйственной деятельности* на железнодорожном транспорте.

Основой данного направления является планирование перевозок. Начало этим исследованиям в 40-х гг. XX в. было положено видным советским ученым канд. экон. наук М. А. Симановским (фото 6), который возглавлял отделение в то время. Выполненные им работы были тесно увязаны с техническим планированием работы подвижного состава, что способствовало повышению эффективности его использования с учетом рационализации грузопотоков и сокращения порожнего пробега вагонов. Для экономической оценки грузопотоков канд. экон. наук Л. И. Кочкиной впервые была определена стоимость грузовой массы в процессе перемещения на железнодорожном транспорте.



Фото 6. Д-р экон. наук Б. И. Шафиркин (в центре) с ведущими сотрудниками отделения экономики и финансов. 1970 г.
Стоят (слева направо): канд. экон. наук М. А. Симановский, д-р экон. наук А. В. Крейнин. Сидят: канд. экон. наук Т. А. Пахман (слева), канд. экон. наук М. Г. Трубихин

Photo 6. Dr. Econ. Sci. B. I. Shafirkin (in center) with leading employees of the Department of Economics and Finance. 1970
Standing (from left to right): Cand. Econ. Sci. M. A. Simanovskiy, Dr. Econ. Sci. A. V. Kreinin. Sitting: Cand. Econ. Sci. T. A. Pakhman (left), Cand. Econ. Sci. M. G. Trubikhin



Фото 7. Совещание по выполнению оперативного задания руководства МПС. 1986 г.
Слева направо: О. Ф. Мирошнichenко, А. В. Крейнин, А. П. Абрамов, Н. Д. Иловaiский, Г. Е. Писаревский
Photo 7. Meeting on the implementation of the operational task of the leadership of the Ministry of Railways. 1986.
From left to right: O. F. Miroshnichenko, A. V. Kreinin, A. P. Abramov, N. D. Il'ovaiskiy, G. E. Pisarevskiy

В дальнейшем эти исследования были продолжены д-ром экон. наук, проф. А. П. Абрамовым для экономической оценки ускорения доставки грузов и высвобождения оборотных средств в народном хозяйстве.

В 70–80-е гг. рассматриваемое направление получило развитие в трудах руководителя отделения д-ра экон. наук Б. И. Шафиркина и д-ра экон. наук, проф. А. Г. Захарова на основе транспортно-экономических балансов производства и потребления продукции, а также канд. экон. наук Л. Н. Иванова с применением экономико-математических методов. В рамках автоматизированной системы управления железнодорожным транспортом (АСУЖТ) под научным

руководством канд. экон. наук Н. И. Евплова, а затем д-ра техн. наук Н. Д. Иловайского (фото 7) была создана автоматизированная система плановых расчетов (АСПР). В области анализа, планирования и прогнозирования объемов перевозок, грузооборота и технико-экономических показателей работы железных дорог необходимо отметить исследования и разработанные на их основе алгоритмы и программы для ЭВМ с формированием базы данных для предплановых расчетов кандидатов наук Е. Н. Ефимовой, П. Б. Маневича и А. Д. Калмыкова.

На многих дорогах получили внедрение разработки и программы, выполненные под руководством канд. экон. наук М. В. Пулина при создании автоматизированной системы бухгалтерского учета (АСБУ). В дальнейшем, в 2000-х гг., значительную работу по автоматизации финансовых расчетов и контроллинга затрат проводил канд. экон. наук В. А. Малов в рамках автоматизированной системы управления финансами (АСУФин).

Канд. экон. наук Т. А. Пахман (фото 6) по праву считается родоначальником методологии перспективного планирования научно-технического развития отрасли. С ее приходом в институт, почти одновременно с организацией отделения, начались регулярные разработки программ, охватывающие все технические подразделения. На возглавляемый Т. А. Пахман сектор была возложена функция координации работы института в этой области и подготовки сводных документов для представления в МПС, Госплан и ГКНТ СССР.

В конце 70-х гг. под научным руководством заведующего отделением д-ра экон. наук Б. И. Шафиркина и канд. экон. наук А. А. Пугачевой на основе комплекса исследований с участием технических отделений был разработан раздел планирования технико-экономических показателей железнодорожного транспорта в новые Методические указания к разработке государственных планов экономического и социального развития СССР, выпущенные Госпланом в 1980 г.

В начале нового века заведующим отделением Л. А. Мазо, П. Б. Маневичем и А. А. Пугачевой (фото 8) была подготовлена концепция стратегического планирования на железнодорожном транспорте в условиях его реформирования. Совместно с другими отделениями института отделение экономики и финансов принимало участие в разработке и определении экономической эффективности Стратегии развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года, утвержденной распоряжением Правительства в 2008 г.

В 2010–2012 гг. в масштабной работе по оценке последствий и рисков при отделении услуг локомотивной тяги от инфраструктуры, выполненной под руководством канд. техн. наук В. А. Бородиной, канд. экон. наук Г. А. Грановской, канд. техн. наук В. М. Кошелева, была дана объективная технико-экономическая

оценка, показавшая неэффективность этого процесса в условиях российских железных дорог [11]. По результатам данной работы были внесены коррективы в целевую модель рынка грузовых перевозок.

Наряду с методическими разработками сотрудники отделения принимали участие и в нормативно-правовом обеспечении структурной реформы отрасли. В этом отношении следует отметить работы канд. техн. наук В.А. Абгафорова, принимавшего активное участие в подготовке документов по реорганизации контейнерных перевозок с выделением дочернего АО «ТрансКонтейнер».

В деле успешного выполнения плановых заданий и повышения качества работы отрасли важное место принадлежит *экономическому стимулированию и управлению финансами*, для чего в отделении в числе первых был организован соответствующий сектор под руководством канд. экон. наук М.Г. Трубикина. Огромный вклад в развитие этого направления внесла д-р экон. наук, проф. М.М. Толкачева. Среди ее важнейших работ, получивших широкое внедрение на железных дорогах страны, следует отметить целую серию методических положений по хозяйственному расчету на линейных предприятиях, в отделениях и на дорогах, определению расчетных цен, финансовому планированию, формированию фондов оплаты труда и материального поощрения, стимулированию работников за выполнение объемных и качественных показателей и рост производительности труда [12].

Канд. экон. наук Ф.М. Флейшман создал уникальный методический арсенал анализа хозяйственной деятельности на предприятиях отрасли. Канд. экон. наук А.Л. Вольфсон продолжил эту работу в новых экономических условиях, подготовил методику нормирования оборотных средств (совместно с Л.А. Мазо), разработал предложения по распределению доходов от грузовых перевозок между дорогами для обеспечения самофинансирования их производственной деятельности. Алгоритмы распределения доходов от пассажирских перевозок дальнего следования с выделением доходов дорог, формирующих поезд, создали А.П. Абрамов, Г.В. Котов, И.Я. Козачок, О.Ф. Мирошниченко.

В условиях коммерциализации перевозочной деятельности в ходе структурной реформы обострилась ситуация с эксплуатацией линий с низкой загрузкой. Для принятия обоснованных решений по их дальнейшему использованию, компенсации возможных финансовых потерь при их реорганизации д-р экон. наук, проф. М.М. Толкачева и инженер Л.А. Мартынова подготовили Методику определения расходов и доходов малоинтенсивных участков с учетом опыта Московской дороги, которая была утверждена ОАО «РЖД» в 2007 г. В 2017 г. эти исследования получили развитие под руководством заведующей



Фото 8. Члены научно-технического совета отделения экономики и финансов. 2003 г.

Стоят (слева направо): П. Б. Маневич, Г. Е. Писаревский, Л. И. Грачева, В. И. Лукашев, А. В. Шмелев, И. А. Яндоловский, А. А. Пугачева, Л. В. Горовых, Е. Н. Ефимова. Сидят (слева направо): Т. И. Дуплина, В. А. Степанец, М. М. Толкачева, Л. А. Мазо, Л. Г. Чупейкина

Photo 8. Members of the Scientific and Technical Council of the Department of Economics and Finance. 2003.

Standing (from left to right): P. B. Manevich, G. E. Pisarevskiy, L. I. Gracheva, V. I. Lukashev, A. V. Shmelev, I. A. Yandolovskiy, A. A. Pugacheva, L. V. Gorovykh, E. N. Efimova. Sitting (from left to right): T. I. Duplina, V. A. Stepanets, M. M. Tolkacheva, L. A. Mazo, L. G. Chupeikina

отделением О.Ф. Мирошниченко (В.А. Бородин, В.М. Кошелев, А.Е. Огинская, С.С. Пастухов, А.И. Сафонова).

Для решения проблемы поддержки государством социально значимых планово-убыточных видов деятельности М.М. Толкачевой и Л.А. Мазо была разработана специальная методология распределения расходов, доходов и убытков железных дорог от пригородных пассажирских перевозок, которая используется дорогами при заключении договоров с субъектами РФ.

Совершенствование методов управленческого учета и калькулирования себестоимости транспортной продукции. Важное место в исследованиях отделения занимают *проблемы управленческого учета, анализа, планирования эксплуатационных расходов и калькулирования себестоимости транспортной продукции*. Д-р экон. наук, проф. А.П. Абрамов, впоследствии занимавший должность заведующего отделением, уделял большое внимание в своих исследованиях всем аспектам управления издержками, всегда подчеркивал, что эффективное управление расходами базируется на их правильной классификации. При участии А.П. Абрамова, Г.А. Грановской были разработаны Номенклатуры расходов железнодорожного транспорта 1993, 1998 и 2003 гг. [13]. Причем необходимо отметить, что Номенклатура 2003 г. была практически первым работоспособным документом, обеспечивающим планирование и учет расходов по видам деятельности, что способствовало успешной реализации Программы структурной реформы на железнодорожном транспорте.

Под научным руководством А.П. Абрамова в этой области исследований в отделении сложилась большая научная школа. Широкое применение получили на железных дорогах, а также в проектной и аналитической работе Методические указания по калькуляции себестоимости железнодорожных перевозок по видам движения, тяги, сообщения и операциям перевозочного процесса (А.П. Абрамов, Г.А. Грановская, 1977, 1992 и 1996 гг.), многочисленные методики планирования расходов в отраслевых хозяйствах (Э.И. Хаит, Т.В. Елисеева, Л.Г. Чупейкина и др.), Методические рекомендации по расчету единичных и укрупненных расходных ставок (Т.В. Елисеева, Г.А. Грановская, А.Д. Калмыков, Е.Н. Ефимова, М.В. Морозова), Методика распределения затрат инфраструктуры ОАО «РЖД» (О.Ф. Мирошниченко).

В 2008 г. под руководством кандидатов экономических наук Е.Н. Ефимовой и М.В. Морозовой была разработана методика расчета единичных и укрупненных расходных ставок для решения экономических задач в условиях структурной реформы железнодорожного транспорта [14]. С этого периода, учитывая постоянно меняющиеся условия работы железнодорожного транспорта, ежегодное научное сопровождение и развитие методологии расчета расходных ставок, а также предоставление результатов расчета расходных ставок для практического применения в ОАО «РЖД» и его филиалах становится одним из значимых направлений деятельности отделения экономики и финансов, а впоследствии и научного центра «Экономика комплексных проектов и тарифообразование» ВНИИЖТ.

Отделение внесло большой вклад в развитие системы бюджетирования на этапе становления ОАО «РЖД» (Л.Г. Чупейкина, Г.А. Грановская, А.И. Сафонова).

В 70–80-е гг. исследованием вопросов экономики подсобно-вспомогательной деятельности занимался канд. экон. наук Ф.Е. Овчинников. В 2011–2012 гг. в отделении выполнено крупное исследование по учету и планированию доходов и расходов от прочих видов деятельности, которое завершилось утвержденной ОАО «РЖД» Методикой бюджетирования финансовых результатов по видам деятельности ОАО «РЖД», не связанным с осуществлением перевозок, предоставлением услуг инфраструктуры и локомотивной тяги (О.Ф. Мирошниченко, А.Е. Огинская, М.В. Морозова, Е.Е. Четверикова, Л.П. Козлова, Л.А. Мартынова и др.) [15].

Важное значение для осуществления политики ресурсосбережения, последовательно проводимой в холдинге, имеет подготовленный канд. техн. наук В.А. Степанцом и утвержденный в 2009–2011 гг. руководством компании пакет методик определения энергоемкости производственной деятельности фи-

лиалов и дочерних обществ ОАО «РЖД». В этих же целях под руководством канд. техн. наук В.А. Бородиной составлен Справочник по нормированию расходов материалов при обслуживании и ремонте технических средств. Инженером В.И. Климовым выполнялись работы по нормированию затрат труда на текущем содержании пути.

Принимая во внимание определяющую роль *производительности труда* и его *научной организации* в повышении эффективности работы отрасли, решение этих задач занимало важное место в научных разработках отделения. У истоков этих исследований в начале 50-х гг. стояли кандидаты экономических наук Е.П. Опарин, Г.В. Котов и Т.К. Соболева. В 70–80-е гг. это направление получило дальнейшее развитие в исследованиях по совершенствованию управления и организационно-штатному нормированию под руководством д-ра экон. наук Н.Н. Кулагина. Среди молодых ученых, занимавшихся вопросами управления, была А.А. Юлкина, которая сейчас является заместителем директора научного центра «Экономика комплексных проектов и тарифообразование». Канд. экон. наук А.Г. Котов возглавил сектор научной организации труда, где закладывались научные основы бережливого производства и процессного подхода к управлению затратами.

В 80-е гг. впервые в отрасли Ю.Б. Винславом, в дальнейшем д-ром экон. наук, проф., были развернуты социологические исследования.

Коммерциализация работы железнодорожного транспорта в условиях его кардинального реформирования, нацеленного на оптимизацию перевозочных издержек при ограничениях со стороны государственного регулирования тарифов, усилила требования к эффективному использованию трудовых ресурсов. Институтом в 2008 г. была разработана и утверждена ОАО «РЖД» Программа оптимизации численности работников, занятых на перевозках. Методические вопросы этой программы (совершенствование системы показателей измерения производительности труда, меры по стимулированию работников) проработаны кандидатами технических наук В.А. Степанцом и П.А. Шанченко.

В развитие этих исследований в 2011 г. канд. техн. наук П.А. Шанченко совместно с канд. экон. наук К.О. Винниковой был подготовлен и утвержден руководством ОАО «РЖД» пакет методических документов по определению производительности труда работников дочерних и зависимых обществ ОАО «РЖД» на базе натуральных, условно-натуральных и стоимостных показателей продукции с использованием индексного метода в структурных организациях компании, дочерних обществах и в целом по холдингу. В 2016 г. эта работа завершилась принятием Порядка

определения и мониторинга производительности труда работников холдинга «РЖД» [16].

Совершенствование ценообразования на грузовые и пассажирские перевозки. Данное научное направление является традиционным для отделения экономики и финансов (зародилось в 50-е гг.). Родоначальниками его выступили будущие доктора экономических наук, профессора А. П. Абрамов, А. Г. Захаров и кандидаты экономических наук Т. В. Елисеева и Г. В. Котов. Выполненные ими исследования были сосредоточены на методологии определения себестоимости перевозок грузов в качестве основы научно обоснованных тарифов. Такой подход отражал принцип ценообразования на базе общественно необходимых затрат.

Объективная необходимость разработки специальных методов определения издержек для тарифных целей была вызвана особенностями формирования тарифов в формализованной зависимости от расстояния перевозки и возмещения ими полных затрат, в то время как для технико-экономических расчетов, как правило, достаточно исчисления расходов, зависящих от объема перевозок. Кроме того, в себестоимости для анализа и проектирования тарифов следовало учесть немаловажную специфику перевозок конкретных грузов в определенных типах вагонов, в том числе на особых условиях — с охлаждением, отоплением, превышением габаритов, на транспортерах и др.

Для построения модели себестоимости в виде математической зависимости от дальности потребовалось разделить расходы на начально-конечную и движущую операции. Эта проблема была успешно решена в исследованиях А. П. Абрамова, в результате которых были рассчитаны указанные ставки себестоимости по всей номенклатуре грузов. С учетом применявшейся тогда платы за фонды впервые была разработана методика определения фондоемкости перевозок также по родам грузов. Все это послужило научной основой для перехода к двухставочной форме грузовых тарифов.

Эта крупномасштабная задача была осуществлена под научным руководством заслуженного экономиста РФ, д-ра экон. наук А. В. Крейнина в два этапа — в 1967 и 1974 гг.

Существовавшая до этого времени громоздкая многоставочная система тарифов, оторванная от реальных издержек железных дорог, перестала удовлетворять возложенным на нее требованиям. Завышение ставок на дальних расстояниях препятствовало развитию отдаленных регионов страны и противоречило имевшему место резкому снижению стоимости перевозок благодаря широкому внедрению электрической и тепловозной тяги. Искусственная деградация ставок на средних расстояниях не соответствовала рационализации перевозок, гораздо эффективнее применение экономико-математических методов оптимизации транспортно-

экономических связей, разработанных лауреатом Нобелевской премии академиком Л. В. Канторовичем (в 80-е гг. он работал в отделении экономики и финансов ВНИИЖТ научным консультантом). Необходимо отметить, что для определения влияния новых тарифов на финансовые результаты отраслей народного хозяйства впервые были применены ЭВМ «Урал-14», для чего д-р техн. наук С. В. Дувалян разработал специальную программу расчетов.

В работе по совершенствованию отдельных видов тарифов в 70–80-е гг. принимали участие тогда еще молодые специалисты: Л. А. Мазо (скоропортящиеся грузы), А. С. Малышев (контейнеры), Г. Е. Писаревский (крупногабаритные и негабаритные грузы), А. В. Шмелев (принципы формирования международных тарифов на основе метода дефицита цен).

С середины 70-х гг. сектор ценообразования отделения экономики и финансов был активно задействован в работу Союза экономической взаимопомощи (СЭВ), Организации сотрудничества железных дорог (ОСЖД) и МПС по совершенствованию международных тарифов (А. В. Крейнин, Л. А. Мазо).

С тарифными вопросами тесно связана новая межотраслевая проблема, инициированная в 40-е гг. руководителем отделения д-ром экон. наук Б. И. Шафиркиным, охватывающая все виды магистрального и промышленного транспорта. Коллективу ученых под его руководством (А. П. Абрамов, А. В. Крейнин, А. Л. Вольфсон, Л. А. Мазо и др.) удалось впервые с использованием отчетных данных многочисленных министерств и ведомств, а также расчетным путем определить общую сумму затрат народного хозяйства всей страны на транспортные услуги. В результате комплекса работ с участием ИКТП при Госплане СССР была разработана система учета и планирования транспортных затрат на предприятиях и в отраслях народного хозяйства, имеющая важное макроэкономическое значение.

Учитывая, что значительная часть транспортных расходов приходилась на внутрипроизводственные перевозки и погрузочно-разгрузочные работы, выполняемые промышленным транспортом, важную роль играли тарифы предприятий промышленного железнодорожного транспорта. Новый прейскурант № 10-03 на их услуги, разработанный с участием Л. А. Мазо, был утвержден Госкомцен в 1980 г. и введен в действие со следующего года.

В новых экономических условиях с учетом общего повышения оптовых цен удалось доказать необходимость выравнивания тарифов по уровню рентабельности, что позволило создать принципиально новую конструкцию всей тарифной системы исходя из транспортно-технологических факторов независимо от наименования грузов. Таким образом, тарифы были дифференцированы по видам отправок, типам вагонов и

контейнеров. В основу формирования тарифов был положен принцип одинаковой прибыли на вагоно-сутки. В связи с ростом парка собственных вагонов вместо единой скидки были предусмотрены отдельные тарифные схемы по их типам с отдельными платами за грузовой и порожний пробег. В целях стимулирования перевозок в специализированных вагонах, создающих значительный внетранспортный эффект у грузовладельцев, по результатам предыдущих исследований Л. А. Мазо для них были установлены отдельные тарифные ставки.

Важным новшеством следует считать переход от повагонного к комбинированному повагонно-потонному способу оплаты перевозок в универсальных вагонах. Ранее по мере увеличения грузоподъемности вагонов железнодорожный транспорт, несмотря на рост зависящих от нагрузки расходов, не получал никакого возмещения доходами. Новый метод тарификации решил и эту проблему.

Для реализации этих решений еще в 1976 г. на основе ранее созданной А. П. Абрамовым методологии калькулирования себестоимости для тарифных целей Л. А. Мазо были разработаны параметрические модели себестоимости перевозок по транспортно-технологическим признакам.

Новый прейскурант цен на грузовые перевозки был утвержден Госкомцен по согласованию с Госпланом и Минфином СССР в апреле 1989 г. и введен в действие с 1 января 1990 г.

Обострение ситуации со сбытом товаров с высоким удельным весом транспортных расходов в цене привело в 1995 г. к дифференциации тарифов по трем классам грузов (Л. А. Мазо, А. В. Шмелев). В указанный период эта мера была объективно необходимой, принимая во внимание, что в рыночной экономике транспортные расходы оплачивались непосредственно грузоотправителями в отличие от планового хозяйства, когда эти функции в значительной мере были возложены на торгово-распределительные организации.

С начала 90-х гг. Г. Е. Писаревский принимал активное участие в многолетней работе межгосударственного уровня по формированию взаимоотношений между железными дорогами стран СНГ и Балтии.

В эти же годы д-ром экон. наук Л. А. Мазо и инженером Н. И. Данченко (фото 9) была разработана методика и на ее основе проведено первое маркетинговое сетевое обследование грузовладельцев. В дальнейшем на этой основе была создана методика оценки качества транспортного обслуживания.

Целью проводимой на железнодорожном транспорте структурной реформы с начала нового столетия являлось повышение эффективности транспортного обслуживания на основе создания конкурентной среды и привлечения внешнего капитала для обновления вагонного парка с учетом возобновления роста объемов

перевозок. Однако существовавшая система грузовых тарифов из-за резкой разницы в тарифных коэффициентах вызвала неоправданный перекос в заинтересованности операторов подвижного состава, завышая ее по грузам третьего класса и делая невыгодным предоставление вагонов для массовых грузов первого класса. Чтобы выровнять стимулы и стартовые условия использования вагонов как общего парка железных дорог, так и операторов с разными грузами было предложено выделить вагонную составляющую без дифференциации ее по родам грузов. Все коэффициенты были отнесены на инфраструктурно-локомотивную составляющую. Проектирование новых тарифных ставок проводилось под научным руководством возглавлявшего в то время отделение д-ра экон. наук Л. А. Мазо и канд. экон. наук А. В. Шмелева (фото 8). Результаты этой работы нашли отражение во введенном в действие в 2003 г. и актуальном на сегодня Прейскуранте № 10-01.

Дальнейшие исследования в области тарификации грузовых перевозок были сосредоточены на совершенствовании методов определения себестоимости для тарифных целей на параметрической основе с учетом современных транспортных средств и технологии перевозочного процесса. В числе полученных результатов можно выделить утвержденный ОАО «РЖД» в 2009 г. порядок определения себестоимости грузовых перевозок для тарифных целей в соответствии с Номенклатурой доходов и расходов по видам деятельности ОАО «РЖД» (А. В. Шмелев, П. Б. Маневич) и принятые Федеральной службой по тарифам (ФСТ России) в 2013 г. специальные тарифные схемы, стимулирующие использование инновационных вагонов (А. В. Шмелев, Г. Е. Писаревский).

В настоящее время расчеты полной и зависящей себестоимости перевозок по каждому роду грузов, на любом расстоянии и в конкретном типе вагона проводятся на ЭВМ по алгоритму и программе, составленным А. В. Шмелевым и Е. Н. Ефимовой.

Научный интерес с перспективной направленностью представляют исследования по построению параметрического тарифа для контейнерных поездов, на транзитные перевозки контейнеров (А. В. Шмелев, П. Б. Маневич) и контейнеров (Г. Е. Писаревский).

В 2015 г. получила сетевое внедрение разработанная Е. Н. Ефимовой, являющейся в настоящее время директором научного центра «Экономика комплексных проектов и тарифообразование» (фото 10), и В. А. Шмелевым Методика определения договорных плат за формирование прямых отправительских маршрутов на путях общего пользования средствами железных дорог исходя из эффективности этой технологии для ОАО «РЖД».

На основе разработок кандидатов технических наук В. А. Бородиной и В. М. Кошелева в 2012 г. введен в действие Прейскурант цен на работы, выполняемые при те-

кущем отцепочном ремонте грузовых вагонов, производимые в эксплуатационных вагонных депо ОАО «РЖД».

Кандидаты экономических наук В. В. Аненков, Л. В. Горовых в 2014 г. разработали Методические рекомендации по разработке прейскурантов на услуги центров метрологии железных дорог по обслуживанию, ремонту и поверке средств измерений.

В 2015 г. правлением ОАО «РЖД» утверждена разработанная Г. А. Грановской и С. С. Пастуховым Методика гибкого ценообразования на услуги терминально-складского комплекса ОАО «РЖД», нерегулируемые государством, и порядок ее применения [17].

В 2018 г. под руководством заведующей лабораторией А. Е. Огинской разработана Методика расчета сборов за подачу и уборку грузовых вагонов на железнодорожные пути эксплуатационных вагонных депо при производстве текущего отцепочного ремонта вагонов собственников подвижного состава.

С развитием структурной реформы в холдинге ОАО «РЖД» был выделен *пассажирский комплекс*. Образование самостоятельных железнодорожных администраций стран СНГ и Балтии предъявило новые требования к построению пассажирских тарифов с выделением плацкарты в целях финансирования дорог формирования поездов. Такая унифицированная система тарифов на двухставочной основе для указанных стран была разработана Л. А. Мазо и А. С. Малышевым в сжатые сроки впервые и принята с их участием в 1993 г. на международном совещании в г. Риге. Развитие тема построения тарифов на пассажирские перевозки получила в трудах О. Ф. Мирошниченко, А. Е. Огинской, О. В. Маханьковой, М. М. Толкачевой, С. С. Пастухова.

В целях отражения рыночных факторов спроса на пассажирские перевозки и применения динамического ценообразования С. С. Пастуховым была разработана и утверждена ОАО «РЖД» в 2009 г. Методика проведения регулярных специализированных маркетинговых исследований для целей корректировки моделей оптимизации тарифной политики [18].

С учетом разграничения центров возникновения затрат и доходов на основе комплекса исследований и проектных разработок, выполненных по заказам ФСТ России, под руководством О. Ф. Мирошниченко сотрудниками отделения было разработано новое тарифное руководство на проезд пассажиров и услуги инфраструктуры в дальнем следовании, которое введено в действие в 2010 г. приказом ФСТ России от 27 июля 2010 г. № 156.

На основе разработок О. Ф. Мирошниченко и А. Е. Огинской в 2016 г. были внесены существенные изменения в тарифное руководство на пассажирские перевозки, стимулирующие развитие перевозок в скоростном комфортабельном подвижном составе. Для организации эффективного взаимодей-



Фото 9. Не только работа: заседание редколлегии отделения экономики и финансов. 1979 г.

Стоят (слева направо): Н. И. Данченко, Л. И. Туровский, Е. Б. Алдошина, А. И. Солнцева. Сидят (слева направо): Л. И. Галицкая, И. К. Каневская, Г. Е. Писаревский, А. А. Пугачева

Photo 9. Not only work: meeting of the editorial board of the Department of Economics and Finance. 1979.

Standing (from left to right): N. I. Danchenko, L. I. Turovskiy, E. B. Aldoshina, A. I. Solntseva. Sitting (from left to right): L. I. Galitskaya, I. K. Kanevskaya, G. E. Pisarevskiy, A. A. Pugacheva

ствия ОАО «РЖД» с перевозчиками пассажиров в части предоставления тяги под научным руководством О. Ф. Мирошниченко разработаны и утверждены правлением ОАО «РЖД» в 2010 г. ставки арендной платы за пользование локомотивами и локомотивными бригадами. Эта работа получила дальнейшее развитие в исследованиях кандидатов экономических наук М. В. Морозовой и А. Е. Огинской, которые разработали в 2017 г. Методику формирования обоснованной стоимости услуг локомотивного комплекса ОАО «РЖД», оказываемых сторонним организациям.

Направления научных исследований центра на современном этапе. В последние годы был разработан ряд важных отраслевых документов, регламентирующих работу в различных направлениях экономики транспорта: Порядок учета приведенной работы для расчета себестоимости перевозок и производительности труда, учитывающий влияние контейнерных перевозок на показатели грузооборота (Е. Н. Ефимова, А. В. Шмелев, П. Б. Маневич) [19], Методические рекомендации по расчету расходных ставок для решения внутрикорпоративных экономических задач ОАО «РЖД» и его филиалов (Е. Н. Ефимова, М. В. Морозова) [20], Методические рекомендации по расчету оценочных уровней затрат, возникающих при устранении отказов технических средств (Е. Н. Ефимова) [21], Методические рекомендации по расчету оценочных уровней затрат, возникающих при нарушении порядка организации работ с временным перерывом в движении поездов (М. В. Морозова) [22], Актуализация Указателя инвентарных объектов основных средств железнодорожного транспорта (Л. А. Крищенко, Н. В. Храмченкова), Методическое



Фото 10. Коллектив отделения экономики и финансов ВНИИЖТ. 2017 г.

Стоят (слева направо): П. Б. Маневич, канд. экон. наук, Е. В. Ершова, Т. В. Валуева, М. А. Урюпина, Н. М. Зарецкая, А. И. Шеенсон, Е. Ю. Парышева, Н. В. Ромайкина, Н. В. Храмченкова, Л. А. Крищенко, Л. А. Мартынова, Г. А. Грановская, канд. экон. наук, М. В. Морозова, канд. экон. наук, В. И. Жуков, Е. Е. Четверикова, Н. И. Ульянова, В. В. Аненков, канд. экон. наук, Т. С. Ермакова, С. С. Пастухов, канд. экон. наук. Сидят (слева направо): Л. И. Грачева, К. О. Винникова, канд. экон. наук, Е. Н. Ефимова, канд. экон. наук, О. Ф. Мирошниченко, д-р экон. наук, проф., Т. И. Дуплина, А. Е. Огинская, канд. экон. наук, А. А. Юлкина, И. Н. Ленская

Photo 10. The personnel of the Department of Economics and Finance of VNIIZHT. 2017.

Standing (from left to right): P. B. Manevich, Cand. Econ. Sci., E. V. Ershova, T. V. Valueva, M. A. Uryupina, N. M. Zaretskaya, A. I. Sheenson, E. Yu. Parysheva, N. V. Romaykina, N. V. Khranchenkova, L. A. Krishchenko, L. A. Martynova, G. A. Granovskaya, Cand. Econ. Sci., M. V. Morozova, Cand. Econ. Sci., V. I. Zhukov, E. E. Chetverikova, N. I. Ul'yanova, V. V. Anenkov, Cand. Econ. Sci., T. S. Ermakova, S. S. Pastukhov, Cand. Econ. Sci. Sitting (from left to right): L. I. Gracheva, K. O. Vinnikova, Cand. Econ. Sci., E. N. Efimova, Cand. Econ. Sci., O. F. Miroshnichenko, Dr. Econ. Sci., Prof., T. I. Duplina, A. E. Oginskaya, Cand. Econ. Sci., A. A. Yulkina, I. N. Lenskaya

сопровождение и проведение поквартального расчета доли вклада каждой железной дороги для последующего использования в расчете мотивационных средств для филиалов ОАО «РЖД» (С. С. Пастухов), Методика оценки влияния на устойчивость производственных процессов мероприятий программ по повышению производительности труда, разрабатываемых филиалами ОАО «РЖД» (П. А. Шанченко). Подготовлены предложения по внесению изменений в порядок формирования показателей приведенной работы ОАО «РЖД» с учетом оценки влияния изменений объемов, трудоемкости и себестоимости пассажирских перевозок, в том числе с учетом развития скоростного и высокоскоростного движения (О. Ф. Мирошниченко, А. Е. Огинская).

Совместно с техническими научными подразделениями ВНИИЖТ выполнены технико-экономические обоснования крупных инвестиционных и инновационных проектов: эффективности эксплуатации грузовых вагонов на тележках с подшипниками кассетного типа по сравнению с вагонами на тележках, оборудованных роликовыми подшипниками (Е. Н. Ефимова, К. В. Стельмашенко, А. Е. Васильев),

создания моторвагонного подвижного состава на водородных топливных элементах для эксплуатации на о. Сахалин (Е. Н. Ефимова, К. В. Стельмашенко, А. Е. Васильев) и др., а также технико-экономическая оценка эффекта от осуществления перевозок поездами, сформированными из вагонов с нагрузкой на ось 27 т на выделенных участках (Г. А. Грановская, А. И. Сафонова, О. Ф. Мирошниченко, А. Е. Огинская), мониторинг показателей использования вагонов грузового парка с улучшенными техническими характеристиками, имеющих тарифные преференции (О. Ф. Мирошниченко, А. Е. Огинская).

В настоящее время научный центр «Экономика комплексных проектов и тарифообразование» продолжает исследования по важнейшим направлениям экономики железнодорожного транспорта, которые способствуют повышению эффективности и конкурентоспособности ОАО «РЖД» на рынке транспортных услуг.

Заключение. На протяжении 77-летней истории отделения экономики и финансов и его приемника — научного центра «Экономика комплексных проектов и тарифообразование» ВНИИЖТ создана научная

школа, имеющая высокие достижения во всех областях экономики железнодорожного транспорта. С 1944 г. и по настоящее время наши ученые своими теоретическими, методическими и практическими работами обеспечивают развитие системы экономического управления железнодорожным транспортом в различных эксплуатационных, организационных и социально-экономических условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пути повышения эффективности функционирования железных дорог на транспортном рынке России: сб. науч. тр. ОАО «ВНИИЖТ» / под ред. Л. А. Мазо. М.: Интекст, 2000. 240 с.
2. Экономика железнодорожного транспорта: проблемы и решения: сб. науч. тр. ОАО «ВНИИЖТ» / под ред. Л. А. Мазо, Г. Е. Писаревского. М.: Интекст, 2005. 352 с.
3. Экономические проблемы развития железнодорожного транспорта на этапах его инновационных и структурных преобразований: сб. науч. тр. ОАО «ВНИИЖТ» / под ред. О. Ф. Мирошниченко. М.: Интекст, 2009. 279 с.
4. Актуальные проблемы железнодорожного транспорта и пути их решения: сб. науч. тр. ОАО «ВНИИЖТ» / под ред. О. Ф. Мирошниченко. М.: ВМГ-Принт, 2014. 257 с.
5. Экономические исследования железнодорожного комплекса и их практическое значение: сб. науч. тр. ОАО «ВНИИЖТ» / под ред. О. Ф. Мирошниченко. М.: РАС, 2019. 209 с.
6. Мирошниченко О. Ф. Методическое обеспечение расчетов экономической эффективности сооружения высокоскоростных линий // Вестник ВНИИЖТ. 1993. № 2. С. 31–35.
7. Методические рекомендации по расчету экономической эффективности новой техники, технологии, объектов интеллектуальной собственности и рационализаторских предложений [Электронный ресурс]: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 28 ноября 2008 г. № 2538р. URL: <http://www.consultant.ru/edu/student/study/links> (дата обращения: 04.05.2021 г.).
8. Порядок определения эффективности формирования и вождения соединенных поездов во всех видах движения на основе критериев экономической целесообразности, состояния и загрузки инфраструктуры, безопасности движения [Электронный ресурс]: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 28 декабря 2015 г. № 3109р. URL: <http://www.consultant.ru/edu/student/study/links> (дата обращения: 04.05.2021 г.).
9. Комплексная методика оценки технологической и экономической эффективности тяжеловесного движения и вождения соединенных поездов на железнодорожных линиях, учитывающая их влияние на стоимость жизненного цикла объектов инфраструктуры и тягового подвижного состава [Электронный ресурс]: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 22 декабря 2016 г. № 2628р. URL: <http://www.consultant.ru/edu/student/study/links> (дата обращения: 04.05.2021 г.).
10. Методика оценки и критерии экономической эффективности отправок маршрутов [Электронный ресурс]: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 30 мая 2017 г. № 1026р. URL: <http://www.consultant.ru/edu/student/study/links> (дата обращения: 04.05.2021 г.).
11. Мирошниченко О. Ф., Рышков А. В., Грановская Г. А. Оценка последствий и рисков введения института локальных перевозчиков и отделения перевозочной деятельности от инфраструктуры ОАО «РЖД» // Научное обеспечение инновационного развития и повышения эффективности деятельности железнодорожного транспорта / под ред. Б. М. Лапидуса. М.: Mittel Press, 2014. С. 71–78.
12. Повышение эффективности инноваций и мотивация их внедрения на железных дорогах России: науч.-метод. пособие / под ред. М. М. Толкачевой, Г. Е. Писаревского. М.: Интекст, 2014. 152 с.

13. Научно-методические основы построения номенклатуры расходов в железнодорожном транспорте / А. П. Абрамов [и др.] // Вестник ВНИИЖТ. 2003. № 3. С. 3–9.

14. Ефимова Е. Н., Морозова М. В. Новые методические подходы к экономической оценке изменения показателей эксплуатационной работы // Железнодорожный транспорт. 2008. № 4. С. 96–99.

15. Методика бюджетирования финансовых результатов по видам деятельности ОАО «РЖД», не связанным с осуществлением перевозок, предоставлением услуг инфраструктуры и локомотивной тяги [Электронный ресурс]: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 29 декабря 2012 г. № 2787р. URL: <http://www.consultant.ru/edu/student/study/links> (дата обращения: 04.05.2021 г.).

16. Порядок определения и мониторинга производительности труда работников холдинга [Электронный ресурс]: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 29 сентября 2016 г. № 1989р. URL: <http://www.consultant.ru/edu/student/study/links> (дата обращения: 04.05.2021 г.).

17. Методика гибкого ценообразования на услуги терминально-складского комплекса ОАО «РЖД», нерегулируемые государством, и порядок ее применения [Электронный ресурс]: утв. протоколом заседания правления ОАО «РЖД» от 29 декабря 2015 г. № 54. URL: <https://base.garant.ru/71673748> (дата обращения: 04.05.2021 г.).

18. Методика проведения регулярных специализированных маркетинговых исследований для целей корректировки моделей оптимизации тарифной политики [Электронный ресурс]: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 17 декабря 2009 г. № 2605р. URL: <http://www.consultant.ru/edu/student/study/links> (дата обращения: 04.05.2021 г.).

19. Порядок учета приведенной работы для расчета себестоимости перевозок и производительности труда, учитывающий влияние контейнерных перевозок на показатели грузооборота [Электронный ресурс]: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 28 января 2020 г. № 156/п. URL: <http://www.consultant.ru/edu/student/study/links> (дата обращения: 04.05.2021 г.).

20. Методические рекомендации по расчету расходных ставок для решения внутрикорпоративных экономических задач ОАО «РЖД» и его филиалов [Электронный ресурс]: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 31 декабря 2020 г. № 3025/п. URL: <http://www.consultant.ru/edu/student/study/links> (дата обращения: 04.05.2021 г.).

21. Методические рекомендации по расчету оценочных уровней затрат, возникающих при устранении отказов технических средств [Электронный ресурс]: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 31 декабря 2020 г. № 3025/п. URL: <http://www.consultant.ru/edu/student/study/links> (дата обращения: 04.05.2021 г.).

22. Методические рекомендации по расчету оценочных уровней затрат, возникающих при нарушении порядка организации работ с временным перерывом в движении поездов [Электронный ресурс]: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 16 февраля 2021 г. № 313/п. URL: <http://www.consultant.ru/edu/student/study/links> (дата обращения: 04.05.2021 г.).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

МАЗО Леонид Аронович,
д-р экон. наук, АО «ВНИИЖТ»

МИРОШНИЧЕНКО Ольга Федоровна,
д-р экон. наук, профессор, главный научный сотрудник, научный центр «Экономика комплексных проектов и тарифообразование», АО «ВНИИЖТ»

ЕФИМОВА Елена Николаевна,
канд. экон. наук, директор научного центра «Экономика комплексных проектов и тарифообразование», АО «ВНИИЖТ»

Статья поступила в редакцию 12.05.2021 г., принята к публикации 01.06.2021 г.

.....

Для цитирования: Мазо Л. А., Мирошнichenko О. Ф., Ефимова Е. Н. История и современность экономики железнодорожного транспорта в трудах ученых ВНИИЖТ // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2021. Т. 80. № 3. С. 168–181. DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-3-168-181>.

History and modernity of the economy of railway transport in the works of VNIIZHT scientists

L. A. MAZO, O. F. MIROSHNICHENKO, E. N. EFIMOVA

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

Abstract. The article reflects the most important areas of work and the contribution of scientists of the Department of Economics and Finance of the JSC "VNIIZHT" (now the scientific center "Economics of Complex Projects and Tariff Formation") in the development of economic science in railway transport since the foundation of the department in 1944 to the present.

Theoretical foundations for measuring the economic efficiency of capital investments and new technology in the national economy were created by the head of the department academician T. S. Khachaturov, and then adapted to the conditions of railway transport by the head of the department Dr. Tech. Sci., prof. A. E. Gibshman, head of the sector Dr. Econ. Sci., prof. N. N. Barkov and their followers. Issues of management accounting, analysis, planning of operating costs, calculating the cost of transportation, calculating the unit costs of measuring transport work are central to the research of the department. Under the scientific guidance of Dr. Econ. Sci., prof. A. P. Abramov in this area of research in the department has developed a large scientific school. In the development of scientific areas for economic incentives and increasing labor productivity and financial management, a great contribution was made by Dr. Econ. Sci., prof. M. M. Tolkacheva. Traditional scientific direction for the department of economics is the improvement of pricing for freight and passenger transportation, and other activities. Theoretical research and practical development since the beginning of the 70s of the last century were conducted under the leadership of Dr. Econ. Sci. A. V. Kreinin, and later — the head of the department Dr. Econ. Sci. L. A. Mazo. Since the mid-80s under the direction of Dr. Econ. Sci., prof. O. F. Miroshnichenko, the issues of the economy of passenger transportation stand out in a separate scientific direction, covering high-speed traffic, costs, marketing, tariffs, reforming the passenger complex.

At present, the staff of the research center continues to conduct research in the most important areas of the economy of railway transport, which contribute to the increase in the efficiency and competitiveness of Russian Railways in the transport services market.

Keywords: scientists-economists of VNIIZHT; scientific school; transport economics; theoretical basis; guidelines; practical developments

DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-3-168-181>

REFERENCES

1. Mazo L. A. *Puti povysheniya effektivnosti funktsionirovaniya zheleznnykh dorog na transportnom rynke Rossii. Sb. nauch. tr. OAO "VNIIZHT"* [Ways to improve the efficiency of the functioning of railways in the transport market of Russia. Coll. of scientific works of the JSC "VNIIZHT"]. Moscow, Intext Publ., 2000, 240 p.
2. Mazo L. A., Pisarevskiy G. E. *Ekonomika zheleznodorozhnogo transporta: problemy i resheniya. Sb. nauch. tr. OAO "VNIIZHT"* [Economy of railway transport: problems and solutions. Coll. of scientific works of the JSC "VNIIZHT"]. Moscow, Intext Publ., 2005, 352 p.
3. Miroshnichenko O. F. *Ekonomicheskie problemy razvitiya zheleznodorozhnogo transporta na etapakh ego innovatsion-*

nykh i strukturnykh preobrazovaniy. Sb. nauch. tr. OAO "VNIIZHT" [Economic problems of the development of railway transport at the stages of its innovative and structural transformations. Coll. of scientific works of the JSC "VNIIZHT"]. Moscow, Intext Publ., 2009, 279 p.

4. Miroshnichenko O. F. *Aktual'nye problemy zheleznodorozhnogo transporta i puti ikh resheniya. Sb. nauch. tr. OAO "VNIIZHT"* [Actual problems of railway transport and ways to solve them. Coll. of scientific works of the JSC "VNIIZHT"]. Moscow, VMG-Print Publ., 2014, 257 p.

5. Miroshnichenko O. F. *Ekonomicheskie issledovaniya zheleznodorozhnogo kompleksa i ikh prakticheskoe znachenie. Sb. nauch. tr. OAO "VNIIZHT"* [Economic research of the railway complex and their practical significance. Coll. of scientific works of the JSC "VNIIZHT"]. Moscow, RAS Publ., 2019, 209 p.

6. Miroshnichenko O. F. *Metodicheskoe obespechenie raschetov ekonomicheskoy effektivnosti sooruzheniya vysokoskorostnykh liniy* [Methodological support for calculating the economic efficiency of the construction of high-speed lines]. Vestnik VNIIZHT [Vestnik of the Railway Research Institute], 1993, no. 2, pp. 31–35.

7. *Methodological recommendations for calculating the economic efficiency of new equipment, technology, intellectual property objects and rationalization proposals.* Approved by the order of the JSC "Russian Railways" dated November 28, 2008 No. 2538r. URL: <http://www.consultant.ru/edu/student/study/links> (retrieved on 04.05.2021) (in Russ.).

8. *Procedure for determining the effectiveness of the formation and driving of connected trains in all types of traffic based on the criteria of economic feasibility, the state and load of infrastructure, traffic safety.* Approved by order of the JSC "Russian Railways" dated December 28, 2015 No. 3109r. URL: <http://www.consultant.ru/edu/student/study/links> (retrieved on 04.05.2021) (in Russ.).

9. *Comprehensive methodology for assessing the technological and economic efficiency of heavy traffic and driving connected trains on railway lines, taking into account their impact on the cost of the life cycle of infrastructure facilities and traction rolling stock.* Approved by order of the JSC "Russian Railways" dated December 22, 2016 No. 2628r. URL: <http://www.consultant.ru/edu/student/study/links> (retrieved on 04.05.2021) (in Russ.).

10. *Methodology for assessing and criteria for the economic efficiency of shipping routes.* Approved by the order of the JSC "Russian Railways" dated May 30, 2017 No. 1026r. URL: <http://www.consultant.ru/edu/student/study/links> (retrieved on 04.05.2021) (in Russ.).

11. Miroshnichenko O. F., Ryshkov A. V., Granovskaya G. A., Lapidus B. M. *Otsenka posledstviy i riskov vvedeniya instituta lokal'nykh perevozchikov i otdeleniya perevozhnoy deyatel'nosti ot infrastruktury OAO "RZhD"* [Assessment of the consequences and risks of introducing the institution of local carriers and the separation of transportation activities from the infrastructure of the JSC "Russian Railways"]. Nauchnoe obespechenie innovatsionnogo razvitiya i povysheniya effektivnosti deyatel'nosti zheleznodorozhnogo transporta [Scientific support for innovative development and increasing

the efficiency of railway transport]. Moscow, Mittel Press Publ., 2014, pp. 71–78.

12. Tol'kacheva M. M., Pisarevskiy G. E. *Povyshenie effektivnosti innovatsiy i motivatsiya ikh vnedreniya na zheleznnykh dorogakh Rossii. Nauch.-metod. posobie* [Increasing the efficiency of innovations and the motivation for its implementation on the Russian Railways. Scientific and methodological manual]. Moscow, Intext Publ., 2014. 152 p.

13. Abramov A. P., Vasil'eva G. A., Vol'fon A. L., Mikhel' N. V. *Nauchno-metodicheskie osnovy postroeniya nomenklatury raskhodov v zheleznodorozhnom transporte* [Scientific and methodological foundations for constructing the nomenclature of costs in railway transport]. Vestnik VNIIZhT [Vestnik of the Railway Research Institute], 2003, no. 3, pp. 3–9.

14. Efimova E. N., Morozova M. V. *Novye metodicheskie podkhody k ekonomicheskoy otsenke izmeneniya pokazateley ekspluatatsionnoy raboty* [New methodological approaches to the economic assessment of changes in performance indicators]. Zheleznodorozhnyy transport, 2008, no. 4, pp. 96–99.

15. *Methodology for budgeting financial results by the types of activities of the JSC "Russian Railways", not related to the implementation of transportation, the provision of infrastructure and locomotive traction services*. Approved by order of the JSC "Russian Railways" dated December 29, 2012 No. 2787r. URL: <http://www.consultant.ru/edu/student/study/links> (retrieved on 04.05.2021) (in Russ.).

16. *Procedure for determining and monitoring labor productivity of employees of the holding*. Approved by order of the JSC "Russian Railways" dated September 29, 2016 No. 1989r. URL: <http://www.consultant.ru/edu/student/study/links> (retrieved on 04.05.2021) (in Russ.).

17. *Method of flexible pricing for the services of the terminal and warehouse complex of Russian Railways, not regulated by the state, and the procedure for its application*. Approved by the minutes of the meeting of the Management Board of the JSC "Russian Railways" dated December 29, 2015 No. 54. URL: <https://base.garant.ru/71673748> (retrieved on 04.05.2021) (in Russ.).

18. *Methodology for conducting regular specialized marketing research for the purpose of adjusting the models of optimization of*

tariff policy. Approved by order of the JSC "Russian Railways" dated December 17, 2009 No. 2605r. URL: <http://www.consultant.ru/edu/student/study/links> (retrieved on 04.05.2021) (in Russ.).

19. *Accounting procedure for the reduced work to calculate the cost of transportation and labor productivity, taking into account the impact of container traffic on the indicators of freight turnover*. Approved by order of the JSC "Russian Railways" dated January 28, 2020 No. 156/r. URL: <http://www.consultant.ru/edu/student/study/links> (retrieved on 04.05.2021) (in Russ.).

20. *Methodological recommendations for calculating expense rates for solving internal corporate economic tasks of the "Russian Railways" and its branches*. Approved by order of the JSC "Russian Railways" dated December 31, 2020 No. 3025/r. URL: <http://www.consultant.ru/edu/student/study/links> (retrieved on 04.05.2021) (in Russ.).

21. *Guidelines for calculating the estimated levels of costs arising from the elimination of failures of technical means*. Approved by order of the JSC "Russian Railways" dated December 31, 2020 No. 3025/r. URL: <http://www.consultant.ru/edu/student/study/links> (retrieved on 04.05.2021) (in Russ.).

22. *Guidelines for calculating the estimated levels of costs arising in violation of the procedure for organizing work with a temporary break in the train motion*. Approved by order of the JSC "Russian Railways" dated February 16, 2021 No. 313/r. URL: <http://www.consultant.ru/edu/student/study/links> (retrieved on 04.05.2021) (in Russ.).

ABOUT THE AUTHORS

Leonid A. MAZO,
Dr. Sci. (Econ.), JSC "VNIIZHT"

Ol'ga F. MIROSHNICHENKO,
Dr. Sci. (Econ.), Professor, Chief Researcher, Scientific Center "Economics of complex projects and tariff setting", JSC "VNIIZHT"

Elena N. EFIMOVA,
Cand. Sci. (Econ.), Director of the Scientific Center "Economics of complex projects and tariff setting", JSC "VNIIZHT"

Received 12.05.2021

Accepted 01.06.2021

■ E-mail: Miroshnichenko.olga@vniizht.ru (O. F. Miroshnichenko)

For citation: Mazo L. A., Miroshnichenko O. F., Efimova E. N. History and modernity of the economy of railway transport in the works of VNIIZHT scientists // VNIIZHT Scientific Journal. 2021. 80 (3): 168–181 (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-3-168-181>.

ВЫШЛИ В СВЕТ ТРУДЫ ВНИИЖТ

АСУ «Экспресс» — автоматизированная система управления пассажирскими перевозками на железнодорожном транспорте / под ред. А. В. Комиссарова. 2-е изд. М.: РАС, 2019. 68 с.

Коллектив авторов: Г. А. Антонова, А. С. Бабенко, М. П. Берёзка, М. И. Бобренкова, Ю. А. Гаврина, Т. В. Гнисюк, М. А. Гупаленко, В. А. Добычина, С. Б. Елизаров, Н. Б. Караванова, Т. А. Карпеева, А. В. Комиссаров, С. П. Кузякова, Е. Ю. Лёв, Н. Э. Магура, Е. А. Макарова, Е. А. Мартынова, О. В. Минаева, С. В. Муктепавел, О. В. Реванченкова, А. П. Рубинская, Е. М. Сивинцева, И. Н. Спесивцева, Е. И. Стасенкова, К. В. Суржин, М. В. Толмачёва, Г. М. Турсуматова, Е. В. Успенская.

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

Во втором издании актуализированы и расширены описания текущего состояния информационных технологий системы «Экспресс-3», книга стала более удобной для чтения.

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

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.

Энциклопедия знаний о дефектах рельсов: рецензия на книгу К.-О. Эделя, Г. Будницкого, Т. Шнитцера «Дефекты рельсов. Напряжения и повреждения». Том 1

Е. А. ШУР

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

Аннотация. В рецензии проведен анализ вышедшей в издательстве Springer Vieweg монографии, в которой представлены научные подходы к проблемам образования дефектов в железнодорожных рельсах. К преимуществам рецензируемой книги следует отнести анализ статистических данных об отказах рельсов, описание методов испытаний, диагностики повреждений. В книге подробно рассмотрены широко распространенные различные виды контактно-усталостных дефектов, образующихся при эксплуатации в головке рельсов: внутренние продольные подповерхностные трещины (shelling), множественные поверхностные параллельные трещины (head checks), поверхностные конические трещины в средней части поверхности катания с большей или меньшей степенью деформации (squats und studs).

Ключевые слова: железнодорожные рельсы; трещины; контактно-усталостные дефекты; статистика повреждений; методы испытаний; диагностика

Издательство Springer Vieweg выпустило монографию, посвященную дефектам, которые развиваются при эксплуатации железнодорожных рельсов и определяют как продолжительность их службы, так и безопасность движения. В первом томе представлен классический подход к изучению напряжений и повреждений железнодорожных рельсов, а во втором томе будут обобщены решения, которые позволяют получить по отношению к проблемам повреждений рельсов современная механика разрушений.

В отличие от других книг, выпущенных в последние годы по рельсам и посвященных повреждаемости рельсов [1], их ресурсу [2], надежности пути [3], системе ведения путевого хозяйства [4], расчетам верхнего строения пути [5], заводским дефектам рельсов [6], износу рельсов [7] и путевой дефектоскопии [8], в данной монографии освещены все эти вопросы в одной книге и взаимосвязано.

Существующие во всем мире тенденции повышения нагрузок на ось и грузонапряженности в грузовом движении, а также увеличения скоростей движения пассажирских поездов ужесточают усло-

вия эксплуатации рельсов, что приводит к росту их повреждаемости. Это определяет научную и практическую актуальность обобщения многолетней истории борьбы с износом и эксплуатационными повреждениями рельсов на основе изучения их природы, статистических наблюдений за их развитием, совершенствования методов расчета рельсов на прочность и контроля за появляющимися дефектами в пути.

Структура монографии достаточно четко обоснована и определяется тем, что комплексный характер «рельсовой проблемы» требует комплексного ответа в ходе мониторинга, исследований, расчетов, наблюдений и дефектоскопирования рельсов в процессе эксплуатации.

В первом томе монографии использована следующая последовательность изложения материалов о научных подходах к проблемам образования дефектов в железнодорожных рельсах. В первой главе коротко рассмотрены повреждения чугунных рельсов и рельсов из пудлингового железа на заре железных дорог.

Вторая глава посвящена проблемам систематизации дефектов рельсов, которая начиная с 1930-х гг. развивалась и совершенствовалась в разных странах. К сожалению, авторы не высказали своего мнения о преимуществах и недостатках классификаций рельсов, принятых в настоящее время в Северной Америке, Европе, России, Китае и международных организациях.

В третьей главе подробно освещен опыт многолетних наблюдений за процессами образования различных дефектов в рельсах. Отдельно рассмотрены последствия и материальный ущерб в случаях, если дефекты в рельсах выявляются своевременно, если они приводят к изломам рельсов и в тех случаях, когда изломы рельсов служат причиной сходов с рельсов подвижного состава с аварийными последствиями. Обобщены закономерности кинетики роста эллиптических трещин в головках рельсов по мере увеличения

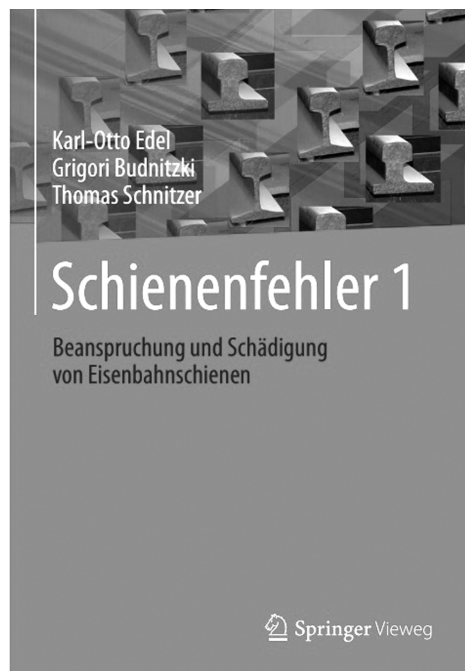
пропущенного по ним груза. Аналогичные работы были проведены по наблюдениям за ростом трещин от отверстий в шейке рельсов и поперечных трещин, растущих от поверхности головки или подошвы рельсов при нагружении их изгибом.

Наиболее подробно рассмотрены широко распространенные различные виды контактно-усталостных дефектов, образующихся при эксплуатации в головке рельсов: внутренние продольные подповерхностные трещины (shelling), множественные поверхностные параллельные трещины (head checks), поверхностные конические трещины в средней части поверхности катания с большей или меньшей степенью деформации (squats und studs). К сожалению, рассмотрение всех этих контактно-усталостных дефектов ограничено в основном горячекатаными рельсами. Особенности повреждаемости термоупрочненных рельсов с твердостью не НВ 260–300, а НВ 350–400 остались не освещенными.

Большое место в книге занимает анализ статистических данных об отказах рельсов. Целью периодической оценки отчетов об изъятых или сломавшихся рельсах является определение числа изъятых рельсов в зависимости от типа повреждений, марки стали, производителей рельсов, года прокатки, типа тяги, нагрузок на ось и многих других параметров. Задача заключается в том, чтобы выявить причины повреждений рельсов и в конечном итоге повлиять на повышение эксплуатационной безопасности железной дороги путем принятия контрмер и доказательства их эффективности.

Обсуждаются проблемы обеспечения сопоставимости статистических данных и необходимости многолетних наблюдений для получения достоверной статистической информации. Рассмотрены статистические данные о влиянии нагрузок на ось, скорости движения, наработки, износа, температуры и различных способов сварки на изломы рельсов. К сожалению, большинство данных относится к 1970-м гг., когда длина, погонная масса, технология прокатки и термической обработки существенно отличались от рельсов современного производства.

В четвертой главе рассмотрены вопросы долговечности железнодорожных рельсов. Этот процесс тесно связан с совершенствованием конструкции рельсов и железнодорожного пути в целом. Параллельно кардинально изменялись способы производства рельсовой стали и происходил переход от коротких рельсов, соединенных болтами и накладками, к бесстыковому сварному пути. Значительный прогресс в повышении сопротивления повреждаемости рельсов был связан с переходом от разливки рельсовой стали в слитки к непрерывной разливке, переходу к прокатке рельсов в универсальных клетях, широкому внедрению упрочняющей термической обработки.



Karl-Otto Edel, Grigori Budnitzki, Thomas Schnitzer.
Schienenfehler 1. Beanspruchung und Schädigung
von Eisenbahnschienen. Wiesbaden: Springer Vieweg,
2021. 606 p.

Подробно описан многолетний прогресс в методах испытания рельсов и рельсовой стали при статическом, динамическом и циклическом нагружении. Результаты этих испытаний составили основу приемочных испытаний и вошли в условия поставки, а затем и в национальные и международные стандарты на рельсы. Для современных стандартов характерно проведение испытаний и на образцах, и на полнопрофильных пробах. Проведение усталостных испытаний дополняется испытаниями образцов с трещинами в соответствии с методами механики разрушения. В общий комплекс разнообразных испытаний входят и методы определения остаточных напряжений. Единственное, в чем можно упрекнуть авторов, это то, что они чрезмерное внимание уделяют истории совершенствования рельсов и их испытаний в ущерб обсуждению современных проблем в этих вопросах.

Подробно описаны различные мероприятия, предпринимаемые в пути по поддержанию нормального содержания рельсов. К ним относится и борьба с ползунами на колесах подвижного состава, которые приводят к недопустимым ударным нагрузкам рельсов, и контроль температурных напряжений, которые могут привести к потере устойчивости рельсов в пути. В процессе эксплуатации рельсов должны быть предотвращены механические, термические и электротермические повреждения, которые могут

приводить к их разрушению. Важную роль в восстановлении работоспособности рельсов играет их периодическое шлифование в пути, улучшающее их прямолинейность и устраняющее волнообразный износ и контактно-усталостные повреждения поверхности головки.

Рассмотрены основы и периодичность магнитного и ультразвукового неразрушающего контроля рельсов в пути — основного метода своевременного обнаружения дефектов рельсов и предотвращения их разрушения. Растущие поперечные усталостные трещины в головке рельсов должны быть выявлены при неразрушающем контроле в процессе эксплуатации до достижения ими критического размера, который на российских железных дорогах составляет 20–30 % от сечения головки, а на европейских — 45–55 %.

Пятая глава посвящена напряжениям в железнодорожных рельсах. Рассмотрены теоретические основы расчета сил, моментов, напряжений и деформаций при нагружении рельсов. Собраны достаточно полные данные о физико-механических свойствах различных рельсовых сталей с временным сопротивлением от 200 до 400 МПа в рельсах с погонной массой от 50 до 70 кг/м. Большое внимание уделено остаточным напряжениям в рельсах и в сварных швах. Напряжения в рельсах существенно зависят от нагрузок на ось и скорости движения подвижного состава, которые заметно росли с годами, температур закрепления плетей бесстыкового пути. Обсуждается изменение свойств поверхностных слоев головки рельсов в результате холодной пластической деформации и наклепа под воздействием колес подвижного состава. При этом не только увеличиваются твердость и прочностные свойства наклепанного рельсового металла, но и снижается его пластичность и сопротивление хрупкому разрушению.

Подробно обсуждены особенности динамического нагружения рельсов колесами по сравнению со статическим при повышении скорости движения и наличии различных неровностей. Приведены максимальные значения динамических сил от колесного нагружения и их распределение. В рамках классической теории усталости обсуждается влияние частоты и скорости нагружения на увеличение напряжений в потенциальных точках начала зарождения трещин. Дополнительно рассмотрены силы, возникающие в рельсах при торможении.

Поскольку температура оказывает существенное влияние на вероятность появлений изломов рельсов, вполне оправдано подробное рассмотрение вопросов температуры рельсов. Это относится к изменению температуры в течение суток и года, соотношению температур рельсов и воздуха, экстремальным и кри-

тическим значениям температур, температурам закрепления бесстыкового пути.

Приведены решения по определению напряжений и деформаций при продольном изгибе рельсов в бесстыковом пути под действием температурных сил, напряжений в различных частях профиля при поперечном изгибе, рассмотрены особенности напряженного состояния вблизи концов рельсов, соединенных накладками и в свободном состоянии, в шейке рельсов вблизи отверстий, в переходных рельсах от одного профиля к другому. Поскольку в настоящее время максимальную долю в общей повреждаемости рельсов занимают дефекты контактной усталости, особый интерес представляют контактные напряжения в местах приложения сил между колесом и рельсом. Этому комплексу проблем, связанному с оценкой контактных напряжений при разном сочетании различной степени изношенности колес и рельсов в кривых разных радиусов, следовало бы уделить большее внимание, чем это сделано в книге. Вообще проблемы износа рельсов и смазки как основного средства борьбы с ним освещены недостаточно.

В каждой из пяти глав имеется обширная библиография. К сожалению, старые работы в ней представлены более полно, чем современные.

Оценивая книгу «Дефекты рельсов» в целом, нельзя не отметить, что она представляет собой энциклопедически полный обзор многолетних работ по такому важному вопросу, как природа повреждений рельсов. С нетерпением ждем второй том этой книги, посвященный применению механики разрушения и проблемам разрушения рельсов.

Книга будет полезна широкому кругу путейцев, прочистов, металлургов и сварщиков, занимающихся проблемами железнодорожных рельсов.

Приятно отметить, что один из авторов монографии (Григорий Будницкий) является выпускником аспирантуры ВНИИЖТ, достаточно долго проработал в нашем институте и защитил здесь свою кандидатскую диссертацию.

Рецензируемая книга убедительно свидетельствует о том, что многолетний процесс совершенствования конструкции железнодорожного пути и рельсов и сегодня не завершен. Из-за повышенных нагрузок, перемещающихся по рельсам, и повышенных скоростей движения в рельсах возникают новые дефекты, которые необходимо устранять в интересах безопасности и экономии. Нельзя не согласиться с авторами, что вопросы о том, когда и как их нужно устранять, когда нужно заменять рельсы, нельзя разрешать просто на основе опыта работы путейцев. Эти вопросы должны являться объектом технической науки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шур Е. А. Повреждения рельсов. М.: Интекст, 2012. 192 с.
2. Крутиков А. М. Ресурс и срок службы рельсов Р65. Донецк: Nord-press, 2005. 158 с.
3. Надежность железнодорожного пути / под ред. В. С. Лысюка. М.: Транспорт, 2001. 286 с.
4. Каменский В. Б. Направления совершенствования системы ведения путевого хозяйства. М.: Академкнига, 2006. 392 с.
5. Шахунянц Г. М. Расчеты верхнего строения пути. М.: Трансжелдориздат, 1959. 264 с.
6. Дефекты и качество рельсовой стали: справочник / В. В. Павлов [и др.]. М.: Теплотехник, 2006. 218 с.

7. Лужнов Ю. М. Сцепление колес с рельсами (природа и закономерности). М.: Интекст, 2003. 144 с.
8. Марков А. А., Шпагин Д. А. Ультразвуковая дефектоскопия рельсов. СПб.: Образование – Культура, 2008. 281 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

ШУР Евгений Авелевич,

д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник, НЦ «Рельсы, сварка, транспортное материаловедение», АО «ВНИИЖТ»

Статья поступила в редакцию 12.05.2021 г., принята к публикации 18.05.2021 г.

Для цитирования: Шур Е. А. Энциклопедия знаний о дефектах рельсов: рецензия на книгу К.-О. Эделя, Г. Будницкого, Т. Шнитцера «Дефекты рельсов. Напряжения и повреждения». Том 1 // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2021. Т. 80. № 3. С. 182–185. DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-3-182-185>.

Best practices about rail defects: a review of the book “Defects of rails. Stresses and Damages”, Vol. 1 by K.-O. Edel, G. Budnitskiy, T. Schnitzer

E. A. SHUR

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

Abstract. The review analyzes a monograph published by Springer Vieweg publishing house, which presents scientific approaches to the problems of defect formation in railway rails. The advantages of the book under review include the analysis of statistical data on rail failures, description of test methods and damage diagnostics. The book discusses in detail the widely occurring types of contact-fatigue defects formed during operation in the rail head: internal longitudinal shelling, multiple parallel head checks, surface squats and studs in the middle of the rolling surface with a greater or lesser degree deformations.

Keywords: railway rails; cracks; contact fatigue defects; damage statistics; test methods; diagnostics

DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-3-182-185>

REFERENCES

1. Shur E. A. *Povrezhdeniya rel'sov* [Damage to rails]. Moscow, Intext Publ., 2012, 192 p.
2. Krutikov A. M. *Resurs i srok sluzhby rel'sov R65* [Resource and service life of R65 rails]. Donetsk, Nord-press Publ., 2005, 158 p.
3. Lysyuk V. S. *Nadezhnost' zheleznodorozhnogo puti* [Reliability of the railway track]. Moscow, Transport Publ., 2001, 286 p.

4. Kamenskiy V. B. *Napravleniya sovershenstvovaniya sistemy vedeniya putevogo khozyaystva* [Directions of improving the system of track management]. Moscow, Akademkniga Publ., 2006, 392 p.

5. Shakhunyants G. M. *Raschety verkhnego stroeniya puti* [Calculations of the upper structure of the track]. Moscow, Transzhel-dorizdat Publ., 1959, 264 p.

6. Pavlov V. V., Temlyantsev M. V., Korneva L. V., Oskolkova T. N., Gavrilov V. V. *Defekty i kachestvo rel'sovoy stali. Spravochnik* [Defects and quality of rail steel. Reference book]. Moscow, Teplotekhnika Publ., 2006, 218 p.

7. Luzhnov Yu. M. *Stsepleniye koles s rel'sami (priroda i zakonomernosti)* [Coupling of wheels with rails (nature and patterns)]. Moscow, Intext Publ., 2003, 144 p.

8. Markov A. A., Shpagin D. A. *Ul'trazvukovaya defektoskopiya rel'sov* [Ultrasonic flaw detection of rails]. St. Petersburg, Obrazovanie – Kul'tura [Education – Culture] Publ., 2008, 281 p.

ABOUT THE AUTHOR

Evgeniy A. SHUR,

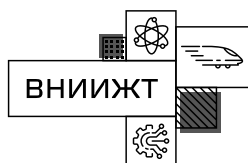
Dr. Sci. (Eng.), Professor, Chief Researcher, SC “Rails, welding, transport materials science”, JSC “VNIIZHT”

Received 12.05.2021

Accepted 18.05.2021

■ E-mail: shurea@mail.ru (E. A. Shur)

For citation: Shur E. A. Best practices about rail defects: a review of the book “Defects of rails. Stresses and Damages”, Vol. 1 by K.-O. Edel, G. Budnitskiy, T. Schnitzer // VNIIZHT Scientific Journal. 2021. 80 (3): 182–185 (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-3-182-185>.



Учредитель научно-технического журнала
«Вестник ВНИИЖТ»:
**АО «Научно-исследовательский институт
железнодорожного транспорта» (АО «ВНИИЖТ»)**



Журнал издается с 1942 г.

РУБРИКИ ЖУРНАЛА:

Технические средства железнодорожного транспорта:

05.22.06 Железнодорожный путь, изыскание и проектирование железных дорог

05.22.07 Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация

Автоматизация и управление технологическими процессами на железнодорожном транспорте:

05.22.08 Управление процессами перевозок

05.13.06 Автоматизация и управление технологическими процессами на железнодорожном транспорте

Транспортное материаловедение:

05.16.01 Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов

05.16.09 Материаловедение (на железнодорожном транспорте)

05.02.04 Трение и износ в машинах

Экономика и управление народным хозяйством:

08.00.05 Экономика, организация и управление предприятиями, отраслями и комплексами (Транспорт)

**Журнал «Вестник ВНИИЖТ» входит в
Перечень рецензируемых научных изданий ВАК
для опубликования результатов работ для защиты диссертаций
(Решение от 28.12.2018).**

Публикации для авторов бесплатны

www.journal-vniizht.ru

Правила оформления статей, публикуемых в журнале «Вестник ВНИИЖТ»

Статьи, направляемые в редакцию журнала «Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта», должны удовлетворять следующим требованиям:

1. Редакция журнала «Вестник ВНИИЖТ» принимает только ранее не публиковавшиеся авторские материалы — научные (практические) статьи, обзоры (обзорные статьи), соответствующие тематике нашего журнала.

2. Авторские материалы принимаются в распечатанном виде с пронумерованными страницами, в объеме 10–25 тыс. знаков, включая пробелы, на русском языке (набор через 1,5–2 интервала, размер шрифта (кегль) 14), а также в электронном виде (по электронной почте в формате текстового редактора MS Word for Windows 6.0/95/97/2000/XP/) и через сайт журнала. Для направления статьи через сайт необходимо пройти по ссылке <https://vestnik.vniizht.ru/jour/author/submit/1> и заполнить все поля формы «Отправить статью».

Текст статьи набирается с использованием минимального форматирования. Формулы следует набирать в формульном редакторе MS Word (Equation Editor) или MathType без принудительного увеличения или уменьшения размера символов. Простые формулы (или обозначения математических величин в тексте) необходимо набирать следующим образом: латинские символы — курсивом, русские буквы и функции, например $\sin$, — обычным шрифтом (прямое начертание), греческие — шрифтом Symbol (прямое начертание).

Все текстовые материалы, относящиеся к статье (кроме рисунков), желательно предоставлять в виде одного файла.

3. Наряду с текстом статьи авторы должны предоставлять в редакцию структурированную аннотацию (не менее 250 слов), ключевые слова (5–7), пристатейные библиографические списки (при этом автор отвечает за достоверность сведений, точность цитирований и ссылок на официальные документы и другие источники), оформленные в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5–2008. Пристатейные библиографические списки (список литературы) должны быть приведены в конце статьи, состоять не менее чем из 15 источников для научной статьи и не менее чем из 30 источников для обзора и содержать полные библиографические данные. Ссылки даются в оригинальной транслитерации в порядке упоминания ссылок в тексте. Ссылки на неопубликованные работы не допускаются. Также необходимо указать номер УДК в строгом соответствии с Универсальной десятичной классификацией.

4. Рисунки и графики предоставляются на отдельных листах. Они должны быть выполнены в специализированных программах (Excel и т. п.) либо в виде сканированных изображений разрешением не менее 300 точек на дюйм (dpi) с учетом их конечного размера. В последнем случае к распечатке следует прикладывать оригиналы рисунков.

Обязательно предоставление иллюстративного материала в электронном виде (форматы tif, psx, bmp, jpg, cdr, ai, eps, wmf).

5. Таблицы располагаются непосредственно в тексте статьи. Каждая таблица должна иметь заголовок. В таблицах обязательно указываются единицы измерения величин.

Ссылки в тексте на рисунки и таблицы обязательны. В конце статьи (после списка литературы) прилагается список подрисуночных подписей, в котором должны быть раскрыты все обозначения, использованные на рисунках.

6. Обозначения, принятые в статье, расшифровываются непосредственно в тексте и, кроме того, должны быть вынесены на отдельную страницу.

7. При упоминании иностранных фамилий в тексте необходимо давать их на языке оригинала в скобках после русского написания (за исключением общеизвестных фамилий, встречающихся в энциклопедии, и фамилий, на которые даются ссылки в списке литературы). При упоминании иностранных учреждений, фирм, фирменных продуктов и т. д. в русской транслитерации в скобках должно быть дано их оригинальное написание.

8. Размерность всех величин, принятых в статье, должна соответствовать Международной системе единиц измерений (СИ). Не следует употреблять сокращенных слов, кроме общепринятых (например — т. е., и т. д., и т. п.).

9. Статья должна быть подписана автором(-ами). Автору(-ам) необходимо на отдельной странице сообщить о себе на русском и английском языках следующие сведения: фамилия, имя, отчество, полный рабочий почтовый адрес, телефон, факс, адрес электронной почты, а также место работы, должность, ученое звание, ученую степень. Обязательно указать автора, с которым следует вести переписку. Вместе со статьей в редакцию направляется официальное разрешение на бланке организации о возможности опубликования научных результатов исследования в открытой печати.

10. Все статьи проходят рецензирование.

11. Редакция оставляет за собой право производить редакционные изменения и сокращения, не искажающие основного содержания статьи.

12. Требования к рекламным материалам: фото; текст на 1–2 стр; почтовый адрес, название организации, телефон/факс, электронный адрес (для дополнительной информации об использовании предлагаемого устройства, прибора, оборудования и др.) или готовый макет рекламного модуля в формате pdf (после предварительного согласования).

13. Плата с авторов за публикацию рукописей не взимается.

14. Материалы, присланные в редакцию, обратно не высылаются.

Справки по телефонам: (495) 602-81-10, 602-80-37, e-mail: journal@vniizht.ru

«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 и др.

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 (495) 602-84-56, e-mail: journal@vniizht.ru.

Подписчики стран ближнего и дальнего зарубежья могут оформить подписку на журнал «Вестник ВНИИЖТ» в агентстве «Урал-Пресс» (Ural-Press, export@ural-press.ru).



VNIIZHT Scientific Journal

The founder (publisher) of journal — JSC “VNIIZHT” (Joint Stock Company Railway Research Institute). Journal first published in 1942, is published six times a year.

ISSN 2223-9731

The purpose of the journal — presentation of results of scientific researches and developments in the field of enhancement of transport technologies and technical means of railway transport in the directions traffic safety, infrastructure, traction rolling stock, wagons, high-speed and heavy haul transport, interaction of track and railway vehicles, transport materials science, management of transportation process, energy efficiency, resource-saving, economy, logistics.

Publication language: Russian, English. Russian (full text) with English contents, titles, abstracts, keywords, references etc.

Subscription

You may sign up for a subscription of the VNIIZHT Scientific Journal from subscription agency Ural-Press, Export & Import Department: export@ural-press.ru, phone +7 (499) 705 91 55 for Print version or via the Scientific Electronic Library <http://www.elibrary.ru> for Digital version.

Subscription index — 70116

You may also sign up for a subscription (annual or semi-annual) on contract terms at the editorial office. Address of the journal's editorial office: 10, 3rd Mytischinskaya str., Moscow, 129626, tel.: +7 (495) 602 84 56, e-mail: journal@vniizht.ru.

The journal is presented on the Internet at: <https://www.journal-vniizht.ru/jour/index>



Аспирантура АО «ВНИИЖТ»

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

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

Прием документов с 1 по 21 сентября

Вступительные испытания:
иностранный язык; специальная дисциплина,
соответствующая направленности (профилю) программы

Период проведения вступительных испытаний
с 4 по 22 октября

Подробная информация на сайте АО «ВНИИЖТ»
www.vniizht.ru.



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

2 Great Shows 1 Exciting Rail Event

Book Your Stand Now

**Joining forces
to shape the future of UK rail**

In 2021 Railtex will play host to Infrarail.

The UK's most important events in the rail calendar will come together to form the ultimate show for the rail industry.

To be part of the most comprehensive rail exhibition of 2021 contact the team on **+44 (0)1727 814 400** or via email **uk-railhub@mackbrooks.co.uk**

**7-9 Sept 2021
NEC, Birmingham**

www.uk-railhub.com



RAILTEX

**15th International Exhibition of
Railway Equipment, Systems & Services**



INFRARAIL

**13th International Railway
Infrastructure Exhibition**