

Вестник

Научно-исследовательского института
железнодорожного транспорта

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

Издается с 1942 г.

Том 80, № 6, 2021



**1942
2022**

журналу
ВНИИЖТ

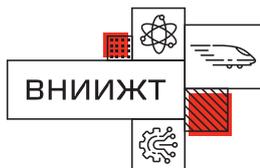
80

лет

Техника
Железных дорог



Вестник **ВНИИЖТ**



**Учредитель научно-технического журнала
«Вестник ВНИИЖТ»**
АО «Научно-исследовательский институт
железнодорожного транспорта» (АО «ВНИИЖТ»)

РУБРИКИ ЖУРНАЛА

Технические средства железнодорожного транспорта:

- Железнодорожный путь, изыскание и проектирование железных дорог
- Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация

Автоматизация и управление технологическими процессами на железнодорожном транспорте:

- Управление процессами перевозок
- Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами

Транспортное материаловедение:

- Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов
- Материаловедение
- Трение и износ в машинах

Экономика и управление:

- Региональная и отраслевая экономика
- Логистика и управление цепями поставок

Журнал «Вестник ВНИИЖТ»

входит в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (решение ВАК от 28.12.2018 г.) по научным специальностям:

- 05.02.02 – Машиноведение системы приводов и детали машин
- 05.02.04 – Трение и износ в машинах
- 05.02.18 – Теория механизмов и машин
- 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов
- 05.16.09 – Материаловедение
- 05.22.01 – Транспортные и транспортно-технологические системы страны ее регионов и городов, организация производства на транспорте
- 05.22.06 – Железнодорожный путь, изыскание и проектирование железных дорог
- 05.22.07 – Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация
- 05.22.08 – Управление процессами перевозок



Статьи в журнале публикуются бесплатно

<https://www.journal-vniizht.ru>

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

Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта

Вестник ВНИИЖТ | Том 80, 6/2021
DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-6>

СОДЕРЖАНИЕ

Contents 318

Технические средства железнодорожного транспорта

Условия эксплуатации вагонов-контейнеров в железнодорожных поездах специального формирования
А. М. Бржезовский, Н. М. Волуйский 319–326

Методика оценки работоспособности бесстыкового пути по критерию соответствия действительной температуры закрепления рельса нормируемому значению
Г. М. Волохов, С. В. Чунин, А. В. Ушанов 327–333

Особенности оценки состояния и поведения низководных мостов
А. А. Локтев, В. В. Королев, И. В. Шишкина 334–342

Инновационная тормозная система скоростной 80-футовой платформы
В. А. Никонов, В. Ф. Зубков, М. Н. Цибизов, И. В. Назаров, Д. В. Горский 343–350

Аспекты проектирования и расчета железнодорожного пути, предназначенного для выделенных пассажирских линий
Д. В. Овчинников, К. А. Кульгин 351–358

Показатели силового взаимодействия пути и подвижного состава при движении грузового вагона по длинным неровностям с учетом действия продольных сил
Е. А. Сидорова, В. О. Певзнер, А. И. Чечельницкий 359–365

ВНИИЖТ: вчера, сегодня, завтра

Журналу ВНИИЖТ — 80 лет! Часть I. Военные годы
А. Б. Косарев, О. Н. Римская, И. В. Анохов, И. В. Сиротенко 366–373

Содержание журнала за 2021 год 374–375

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 22.12.2021. www.journal-vniizht.ru АО «ВНИИЖТ», 2021

Формат бумаги 60×90 1/8.
Офсетная печать. Усл. печ. л. 7,5.
Тираж 300 экз. Заказ 632.
Отпечатано издательско-полиграфическим предприятием ООО «ИПП «КУНА», 125167, Москва, Ленинградский пр., д. 47, стр. 4. Тел. (495) 795-02-97.
Цена свободная.

Russian Railway Science

Vol. 80, 6/2021

DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-6>

Contents

Technical means of railway transport

- Operating conditions of container cars in railway trains of special formation
by A. M. Brzhezovskiy, N. M. Voluyskiy 319–326
- Methodic for evaluating the performance of a continuous welded track according to the criterion of compliance of the actual rail fastening temperature with the standardized value
by G. M. Volokhov, S. V. Chunin, A. V. Ushanov 327–333
- Features of assessing the condition and behavior of low-water bridges
by A. A. Loktev, V. V. Korolev, I. V. Shishkina 334–342
- Innovative braking system for high-speed 80-foot platform
by V. A. Nikonov, V. F. Zubkov, M. N. Tsimbuzov, I. V. Nazarov, D. V. Gorskiy 343–350
- Aspects of design and calculation of a railway track intended for dedicated passenger lines
by D. V. Ovchinnikov, K. A. Kul'gin 351–358
- Indicators of the force interaction of the track and rolling stock when a freight car runs on long irregularities, taking into account the action of longitudinal forces
by E. A. Sidorova, V. O. Pevzner, A. I. Chechel'nitskiy 359–365

VNIIZHT: yesterday, today, tomorrow

- VNIIZHT Scientific Journal celebrates 80th anniversary! Part I. The war years
by A. B. Kosarev, O. N. Rimskaya, I. V. Anokhov, I. V. Sirotenko 366–373

General contents of the journal in 2021 374–375

Editorial Board:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Igor' V. Anokhov
Cand. Sci. (Econ.), Associate Prof.,
JSC "VNIIZHT",
Moscow, Russian Federation

Igor' V. Sirotenko
Cand. Sci. (Eng.),
JSC "VNIIZHT", Moscow, Russian
Federation

Editorial office: 10, 3rd Mytischinskaya,
129626 Moscow, Russian Federation
Tel.: +7 (495) 602 8037, 602 8110.

Passed for printing 22.12.2021.
Circulation 300 copies.
Format 60×90 1/8.

Print: JSC "IPP "KUNA".
Tel.: +7 (495) 795 0297.
E-mail: info@paradiz.ru

Russian Railway Science

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 "NIIAC"), Moscow, Russian Federation

Alexander V. Smolyaninov,

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

Li Xuewei,

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

Victor F. Ushkalov,

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

Herman S. Fox-Rabinovich,

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

Konstantin P. Shenfeld,

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

Coenraad Esveld,

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

JSC Railway Research Institute, 2021

E-mail: journal@vniizht.ru

Условия эксплуатации вагонов-контейнеров в железнодорожных поездах специального формирования

А. М. БРЖЕЗОВСКИЙ, Н. М. ВОЛУЙСКИЙ

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

Аннотация. Рассмотрены основные технические характеристики, показатели динамических качеств и параметры тормозной эффективности специального железнодорожного подвижного состава вагонов-контейнеров (транспортеров-контейнеров), предназначенных для перевозки радиоактивных материалов — отработавшего ядерного топлива. В соответствии с действующей нормативной документацией ОАО «РЖД» в настоящее время допускается формирование специальных поездов исключительно из транспортеров-контейнеров какого-либо одного типа, что связано с особенностями технологии обращения и транспортировки отработавшего ядерного топлива, относящейся к компетенции государственной корпорации «Росатом». Однако при этом существенно увеличиваются сроки реализации отправок специальных поездов в связи с необходимостью ожидания готовности транспортеров, обусловленной неодновременностью поставок какого-либо одного вида комплектов сборок с отработавшим ядерным топливом. Практика обращения показала, что перевозка некоторых видов отработавшего ядерного топлива может производиться с совмещением транспортной операции, предполагающей объединение различных типов транспортеров-контейнеров в одном эшелоне, но при этом требуется откорректировать отдельные нормативные документы ОАО «РЖД». С этой целью по обращению корпорации «Росатом» проведен необходимый комплекс экспериментальных работ. Представлены результаты контрольных ходовых динамических, стационарных и ходовых тормозных испытаний транспортеров-контейнеров различных типов, следующих в составе одного эшелона, на инфраструктуре Экспериментального кольца АО «ВНИИЖТ», в том числе при движении по первому кольцевому пути и по различным сочетаниям стрелочных переводов по прямому (основному) и боковому направлениям. Экспериментально доказана возможность эксплуатации транспортеров-контейнеров различных типов в составе одного эшелона с соблюдением условий обеспечения безопасности движения по нормативам динамических качеств и тормозной эффективности. По результатам испытаний разработан нормативный документ ОАО «РЖД» — Положение об условиях совместной эксплуатации специальных грузовых вагонов (транспортеров) в составе одного эшелона, утвержденное распоряжением ОАО «РЖД» от 22 июля 2021 г. № 1591/р.

Ключевые слова: транспортеры-контейнеры; отработавшее ядерное топливо; динамические качества; тормозной путь

Введение. Одним из важных звеньев обращения с отработавшим ядерным топливом (ОЯТ) является

безопасная перевозка с территории размещения реакторных установок на долговременное хранение или радиохимическую переработку на предприятиях государственной корпорации (ГК) «Росатом». Перевозка ОЯТ — сложная транспортная и технологическая задача, требующая использования специализированных транспортных средств — транспортеров-контейнеров (ТК), транспортных упаковочных комплектов (ТУК), подъемно-транспортного оборудования, а также специальной организации перевозки [1, 2]. Железнодорожные перевозки ОЯТ, размещаемого в ТК, практически не имеют альтернативы. Выполнение этой задачи направлено на обеспечение необходимого уровня безопасности движения и проведения технического обслуживания подвижного состава при следовании по маршруту как в нормальных, так и в аварийных условиях [3]. Условия безопасности при перевозке ОЯТ должны обеспечиваться в соответствии с требованиями Правил безопасности при транспортировании радиоактивных материалов, утвержденных приказом Ростехнадзора от 15 сентября 2016 г. № 388 [4].

В соответствии с действующими нормативными документами ОАО «РЖД» поезда с ТК формируются отдельно по каждому из их типов, что обусловлено требованиями, предъявляемыми предприятиями ГК «Росатом» к реализации технологической цепочки по обеспечению транспортировки ОЯТ. Однако практика показала, что формирование поездов из ТК одного типа практически исключает оптимизацию логистических процедур по вывозу ОЯТ с предприятий ГК «Росатом» из-за несовпадения времени подготовки ТУК к перевозкам. В связи с этим в ряде случаев производится формирование поездов с различными типами ТК в одной отправке, что не предусматривается действующими нормативами ОАО «РЖД» и требует оформления дополнительных разрешительных документов.

По обращению ГК «Росатом» в ОАО «РЖД» и АО «ВНИИЖТ» с целью оценки практической возможности формирования специальных эшелонов, состоящих из ТК различных типов, и разработки проекта соответствующего нормативного документа

■ E-mail: s_brz@mail.ru (А. М. Бржезовский)

ОАО «РЖД» институт провел серию экспериментальных исследований и последующие расчеты применительно к эксплуатационному парку ТК, принадлежащих ФГУП «Горнохимический комбинат» (ФГУП «ГХК») (табл. 1). Решение поставленной задачи потребовало проведения экспериментальной оценки совместимости ТК различных типов как по уровням допускаемых скоростей движения в прямых, кривых участках пути и по стрелочным переводам, так и по условиям обеспечения требуемой тормозной эффективности специального поезда.

Сравнение технических характеристик показало, что ТК эксплуатационного парка ФГУП «ГХК» имеют восьми- и двенадцатиосные ходовые части, сконструированные на базе серийных грузовых тележек — двухосных (модель 18-100) и трехосных (модель 18-522А) с широким диапазоном статических осевых нагрузок брутто (от 18 до 23 тс). Все типы ТК, включенные в состав испытательного поезда, ранее

подвергались комплексным ходовым динамическим и по воздействию на путь и стрелочные переводы испытаниям на полигонах АО «ВНИИЖТ» с определением соответствия показателей взаимодействия железнодорожного экипажа и пути установленным требованиям [5, 6] и нормативам непогашенных ускорений в кривых участках пути [7]. Поэтому экспериментально определять показатели взаимодействия ТК различных типов и элементов верхнего строения пути при следовании в одном эшелоне было нецелесообразно. Методикой контрольных ходовых динамических испытаний предусматривалось применение в качестве показателей безопасности движения и качества хода ТК вертикальных и горизонтальных поперечных ускорений кузовов ТК с закрепленными в них ТУК.

С учетом разнообразия конструкций и параметров ходовых частей уровни наибольших допускаемых скоростей движения ТК составляют от 80 до 100 км/ч,

Таблица 1

Технические характеристики ТК эксплуатационного парка ФГУП «ГХК»

Table 1

Technical characteristics of container transporters (TC) of the operational fleet of FGUP "GKhK"

Параметр, размерность	Тип ТК						
	ТМ2-3	ТК-У	ТК-10	ТК-ВГ-13	ТК-13М	ТК-13Т	ТК-13Т-2
Количество осей	8	12	12	12	12	8	8
Тип тележки, их количество, ед.	18-100, 4	18-100, 6	18-522А, 4	18-522А, 4	18-100, 6	18-100, 4	18-100, 4
Длина по осям автосцепок, мм	18 360	23 410	24 000	25 300	25 300	19 020	19 020
Габарит по ГОСТ 9238–2013	1Т	1Т	02ВМ	02ВМ	02ВМ	1Т	1Т
Высота от уровня верха головки рельса до верхней точки кузова в транспортном положении, мм	5 220	5 240	21 402	4 619	4 570	4 615	4 615
База транспортера, мм	9 000	11 000	10 450	11 010	13 450	9 040	9 040
Грузоподъемность, кг, не более	128 300	130 000	120 000	135 000	126 000	116 000	116 000
Масса тары, кг, не более	54 700	83 700	73 500	75 000	84 000	55 075	55 075
Масса брутто с порожними ТУК фактическая по результатам взвешивания на Экспериментальном кольце, т	158,4	168,2	181,0	187,1	180,7	157,3	159,2
Тормоз:							
а) основной	Автоматический с воздушораспределителем 483А-01 на каждой концевой балке.	Автоматический с воздушораспределителем 483А на каждой концевой балке.	Автоматический с воздушораспределителем 483А-03 на каждой концевой балке.	Автоматический с воздушораспределителем 483А-03 на каждой концевой балке.	Автоматический с воздушораспределителем 483М на каждой концевой балке.	Автоматический с воздушораспределителем 483М на каждой концевой балке.	Автоматический с воздушораспределителем 483М на каждой концевой балке.
б) вспомогательный	Ручной (стояночный) на каждой концевой балке	Ручной (стояночный) на каждой концевой балке	Ручной (стояночный) на каждой концевой балке	Ручной (стояночный) с приводом на три оси одной тележки	Ручной (стояночный) на каждой концевой балке	Ручной (стояночный) на каждой концевой балке	Ручной (стояночный) на каждой концевой балке

что также учитывалось методикой контрольных ходовых динамических испытаний.

Подтверждение безопасности совместной эксплуатации указанных ТК потребовало также проведения экспериментальной оценки показателей работы тормозного оборудования ТК различных типов, в том числе по условиям обеспечения требуемой тормозной эффективности.

Испытания по оценке показателей динамических качеств и тормозной эффективности ТК проводились на измерительных участках пути Экспериментального кольца — филиала АО «ВНИИЖТ», ст. Щербинка Московской железной дороги (далее — ЭК). Измерительные участки полностью удовлетворяли требованиям действующих стандартов [5, 8], предъявляемым к конструкции верхнего строения пути и фактическим параметрам отступлений рельсовых нитей по геометрии, что позволило распространить полученные результаты испытаний на сеть железных дорог.

Формирование грузовых поездов на сети железных дорог производится без подборки вагонов по количеству осей и массе [9]. С учетом этого был сформирован испытательный состав поезда (эшелон), включавший в себя все типы ТК, перечисленные в табл. 1, (рис. 1): ТК-ВГ-13, ТК-10, ТК-13М, ТК-13Т-2, ТК-13Т (на рисунке не показан), ТМ2-3, ТК-У. Кузова ТК были загружены порожними ТУК, не содержащими радиоактивные сборки ОЯТ. Движение эшелона осуществлялось электровозом 2ЭВ120, в хвост поезда был поставлен вагон-лаборатория АО «ВНИИЖТ». Общая масса поезда длиной 187,5 м составила 1252 т.

Оценка безопасности движения при проведении контрольных ходовых динамических испытаний производилась по вертикальным и горизонтальным ускорениям кузова, зарегистрированным в местах опирания на концевые балки ТК. Реализации вертикальных и горизонтальных ускорений кузовов ТК анализировались в диапазоне частот 0–20,0 Гц с выборкой максимальных наблюдаемых амплитуд для каждого уровня скоростей движения с учетом квазистатических составляющих, обусловленных действием поперечных непогашенных ускорений в кривых. Максимальные наблюдаемые амплитуды ускорений сопоставлялись с соответствующими оценочными критериями, регламентированными ГОСТ 33211–2014 [8].

Опытные поездки эшелона осуществлялись на участках:

1) первый кольцевой путь ЭК (конструкция верхнего строения типовая: рельсы Р65, шпалы железобетонные с эпюрой 2000 шт. на 1 км, балласт щебеночный, радиус круговой кривой 956 м, возвышение наружного рельса 130–140 мм), включая стрелочный съезд № 108/109 (тип Р65, стрелки с гибкими острьями, сборными крестовинами марки 1/11, проект



Рис. 1. Вид опытного поезда:
1 — ТК-ВГ-13; 2 — ТК-10; 3 — ТК-13М; 4 — ТК-13Т-2;
5 — ТМ2-3; 6 — ТК-У; 7 — вагон-лаборатория

Fig. 1. View of the experimental train:
1 — TC-VG-13; 2 — TC-10; 3 — TC-13M; 4 — TC-13T-2;
5 — ТМ2-3; 6 — TC-U; 7 — laboratory car

№ 2851) по прямому (основному) направлению со скоростями от 40 до 100 км/ч с диапазоном непогашенных ускорений от $-0,66$ до $0,01$ м/с²;

2) стрелочные съезды № 104/105, 106/107, 108/109 и одиночный стрелочный перевод № 103 (все типа Р65, стрелки с гибкими острьями, сборными крестовинами марки 1/11, проект № 2851) по ответвленному направлению со скоростями до 25 км/ч;

3) одиночный стрелочный перевод № 137 (комбинированный типа Р65, стрелка с гибкими острьями и приварными рельсовыми окончаниями, проект № 2956, с крестовиной с непрерывной поверхностью катания с усиленным поворотным сердечником по проекту № 2561) по ответвленному направлению со скоростями до 40 км/ч.

Экспериментальные зависимости ускорений, зарегистрированных при опытных заездах эшелона ТК со скоростями до 100 км/ч по первому кольцевому пути ЭК и по ответвленному направлению стрелочных переводов со скоростями до 40 км/ч, представлены на рис. 2 и 3. Анализ зависимостей показал, что при скорости движения эшелона по первому кольцевому пути 80 км/ч по транспортерам типа ТК-10 и ТК-13М уровни ускорений кузова оказались близки к нормативным значениям, но не превышали их: ТК-10 по вертикальным ускорениям и ТК-13М — по горизонтальным ускорениям.

При скоростях движения свыше 80 км/ч нормативные уровни ускорений были превышены по транспортерам типа ТК-13М — по горизонтальным ускорениям, а также ТК-ВГ-13 и ТК-10 — по вертикальным ускорениям. Превышения были зарегистрированы при движении по первому кольцевому пути со скоростями

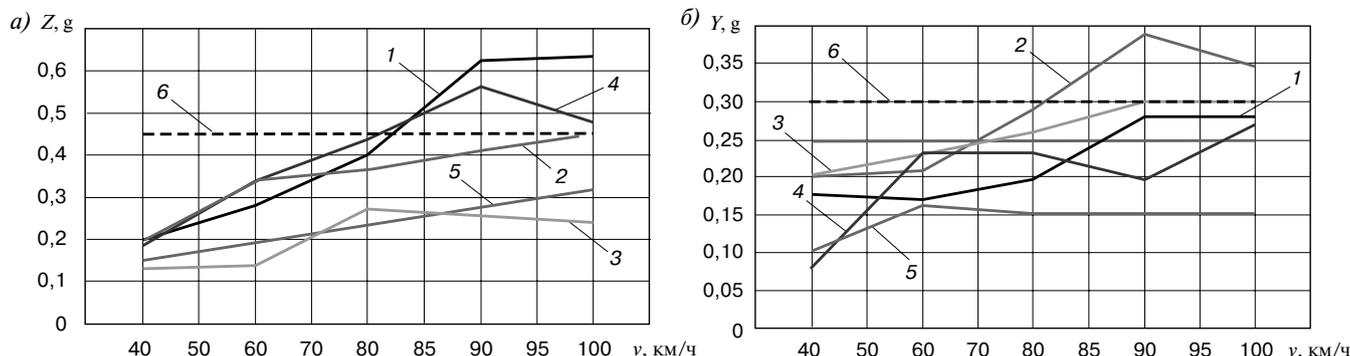


Рис. 2. Вертикальные (а) и горизонтальные (б) ускорения кузова ТК в долях g ($9,81 \text{ м/с}^2$) при движении по первому кольцевому пути ЭК: 1 – ТК-ВГ-13; 2 – ТК-13М; 3 – ТК-У; 4 – ТК-10; 5 – ТМ2-3; 6 – нормативное значение. (Достоверные данные по ТК-13Т получить не удалось)

Fig. 2. Vertical (a) and horizontal (b) accelerations of the TC body in fractions of g (9.81 m/s^2) when running along the first ring track of the Test Loop: 1 – TC-VG-13; 2 – TC-13M; 3 – TC-U; 4 – TC-10; 5 – TM2-3; 6 – normative value. (It was not possible to obtain reliable data on TC-13T)

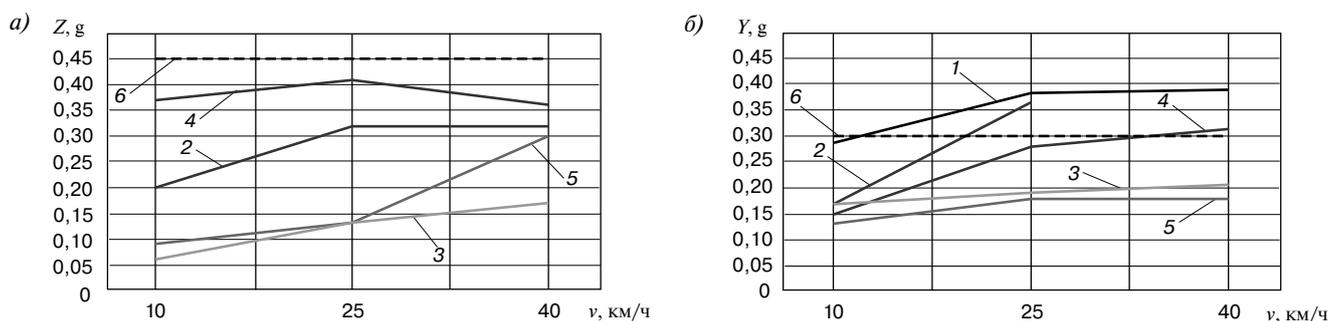


Рис. 3. Вертикальные (а) и горизонтальные (б) ускорения кузова ТК в долях g ($9,81 \text{ м/с}^2$) при движении по ответвленному направлению стрелочных переводов с крестовиной марки 1/11: 1 – ТК-ВГ-13; 2 – ТК-13М; 3 – ТК-У; 4 – ТК-10; 5 – ТМ2-3; 6 – нормативное значение. (Достоверные данные по ТК-13Т получить не удалось)

Fig. 3. Vertical (a) and horizontal (b) accelerations of the TC body in fractions of g (9.81 m/s^2) when running in the branched direction of turnouts with 1/11 cross frog: 1 – TC-VG-13; 2 – TC-13M; 3 – TC-U; 4 – TC-10; 5 – TM2-3; 6 – normative value. (It was not possible to obtain reliable data on TC-13T)

90 и 100 км/ч, близкими к «равновесной» скорости движения, т. е. к скорости, при реализации которой в кривой с параметрами устройства, соответствующими первому кольцевому пути, на неподдресоренные части железнодорожного экипажа практически не действуют центробежные и центростремительные силы (непогашенное поперечное ускорение равно нулю). Следовательно, исходя из полученных результатов скорости движения эшелона с ТК различных типов требуется ограничивать до 80 км/ч. При этом допустимые скорости движения в кривых следует ограничивать также с учетом обеспечения нормы непогашенного ускорения в круговых кривых, равной нулю.

Из экспериментальных данных следует также, что при движении эшелона с ТК на боковое направление стрелочных переводов с крестовиной марки 1/11, находящихся в технически исправном состоянии, превышение нормативного уровня горизон-

тальных ускорений зарегистрировано при скорости движения 25 км/ч (по ТК-ВГ-13 и ТК-13М). В связи с этим, а также исходя из нормы непогашенного ускорения в круговых кривых, равной нулю, определенной по результатам контрольных испытаний, допустимые скорости движения эшелона на боковое направление стрелочных переводов следует устанавливать: для стрелочных переводов с крестовиной марки 1/9 – 10 км/ч, 1/11 – 15 км/ч, 1/18 – 25 км/ч, 1/22 – 35 км/ч.

Тормозные испытания ТК проводились с целью оценки показателей функционирования автотормозных приборов при торможении и отпуске в движении поезда, оценки тормозной эффективности поезда и для определения возможности безопасной совместной эксплуатации ТК различных моделей. Грузовые воздухораспределители (типа 483) всех ТК были включены на средний и равнинный режимы тормо-

жения. ТК были оборудованы композиционными тормозными колодками, локомотив — чугунными тормозными колодками. Проводилась регистрация давления сжатого воздуха в тормозной магистрали в голове и хвосте поезда, во всех тормозных цилиндрах и запасных резервуарах ТК, измерялась скорость движения и пройденный при торможении путь, что позволило оценить параметры движения поезда и показатели работы тормозной системы.

На первом этапе тормозных испытаний проверялась работа тормозных устройств ТК в режиме стационарных испытаний с определением показателей на соответствие требованиям методик [10, 11]. Зарядное давление в тормозной магистрали поезда было установлено равным 0,51 МПа [12]. Выполнялись служебные торможения (СТ) с разрядкой уравнительного резервуара крана машиниста последовательно на 0,03–0,05 МПа, 0,06–0,08 МПа и 0,09–0,11 МПа, полные служебные торможения (ПСТ) и экстренные торможения (ЭТ). Результаты стационарных испытаний показали, что максимальное давление в тормозных цилиндрах ТК в составе поезда соответствует применяемым ступеням и видам торможения, остаточное давление в запасных резервуарах после выполнения всех видов торможений обеспечивает требуемое давление в тормозных цилиндрах для выполнения последующих торможений [13], процессы наполнения тормозных цилиндров при торможении и выпуска воздуха из тормозных цилиндров при отпуске, протекающие в рабочих полостях приборов пневматического тормоза ТК в составе поезда, обеспечивают требуемый уровень управляемости тормозной системы.

На втором этапе тормозных испытаний в режиме ходовых испытаний для каждой скорости начала торможения (40, 60, 80, 90 км/ч) выполнялись СТ с разрядкой уравнительного резервуара крана машиниста электровоза последовательно на 0,03–0,05 МПа, 0,06–0,08 МПа и 0,09–0,11 МПа, ПСТ и ЭТ.

При проведении опытных торможений по методике [11] экспериментально определялись скорость в момент начала снижения давления в тормозной магистрали, давление в тормозных цилиндрах вагонов для соответствующей ступени торможения, время наполнения тормозных цилиндров вагонов до 95% от максимального давления при СТ, ПСТ и ЭТ, тормозной путь от момента начала снижения давления в тормозной магистрали до остановки состава, время отпуска после СТ и ПСТ, среднее замедление, температура нагрева отдельных колес и колодок ТК.

Анализ результатов испытаний показал, что давление в тормозных цилиндрах ТК после ПСТ (рис. 4) практически соответствует нормативному значению, а время отпуска тормозов после ПСТ (рис. 5)

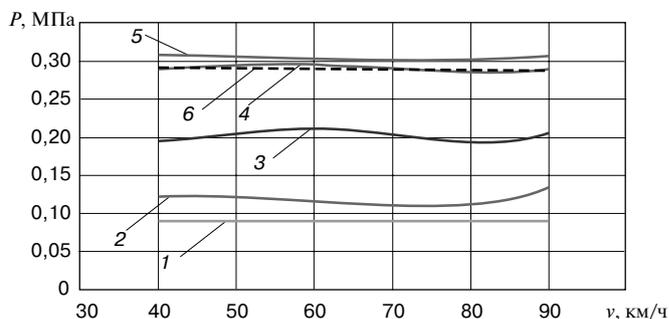


Рис. 4. Среднее давление (P) в тормозных цилиндрах ТК для соответствующего торможения:

1 — ступень 0,03–0,05 МПа; 2 — ступень 0,06–0,08 МПа; 3 — ступень 0,09–0,11 МПа; 4 — ПСТ; 5 — ЭТ; 6 — нормативное значение давления при ПСТ

Fig. 4. Average pressure (P) in the brake cylinders of the TC for the corresponding braking: 1 — step 0.03–0.05 MPa; 2 — step 0.06–0.08 MPa; 3 — step 0.09–0.11 MPa; 4 — full service braking (FSB); 5 — emergency braking (EB); 6 — standard value of pressure at FSB

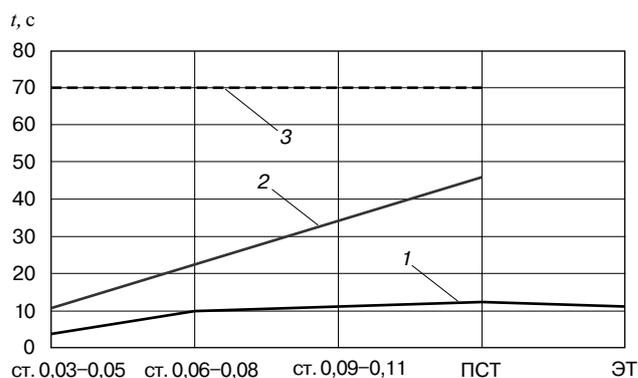


Рис. 5. Время наполнения тормозных цилиндров ТК до 95% от максимального давления и отпуска до давления 0,04 МПа: 1 — время наполнения тормозных цилиндров для различных режимов торможения; 2 — время отпуска; 3 — нормативное значение времени отпуска после ПСТ

Fig. 5. Time of filling the brake cylinders TC to 95% of the maximum pressure and release to a pressure of 0.04 MPa: 1 — time of filling the brake cylinders for different modes of braking; 2 — vacation time; 3 — standard value of the vacation time after FSB

не превысило нормативного значения [14]. Расчетom определялись показатели тормозной эффективности поезда в целом при ЭТ: тормозной путь, среднее замедление и тормозной коэффициент.

Результаты расчетов по данным ходовых тормозных испытаний представлены на рис. 6, расчетный тормозной коэффициент приведен в пересчете на чугунные колодки. Полученные при испытаниях значения тормозных путей для скоростей 80 и 90 км/ч, характеризующие тормозную эффективность поезда, пересчитаны на спуски крутизной 6 и 10 ‰ [9]. Результаты пересчета приведены в табл. 2, где также

Таблица 2

Опытные и нормируемые значения тормозных путей и расчетного тормозного коэффициента поезда

Table 2

Experienced and standardized values of braking distances and the calculated braking coefficient of the train

Начальная скорость торможения, км/ч	Максимальное опытное значение тормозного пути на площадке, м	Опытное значение тормозного пути, м, в пересчете на спуск 6‰/10‰	Значение нормативного тормозного пути, м, на спуске 6‰/10‰, не более	Максимальное значение расчетного тормозного коэффициента по результатам испытаний	Нормативное значение расчетного тормозного коэффициента
80	604	680/737	1000/1200	0,464	не менее 0,33
90	757	854/928	1300/1500	0,471	

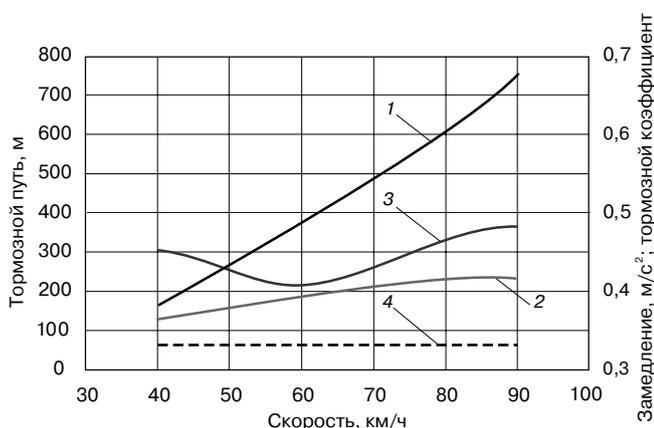


Рис. 6. Показатели тормозной эффективности поезда:

1 — длина тормозного пути поезда в зависимости от скорости торможения; 2 — замедление поезда в зависимости от скорости торможения; 3 — расчетный тормозной коэффициент поезда; 4 — нормативное значение расчетного тормозного коэффициента

Fig. 6. Indicators of the braking efficiency of the train:

1 — length of the braking distance of the train depending on the braking speed; 2 — train deceleration depending on the braking speed; 3 — calculated braking coefficient of the train; 4 — standard value of the calculated braking coefficient

показаны значения нормативных тормозных путей на указанных уклонах.

Данные, полученные при тормозных испытаниях поезда и в результате выполненных расчетов, показывают следующее:

1. Время наполнения и величина давления в тормозных цилиндрах при торможении, время выпуска воздуха из тормозных цилиндров при отпуске тормозов поезда достаточны для обеспечения функционирования тормозов ТК и их управляемости при движении поезда.

2. Тормозные пути поезда, а также условия управления тормозами и тормозная эффективность состава поезда соответствуют требованиям, регламентированным нормативными документами железных дорог Российской Федерации для скоростей движения грузовых поездов до 90 км/ч включительно.

Выводы. Результаты контрольных ходовых динамических и тормозных испытаний ТК различных типов при формировании их в одном эшелоне позволили экспериментально обосновать условия безопасности движения ТК в диапазоне скоростей движения до 80 км/ч включительно по прямым, криволинейным участкам пути и по основному направлению стрелочных переводов. Условия управления тормозами поезда принимаются в соответствии с действующей нормативной документацией и не требуют ее корректировки.

Определены диапазоны допускаемых скоростей движения эшелона по ответственному направлению стрелочных переводов различных типов с крестовиной марки 1/11.

На основе выполненных испытаний разработан нормативный документ ОАО «РЖД» — Положение об условиях совместной эксплуатации специальных грузовых вагонов (транспортёров) в составе одного эшелона (ПУСЭ-ГХК-1-21), введенное в действие распоряжением ОАО «РЖД» от 22 июля 2021 г. № 1591/р.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Транспортирование ОЯТ: некоторые вопросы экономики и безопасности [Электронный ресурс] / Ю. В. Козлов [и др.] // Информационное агентство «ПРОАтом»: [сайт]. 2005. 13 октября. URL: <http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=113> (дата обращения: 09.09.2021 г.).
2. Котова И. В., Попов А. Т. Достоинства и недостатки специализированного подвижного состава // Современные проблемы транспортного комплекса России. 2013. Т. 3. № 1. С. 179–185.
3. Андросюк В. Н. Перевозки радиоактивных материалов железнодорожным транспортом (правовое регулирование, организация, безопасность): учеб. пособие для студентов вузов ж.-д. транспорта. М.: Маршрут, 2004. С. 217–225.
4. Правила безопасности при транспортировании радиоактивных материалов [Электронный ресурс]: утв. приказом Ростехнадзора от 15 сентября 2016 г. № 388 // КонсультантПлюс. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_211984 (дата обращения: 09.09.2021 г.).

5. ГОСТ Р 55050–2012. Железнодорожный подвижной состав. Нормы допустимого воздействия на железнодорожный путь и методы испытаний: нац. стандарт Российской Федерации: дата введения 2013-07-01. М.: Росстандарт, 2012. 29 с.

6. Бржезовский А. М., Ромен Ю. С., Заверталою А. В. Нормы допустимого воздействия на путь и методы испытаний подвижного состава // Железнодорожный транспорт. 2015. № 5. С. 40–45.

7. Бржезовский А. М., Аршинцев Д. Н., Толмачев С. В. Разработка условий эксплуатации специальных вагонов по результатам комплексных испытаний // Известия Петербургского университета путей сообщения (Известия ПГУПС). 2018. № 3. С. 455–462.

8. 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, 2018. 54 с.

9. Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации. М.: ООО Центр «Транспорт», 2015. 384 с.

10. Вагоны грузовые железнодорожные. Типовая методика испытаний тормозных систем: ТМ 25-04-11: Изменение № 1: утв. ИЦ ЖТ ОАО «ВНИИЖТ» 20 мая 2016 г.

11. Типовая методика испытаний тормозных систем железнодорожного подвижного состава после изготовления и перед вводом в эксплуатацию: ТМ 04-001-91: утв. ИЦ ЖТ ВНИИЖТ МПС 4 декабря 1990 г.

12. Правила технического обслуживания тормозного оборудования и управления тормозами железнодорожного подвижного

состава [Электронный ресурс]. М.: Трансинфо, 2014. 204 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293727/4293727582.htm> (дата обращения: 10.09.2021 г.).

13. Иноземцев В. Г. Тормоза железнодорожного подвижного состава. Вопросы и ответы. М.: Транспорт, 1987. 206 с.

14. ГОСТ 33724.1–2016. Оборудование тормозное пневматическое железнодорожного подвижного состава. Требования безопасности и методы контроля. Часть 1. Воздухораспределители, краны машиниста, блоки тормозные, изделия резиновые уплотнительные: межгос. стандарт: введен в действие в качестве нац. стандарта Российской Федерации приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 17 марта 2016 г. № 162-ст: дата введения 2016-11-01. М.: Стандартинформ, 2016. 54 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

БРЖЕЗОВСКИЙ Александр Менделович,

канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник, научный центр «Нетяговый подвижной состав и автотормозные системы поезда», АО «ВНИИЖТ»

ВОЛУЙСКИЙ Николай Михайлович,

руководитель группы, научный центр «Нетяговый подвижной состав и автотормозные системы поезда», АО «ВНИИЖТ»

Статья поступила в редакцию 16.09.2021 г., первая рецензия получена 22.09.2021 г., вторая рецензия получена 18.10.2021 г., принята к публикации 26.10.2021 г.

Для цитирования: Бржезовский А. М., Волуйский Н. М. Условия эксплуатации вагонов-контейнеров в железнодорожных поездах специального формирования // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2021. Т. 80. № 6. С. 319–326. DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-6-319-326>.

Operating conditions of container cars in railway trains of special formation

A. M. BRZHEZOVSKIY, N. M. VOLUYSKIY

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

Abstract. The article considers main technical characteristics, indicators of dynamic qualities and parameters of braking efficiency of special railway rolling stock of container cars (container transporters) intended for the transportation of radioactive materials — spent nuclear fuel. In accordance with the current regulatory documents of JSC Russian Railways, it is currently allowed forming special trains exclusively from container transporters of any one type, which is associated with the peculiarities of the technology for handling and transporting spent nuclear fuel, which is within the competence of the state corporation Rosatom. However, this significantly increases the timing of the delivery of special trains due to the need to wait for the readiness of transporters, due to the non-simultaneous delivery of any one type of assembly kits with spent nuclear fuel. The practice of handling has shown that the transportation of some types of spent nuclear fuel can be carried out with a combination of the transport operation, which implies the combination of various types of container transporters in one echelon, but at the same time it is necessary to correct certain regulatory documents of Russian Railways. For this purpose, at the request of the Rosatom corporation, a necessary set of experimental works was carried out. Authors presented results of control running dynamic, stationary

and running braking tests of container transporters of various types, following as part of the same echelon, on the infrastructure of the Test Loop of JSC “VNIIZHT”, including when running along the first ring track and along various combinations of turnouts along a tangent line (main) and lateral directions. It has been experimentally proved that it is possible to operate container transporters of various types as part of the same echelon in compliance with the conditions for ensuring traffic safety in accordance with the standards of dynamic qualities and braking efficiency. Based on the test results, a regulatory document of JSC Russian Railways was developed — the Regulation on the conditions for joint operation of special freight cars (transporters) as part of one echelon, approved by the order of JSC Russian Railways dated July 22, 2021 No. 1591/r.

Keywords: container transporters; spent nuclear fuel; dynamic qualities; braking distances

DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-6-319-326>

REFERENCES

1. Kozlov Yu. V., Tikhonov N. S., Tokarenko A. I., Safutin V. D., Shafrova N. P. *Transportirovanie OYaT: nekotorye voprosy ekonomiki*

i bezopasnosti [Transportation of spent nuclear fuel: some issues of economics and safety]. Informationsnoe agentstvo "PROAtom" [ProAtom Information Agency] Publ., 2005. URL: <http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=113> (retrieved on 09.09.2021) (in Russ.).

2. Kotova I.V., Popov A.T. *Dostoinstva i nedostatki spetsializirovannogo podvizhnogo sostava* [Advantages and disadvantages of specialized rolling stock]. Modern Problems of Russian Transport Complex, 2013, Vol. 3, no. 1, pp. 179–185.

3. Androsyuk V.N. *Perevozki radioaktivnykh materialov zheleznodorozhnym transportom (pravovoe regulirovanie, organizatsiya, bezopasnost')* [Transportation of radioactive materials by rail (legal regulation, organization, safety)]. Ucheb. posobie dlya studentov vuzov zh.-d. transporta [Textbook for students of higher educational institutions of rail transport]. Moscow, Marshrut Publ., 2004, pp. 217–225.

4. *Safety rules for the transportation of radioactive materials*. Approved by order of Rostekhnadzor dated September 15, 2016 No. 388. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_211984 (retrieved on 09.09.2021) (in Russ.).

5. GOST R 55050–2012. *Railway rolling stock. Permissible exposure norms to the railway track and test methods*. National standard of the Russian Federation. Moscow, Rosstandart Publ., 2012, 29 p. (in Russ.).

6. Brzhezovskiy A.M., Romen Yu.S., Zavertalyuk A.V. *Normy dopustimogo vozdeystviya na put' i metody ispytaniy podvizhnogo sostava* [Standards of permissible impact on the track and test methods of rolling stock]. Zheleznodorozhnyy transport, 2015, no. 5, pp. 40–45.

7. Brzhezovskiy A.M., Arshintsev D.N., Tolmachev S.V. *Razrabotka usloviy ekspluatatsii spetsial'nykh vagonov po rezul'tatam kompleksnykh ispytaniy* [Development of operating conditions for special cars based on the results of complex tests]. Proceedings of Petersburg Transport University, 2018, no. 3, pp. 455–462.

8. 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., 2018, 54 p. (in Russ.).

9. *Rules for the technical operation of the railways of the Russian Federation*. Moscow, LLC Center "Transport" Publ., 2015, 384 p. (in Russ.).

10. *Freight railroad cars. Typical test procedure for brake systems: TM 25-04-11. Edit No. 1*. Approved by JSC "VNIIZHT", May 20, 2016 (in Russ.).

11. *Typical test procedure for brake systems of railway rolling stock after manufacture and before commissioning: TM 04-001-91*. Approved by VNIIZHT, December 4, 1990 (in Russ.).

12. *Rules for the maintenance of brake equipment and brake control of railway rolling stock*. Moscow, Transinfo Publ., 2014, 204 p. URL: <https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293727/4293727582.htm> (retrieved on 10.09.2021) (in Russ.).

13. Inozemtsev V.G. *Tormoza zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava. Voprosy i otvety*. [Brakes of railway rolling stock. Questions and answers]. Moscow, Transport Publ., 1987, 206 p.

14. GOST 33724.1–2016. *Pneumatic brake equipment of the railway rolling stock. Safety requirements and inspection procedures. Part 1. Air distributors, brake valves, brake units, sealing rubber components*. Interstate standard, put into effect as nat. standard of the Russian Federation by order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated March 17, 2016 No. 162-st. Moscow, Standartinform Publ., 2016, 54 p. (in Russ.).

ABOUT THE AUTHORS

Aleksander M. BRZHEZOVSKIY,

Cand. Sci. (Eng.), Leading Researcher, Scientific Center "Non-traction rolling stock and automatic train braking systems", JSC "VNIIZHT"

Nikolay M. VOLUYSKIY,

Head of the Group, Scientific Center "Non-traction rolling stock and automatic train braking systems", JSC "VNIIZHT"

Received 16.09.2021

First review received 22.09.2021

Second review received 18.10.2021

Accepted 26.10.2021

■ E-mail: s_brz@mail.ru (A. M. Brzhezovskiy)

For citation: Brzhezovskiy A. M., Voluyskiy N. M. Operating conditions of container cars in railway trains of special formation // Russian Railway Science. 2021. 80 (6): 319–326 (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-6-319-326>.

ВНИМАНИЮ ЧИТАТЕЛЕЙ!

ЭЛЕКТРОННЫЕ ВЕРСИИ СТАТЕЙ ЖУРНАЛА В ОТКРЫТОМ ДОСТУПЕ

На сайте www.elibrary.ru открыт доступ к электронным версиям статей, опубликованных в научно-техническом журнале «Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта».

Для работы с фондами библиотеки пользователю необходимо самостоятельно зарегистрироваться, заполнив регистрационную форму на главной странице eLibrary.ru. Доступ возможен по Вашему логину и паролю с любого компьютера, имеющего выход в интернет.

Материалы журнала, размещенные на сайте Научной электронной библиотеки для свободного использования, допускается использовать, копировать, цитировать исключительно в некоммерческих целях с соблюдением соответствующих положений действующего авторского законодательства (Гражданский кодекс РФ от 18.12.2006 № 230-ФЗ, Часть IV; Глава 70 «Авторское право») с обязательным указанием имени автора/ов произведения и источника заимствования.

На сайте журнала www.journal-vniizht.ru контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

Методика оценки работоспособности бесстыкового пути по критерию соответствия действительной температуры закрепления рельса нормируемому значению

Г. М. ВОЛОХОВ, С. В. ЧУНИН, А. В. УШАНОВ

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

Аннотация. Рассмотрена проблема оценки безопасности эксплуатации бесстыкового пути. Проведен сравнительный анализ действующих методов оценки и предложена методика выявления опасных участков пути по критерию соответствия действительной температуры закрепления рельса нормативной. Под действительной температурой закрепления в статье принимается та температура рельса, при которой в нем в результате его температурного расширения или сужения образуется нулевое значение продольной силы. Приведен способ расчета действительной температуры закрепления рельса с использованием зависимости собственной частоты колебаний рельса от приложенной к нему продольной силы, которая получена расчетным методом с использованием созданной авторами конечно-элементной модели участка пути с помощью проведения модального расчета при различных значениях продольной силы, приложенной к рельсу. Выполнена ее верификация по экспериментальным данным, полученным в результате проведения испытаний на специализированном стенде. Описывается методика проведенных испытаний на стенде и участке бесстыкового пути Озерской ветки Московской железной дороги, заключающаяся в определении собственной частоты первой формы колебаний рельса при различных значениях продольной силы, а в случае полигонных испытаний — при различных значениях температуры рельсов. Приведен расчет действительной температуры закрепления рельса на примере участка бесстыкового пути Озерской ветки Московской железной дороги. Установлено, что температура закрепления рельсов на исследуемом участке соответствует нормативной для данного региона.

Ключевые слова: локомотив; моторвагонный подвижной состав; кузов; рама тележки; прочность; динамико-прочностные испытания

Введение. На сети железных дорог ОАО «РЖД» все более широко применяется бесстыковой путь, имеющий множество преимуществ перед звеньевым. Однако и он не лишен недостатков, одним из которых является контроль продольного напряжения в рельсе, возникающего при его температурном удлинении. Эксплуатация пути, продольные силы сжатия рельсов которого превышают допустимое значение, может привести к выбросу пути и, следовательно, сходу подвижного состава

с рельсов, который может сопровождаться человеческими жертвами и значительным экономическим ущербом. Таким образом, контроль температурного режима работы рельсовой плети бесстыкового пути является одной из наиболее важных задач по обеспечению безопасности движения.

Цель исследования — повышение безопасности эксплуатации бесстыкового железнодорожного пути на основе разработки методики своевременного обнаружения участков пути с недопустимыми значениями продольного напряжения по критерию устойчивости при сравнительной оценке действительной температуры закрепления рельса и допустимой в данном регионе по инструкции.

Обзор проведенных работ. Для оценки безопасности эксплуатации бесстыкового пути на железных дорогах были поставлены специальные эксперименты по исследованию влияния конструкций пути и условий его содержания на процессы возникновения и развития выбросов пути и определения влияния различных эксплуатационных и конструктивных факторов на значения максимально допустимой температуры плетей относительно температуры закрепления, превышение которой приводит к выбросам пути.

Наиболее полный многосторонний комплекс таких опытов был проведен лабораторией бесстыкового пути Всесоюзного научно-исследовательского института железнодорожного транспорта МПС (ВНИИЖТ) под руководством канд. техн. наук, доцента Е. М. Бромберга. Результаты значительной части этих опытов были опубликованы в трудах ВНИИЖТ [1–4].

В этих исследованиях, в частности, было приведено сопоставление результатов опытов с результатами расчетов устойчивости при использовании различных методов. Более подробно методы оценки устойчивости бесстыкового пути, их преимущества и недостатки будут рассмотрены далее.

Результаты, полученные опытным путем, отличались от выводов, сделанных С. П. Першиным на основе энергетической модели бесстыкового пути [5].

■ E-mail: vnikti15@yandex.ru (С. В. Чунин)

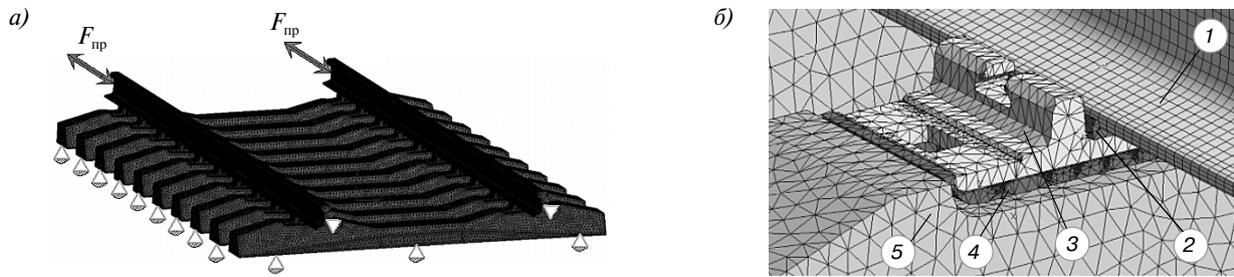


Рис. 1. Модель участка пути:
 а — схема закрепления и нагружения: $F_{пр}$ — продольная сила; б — устройство скрепления: 1 — рельс Р65; 2 — прокладка ЦП143-1; 3 — подкладка КВ65; 4 — прокладка ЦП328; 5 — шпала Ш1

Fig. 1. Model of the track section:
 а — fixing and loading scheme: $F_{пр}$ — longitudinal force; б — fastening device: 1 — R65 rail; 2 — pad TsP143-1; 3 — KB65 lining; 4 — pad TsP328; 5 — sleeper Sh1

Поэтому было принято решение при разработке первых «Временных технических указаний по укладке и эксплуатации температурно-напряженного пути без периодической (сезонной) разрядки напряжений» целиком опираться только на результаты прямых экспериментов, выполненных на стенде ВНИИЖТ. Это для времени, когда происходил процесс становления бесстыкового пути в России, было наиболее правильным решением [6].

Описание проблемы. В настоящее время устройство, укладка, содержание и ремонт бесстыкового пути определены распоряжением ОАО «РЖД» от 14.12.2016 г. № 2544р [7], однако методы контроля напряженного состояния рельса в процессе эксплуатации в нем не оговорены. Безопасность эксплуатации пути устанавливается посредством оценки перемещения метки, нанесенной на рельс, относительно «маячной» шпалы. Такой подход имеет значительное количество недостатков, в том числе оперативность и точность обнаружения опасных участков.

Известна программа комплексного анализа предотказного состояния бесстыкового пути «УРРАН» разработки НПЦ «Инфотранс», решающая множество задач по мониторингу состояния пути, в том числе задачу контроля температурного режима работы рельсовых плетей [8]. Тем не менее этот контроль обеспечивается за счет оценки данных, получаемых с помощью систем видеоконтроля о подвижках рельсовых плетей относительно «маячных» шпал.

Также существует система беспроводного контроля «СКБП-2009» разработки ООО «Строй-Сервис», которая позволяет проводить измерение механических напряжений в рельсовой плети [9]. Для этого необходимо провести установку на рельс специального датчика, а значит, при увеличении протяженности исследуемого пути существенно возрастает необходимое количество датчиков, что приводит к усложнению и удорожанию данного метода.

Повышение безопасности движения. Непременным условием повышения безопасности движения является своевременное обнаружение опасных участков бесстыкового пути. Для этого предлагается использовать метод, суть которого в определении действительной температуры закрепления рельса, т. е. такой температуры, при которой в рельсе посредством его температурного удлинения или сужения образуется нулевое значение продольной силы; сравнении полученной температуры с нормируемыми значениями температуры закрепления для каждой дирекции инфраструктуры ОАО «РЖД» по [7].

Определение значений действительной температуры закрепления рельса предлагается проводить путем оценки действующих продольных напряжений в рельсе, образующихся при его температурном удлинении.

В АО «ВНИКТИ» был предложен метод определения напряженно-деформированного состояния различных упругих объектов, суть которого заключается в оценке напряжений по изменениям собственных частот колебаний и который применим в том числе для рельсов бесстыкового пути [10]. При использовании указанного метода решение поставленной задачи определения действительной температуры сводится к следующему:

- нахождению расчетным способом зависимости собственной частоты колебаний рельса от величины продольной силы;
- определению собственной частоты колебаний и температуры рельса в текущий момент;
- определению по полученной зависимости действующей в рельсе продольной силы;
- определению действительной температуры закрепления рельса;
- оценке безопасности эксплуатации пути по нормируемым значениям температуры закрепления рельсовой плети в данном регионе.

Для того чтобы определить зависимость собственной частоты колебаний от продольной силы расчетным путем, была создана конечно-элементная мо-

дель участка пути (рис. 1). Модель включает в себя 1 138 200 элементов и 506 086 узлов.

Основными техническими данными модели участка пути являются следующие:

- 10 шпал Ш1 с эпюрой 1840 шт./км [11];
- подкладка КБ65 [12];
- прокладки ЦП328 и ЦП143-1 [13];
- рельс Р65 [14].

Все элементы участка пути смоделированы как упругие тела, их характеристики выбраны по технической документации [11–14].

Закрепление (ограничение перемещения в вертикальном направлении) модели (рис. 1, а) производилось через подошву шпал. Нагрузку прикладывали к торцам рельсов.

В результате проведенного модального анализа получено, что для первой формы собственная частота колебаний рельса составляет 152 Гц (рис. 2).

Аналогично был проведен модальный анализ при условии предварительного ступенчатого нагружения рельса продольными силами растяжения и сжатия до 200 кН, при этом шаг изменения нагрузки составил 20 кН. Предельные значения нагрузки выбраны исходя из прочности стэнда, необходимого для дальнейшей верификации модели. Полученные значения собственной частоты первой формы колебаний при разных величинах продольной силы показаны на рис. 3.

Для верификации полученной зависимости был проведен натурный эксперимент на специализированном испытательном стэнде, представляющем собой рельсошпальную решетку, аналогичную по конструкции использованной в конечно-элементной модели и закрепленную с одной стороны за торцы рельс, а с противоположной стороны имеющую устройство нагружения, которое позволяет создавать силы растяжения и сжатия до 200 кН (рис. 4) [15].

Для регистрации собственных колебаний рельса стэнд был оборудован пьезоэлектрическими вибропреобразователями, которые устанавливались на головку рельса (рис. 5) и регистрировали колебания в поперечном относительно пути направлении. Собственные колебания рельса возбуждались путем нанесения по головке рельса ударов молотком в поперечном направлении.

Результаты проведенного эксперимента показаны на рис. 6 в виде трехмерного представления спектров собственных колебаний рельса.

При анализе результатов была получена зависимость собственной частоты первой формы колебаний рельса от величины продольной силы. При этом для оценки адекватности разработанной расчетной модели участка пути вычислен коэффициент корреляции двух зависимостей, полученных расчетным методом

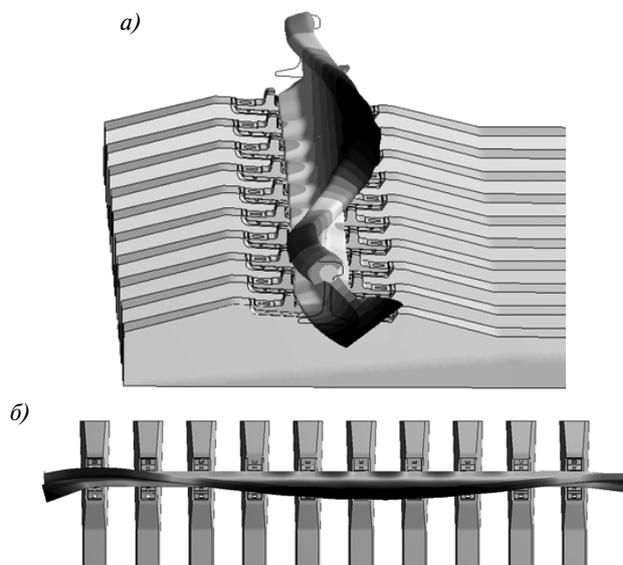


Рис. 2. Первая форма колебаний рельса с собственной частотой 152 Гц:

а — вид с торца рельса; б — вид сверху

Fig. 2. First form of rail vibration with a natural frequency of 152 Hz: а — view from the end of the rail; б — top view

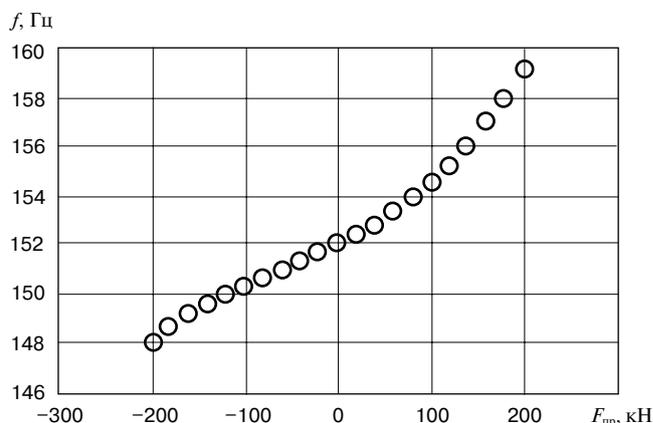


Рис. 3. Зависимость собственной частоты первой формы колебаний рельса f от величины продольной силы (расчетный метод)

Fig. 3. Dependence of the natural frequency of the first mode of vibration of the rail f on the value of the longitudinal force (calculation method)

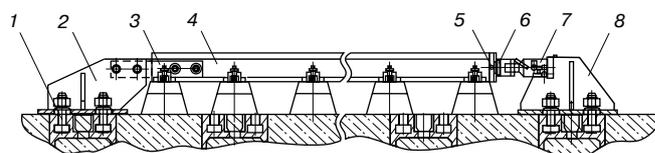


Рис. 4. Конструкция стэнда для испытаний рельсошпальных решеток:

1 — болты крепления стэнда; 2 — кронштейн; 3 — соединительная планка; 4 — рельсошпальная решетка; 5 — шарик; 6 — датчик силы; 7 — домкрат; 8 — упор

Fig. 4. Construction of the test bench for rail and sleepers:

1 — stand mounting bolts; 2 — bracket; 3 — connecting strip; 4 — rail-and-sleep grid; 5 — ball; 6 — force sensor; 7 — jack; 8 — emphasis

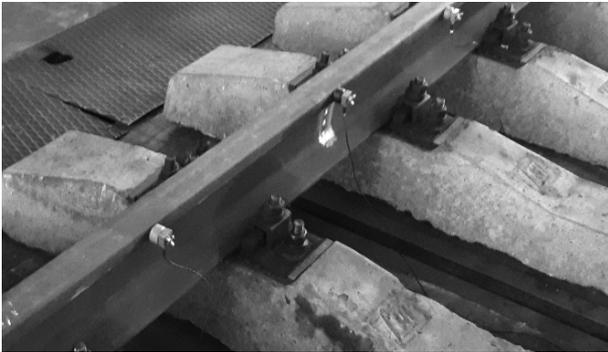


Рис. 5. Установка пьезоэлектрических вибропреобразователей на головку рельса
Fig. 5. Installation of piezoelectric vibration transducers on the rail head

(рис. 3) и экспериментально (рис. 7), равный 0,981, т. е. находящийся в диапазоне от 0,90...0,99 по шкале Чеддока [10], что соответствует весьма высокой степени связи между полученными зависимостями. Таким образом, разработанную модель участка пути можно считать адекватной и применять для оценки продольных сил в рельсах.

Для получения расчетной зависимости собственной частоты первой формы колебаний рельса от приложенной продольной силы для участка пути с отличным от выбранного устройства (радиус кривой, эпюра шпал, конструкция и состояние креплений и др.) необходимо провести расчеты на соответствующей ему конечно-элементной модели.

Параллельно с расчетами и стендовыми испытаниями были проведены полигонные испытания на действующем участке бесстыкового пути Озерской ветки Московской железной дороги. Суть и методика этих испытаний были аналогичны испытаниям на стенде, однако дополнительно осуществлялась регистрация температуры рельсов.

Испытательный участок представляет собой прямую длиной около 1 км, с обоих концов которой имеются протяженные кривые радиусом 600 м. Это способствует ограничению продольного перемещения рельсов по краям этой прямой. При такой схеме испытательного участка и температурном удлинении рельсов происходит изменение продольного напряжения в них.

Так, в различное время года с 2017 по 2019 г. был проведен ряд измерений собственных частот колебаний рельса, результаты которых (рис. 8) показали характерную зависимость, при этом наблюдалась достаточная повторяемость результатов.

Определение действующей температуры закрепления рельса T_d проводится путем использования:

- разницы температуры, соответствующей температурному удлинению рельса, относительно фактической температуры закрепления;
- температуры рельса в момент измерения.

$$T_d = T_r \frac{F_{пр}}{ES_\alpha} = T_r \frac{\sigma_{пр}}{E_\alpha}, \quad (1)$$

где T_r — температура рельса в текущий момент, °С; $F_{пр}$ — продольная сила, Н; E — модуль упругости ме-

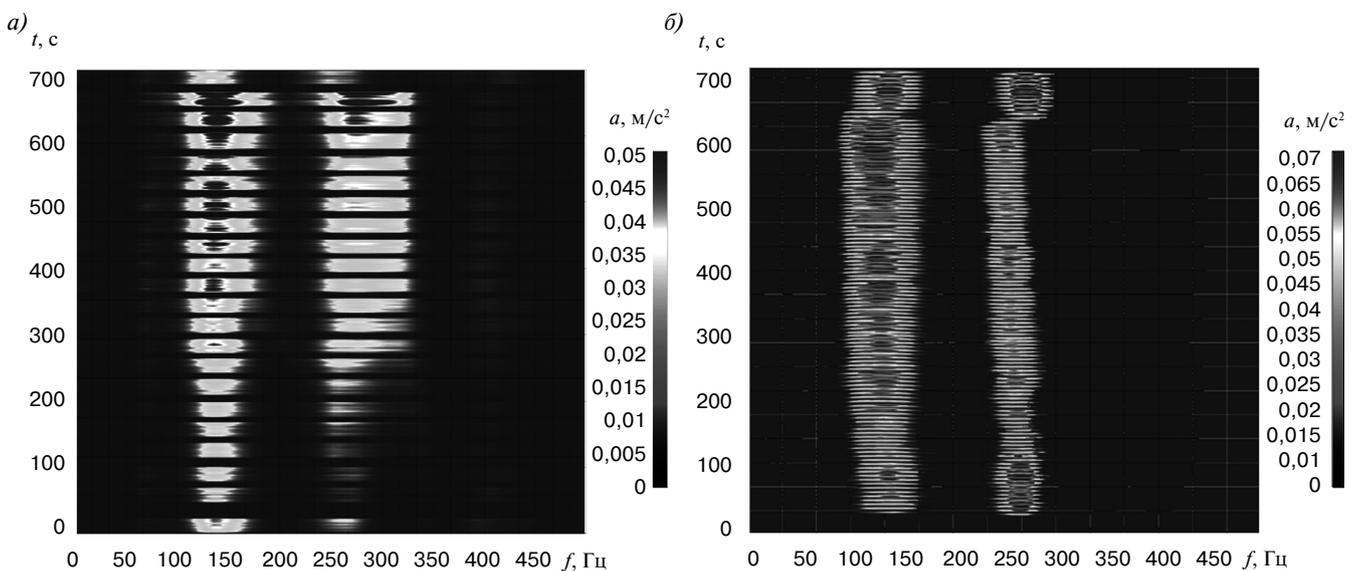


Рис. 6. Трехмерное представление спектров собственных колебаний головки рельса при растяжении до 200 кН (а) и сжатии до 200 кН (б), где в течение времени t производилось ступенчатое нагружение рельса с одновременным возбуждением его собственных колебаний (величина ускорения для соответствующих частот отражена на шкале а)

Fig. 6. Three-dimensional representation of the spectra of natural vibrations of the rail head under tension up to 200 kN (a) and compression up to 200 kN (b), where during time t step loading of the rail was performed with simultaneous excitation of its natural vibrations (the acceleration value for the corresponding frequencies is reflected on the scale a)

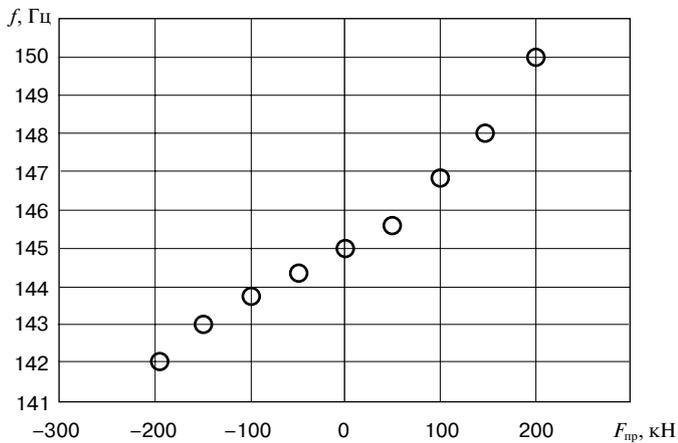


Рис. 7. Зависимость собственной частоты первой формы колебаний рельса от величины продольной силы (экспериментальный метод)

Fig. 7. Dependence of the natural frequency of the first rail vibration mode on the value of the longitudinal force (experimental method)

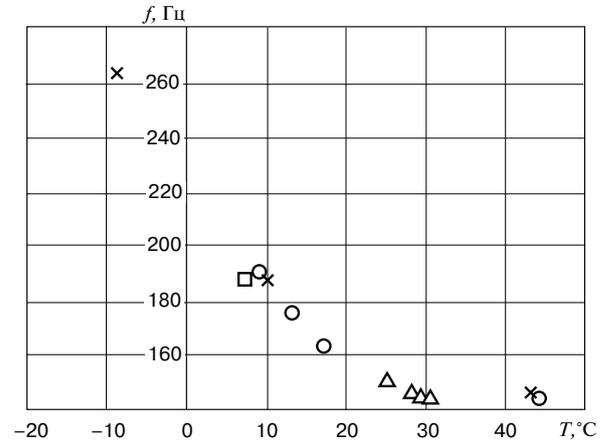


Рис. 8. Зависимость собственной частоты первой формы колебаний головки рельса от температуры рельса:

○ — в 2017 г.; × — в 2018 г.; □ — в 2019 г.; △ — для эквивалентной температуры рельса по результатам испытаний на стенде

Fig. 8. Dependence of the natural frequency of the first mode of vibration of the rail head on the temperature of the rail:

○ — in 2017; × — in 2018; □ — in 2019; △ — for the equivalent temperature of the rail according to the test results at the stand

талла рельса, Па; S — площадь поперечного сечения рельса, м^2 ; α — коэффициент линейного расширения металла рельса, $1/\text{К}$; $\sigma_{пр}$ — продольное напряжение, Па.

Применение предлагаемого метода приведено на примере измерения, проведенного в 2017 г. на Озерской ветке Московской железной дороги, при котором температура рельса составляла 10 °C , а собственная частота колебаний — 188 Гц .

Методом наименьших квадратов было получено уравнение полинома третьего порядка (2) для расчетной зависимости собственной частоты колебаний от приложенной продольной силы в рельсе (рис. 3):

$$f(F_{пр}) = 2 \cdot 10^{-7} F_{пр}^3 + 4 \cdot 10^{-5} F_{пр}^2 + 0,0194 F_{пр} + 152. \quad (2)$$

Решением этого уравнения с учетом известной частоты $f = 188\text{ Гц}$ является значение продольной силы, равное 455 кН .

Подставив найденное значение и температуру рельса в уравнение (1), получим действительную температуру закрепления рельса, равную $33,3\text{ °C}$.

В соответствии с [7] все вновь укладываемые плети должны закрепляться при оптимальной температуре, при этом нормы оптимальной температуры закрепления касаются вновь укладываемых плетей, а также плетей, которые подверглись ремонту по восстановлению температурного режима работы.

Таким образом, для Московской инфраструктуры диапазон оптимальных температур закрепления составляет $25\text{...}35\text{ °C}$. Следовательно, эксплуатация исследуе-

мого участка бесстыкового пути с действительной температурой закрепления $33,3\text{ °C}$ является безопасной.

Заключение. Используя полученную для модели участка пути зависимость, значение собственной частоты колебаний реального рельса и температуру рельса, можно определить фактическую температуру закрепления рельса. Это, в свою очередь, может способствовать повышению безопасности движения за счет своевременного обнаружения превышения допустимой температуры закрепления рельса.

Результаты проведенных работ подтверждают возможность и эффективность применения метода определения продольного напряжения в рельсе по изменению собственных частот колебаний.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бромберг Е. М. Перспективы и проблемы развития бесстыкового пути на железных дорогах СССР // Труды ВНИИЖТ. М.: Трансжелдориздат, 1962. Вып. 244: Бесстыковой путь. С. 5–18.
2. Зверев Н. Б. Экспериментальное исследование работы бесстыкового пути // Труды ВНИИЖТ. М.: Трансжелдориздат, 1962. Вып. 244: Бесстыковой путь. С. 46–60.
3. Бромберг Е. М., Зверев Н. Б. Бесстыковой путь в кривых. М.: Транспорт, 1968. С. 3–31.
4. Бромберг Е. М. Устойчивость бесстыкового пути под поездами // Совершенствование конструкции и эксплуатации бесстыкового пути. М.: Транспорт, 1988. С. 13–20. (Труды ВНИИЖТ).
5. Першин С. П. Метод расчета устойчивости бесстыкового пути // Труды МИИТ. М., 1962. Вып. 147: Путь и путевое хозяйство. С. 28–97.
6. Карпушенко Н. И., Осипов В. Г., Грищенко В. А. Проблемы и перспективы развития бесстыкового пути // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2010. № 22. С. 23–34.

7. Инструкция по устройству, укладке, содержанию и ремонту бесстыкового пути для обеспечения прочности и устойчивости бесстыкового пути: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 14 декабря 2016 г. № 2544р. 185 с.

8. Гапанович В. А., Михалкин И. К., Симаков О. Б. Комплексная оценка состояния бесстыкового пути // Железнодорожный транспорт. 2015. № 9. С. 24–27.

9. Павленко В. В. Система определения предотказного состояния бесстыкового пути для обеспечения безопасности движения поездов // Транспорт Российской Федерации. 2011. № 5. С. 31–33.

10. Патент № 2670723 Российская Федерация, МПК G01L1/00 (2006.01). Способ определения напряженно-деформированного состояния различных упругих объектов: № 2017144958: заявл. 21.12.2017; опубл. 15.11.2018 / Бидуля А. Л. [и др.]; заявитель АО «ВНИКТИ». 9 с.

11. ГОСТ 10629–88. Шпалы железобетонные, предварительно напряженные для железных дорог колеи 1520 мм. Технические условия: межгос. стандарт: утв. и введен в действие постановлением Государственного строительного комитета СССР от 21 ноября 1988 г. № 228: дата введения 1990-01-01. М.: ИПК Издательство стандартов, 2004. 16 с.

12. ГОСТ 16277–93 (ИСО 6305-2-83). Подкладки раздельного скрепления железнодорожных рельсов типов Р50, Р65 и Р75. Технические условия: межгос. стандарт: принят Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации 27 октября 1993 г.: дата введения 1995-01-01. М.: Стандартинформ, 2006. 20 с.

13. ГОСТ Р 56291–2014. Прокладки рельсовых скреплений железнодорожного пути. Технические условия (с поправкой): нац.

стандарт Российской Федерации: дата введения 2015-05-01. М.: Стандартинформ, 2015. 32 с.

14. ГОСТ Р 51685–2013. Рельсы железнодорожные. Общие технические условия (с Изменением № 1): нац. стандарт Российской Федерации: дата введения 2014-07-01. М.: Стандартинформ, 2014. 102 с.

15. Чунин С. В., Шабуневич В. И., Савоськин А. Н. Экспериментальное исследование собственных частот и форм колебаний рельса // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2020. Т. 79. № 3. С. 154–160. DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2020-79-3-154-160>.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

ВОЛОХОВ Григорий Михайлович, д-р техн. наук, заведующий отделением динамики и прочности подвижного состава и инфраструктуры, АО «ВНИКТИ»

ЧУНИН Сергей Владимирович, заведующий лабораторией, АО «ВНИКТИ»

УШАНОВ Андрей Викторович, заведующий лабораторией, АО «ВНИКТИ»

Статья поступила в редакцию 29.09.2021 г., первая рецензия получена 28.10.2021 г., вторая рецензия получена 08.11.2021 г., принята к публикации 12.11.2021 г.

Для цитирования: Волохов Г. М., Чунин С. В., Ушанов А. В. Методика оценки работоспособности бесстыкового пути по критерию соответствия действительной температуры закрепления рельса нормируемому значению // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2021. Т. 80. № 6. С. 327–333. DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-6-327-333>.

Methodic for evaluating the performance of a continuous welded track according to the criterion of compliance of the actual rail fastening temperature with the standardized value

G. M. VOLOKHOV, S. V. CHUNIN, A. V. USHANOV

Joint Stock Company “Research and Development Institute of Rolling Stock” (JSC “VNIKTI”), Kolomna, 140402, Russia

Abstract. Problem of safety evaluation of continuous welded track operation is considered. A comparative analysis of the current assessment methods is carried out and a method is proposed for identifying dangerous track sections according to the criterion of compliance of the actual rail fastening temperature with the standardized one. Under the actual fixing temperature in the article, the temperature of the rail is taken at which, as a result of its thermal expansion or contraction, a zero value of the longitudinal force is formed in it. A method is presented for calculating the actual temperature of rail fastening using the dependence of the natural frequency of rail vibrations on the applied longitudinal force, which was obtained by the computational method using the finite element model of the track section created by the authors by means of modal calculations for various values of the longitudinal force applied to the rail. Its verification was carried out using experimental data obtained as a result of testing at a specialized stand. The method of tests carried out on the stand and section of the continuous track of the Ozerskaya branch of the Moscow Rail-

way is described, which consists in determining the natural frequency of the first mode of rail vibration at different values of the longitudinal force, and in the case of field tests at different values of the rail temperature. The calculation of the actual temperature of rail fastening is given on the example of a section of a continuous-welded track of the Ozerskaya branch of the Moscow railway. It was found that the temperature of rail fastening on the investigated section corresponds to the normative for the given region.

Keywords: locomotive; multi-unit rolling stock; body; frame; strength; dynamic strength tests

DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-6-327-333>

REFERENCES

1. Bromberg E. M. *Perspektivy i problemy razvitiya besstykovogo puti na zheleznykh dorogakh SSSR* [Prospects and problems of the development of continuous welded track on the railways of

the USSR]. Trudy VNIIZhT [Proceedings of VNIIZHT]. Moscow, Transzheldorizdat Publ., 1962, issue 244, pp. 5–18.

2. Zverev N. B. *Eksperimental'noe issledovanie raboty besstykovogo puti* [Experimental study of the continuous welded track operation]. Trudy VNIIZhT [Proceedings of VNIIZHT]. Moscow, Transzheldorizdat Publ., 1962, issue 244, pp. 46–60.

3. Bromberg E. M., Zverev N. B. *Besstykovoy puti v krivykh* [Continuous welded track in curves]. Moscow, Transport Publ., 1968, pp. 3–31.

4. Bromberg E. M. *Ustoychivost' besstykovogo puti pod poezdami* [Stability of the continuous welded track under trains]. Sovershenstvovanie konstruksii i ekspluatatsii besstykovogo puti. Tr. VNIIZhT [Improvement of the design and operation of the continuous welded track. Proc. of VNIIZHT]. Moscow, Transport Publ., 1988, pp. 13–20.

5. Pershin S. P. *Metod rascheta ustoychivosti besstykovogo puti* [Method for calculating the stability of a continuous welded track]. Trudy MIIT [Proceedings of MIIT]. Moscow, 1962, issue 147, pp. 28–97.

6. Karpushchenko N. I., Osipov V. G., Grishchenko V. A. *Problemy i perspektivy razvitiya besstykovogo puti* [Problems and prospects of the development of continuous welded track]. The Siberian Transport University Bulletin, 2010, no. 22, pp. 23–34.

7. *Instructions for the arrangement, laying, maintenance and repair of a continuous welded track to ensure the strength and stability of a continuous welded track*. Approved by order of JSC Russian Railways dated December 14, 2016 No. 2544r, 185 p. (in Russ.).

8. Gapanovich V. A., Mikhalkin I. K., Simakov O. B. *Kompleksnaya otsenka sostoyaniya besstykovogo puti* [Complex assessment of the state of continuous welded track]. Zheleznodorozhnyy transport, 2015, no. 9, pp. 24–27.

9. Pavlenko V. V. *Sistema opredeleniya predotkaznogo sostoyaniya besstykovogo puti dlya obespecheniya bezopasnosti dvizheniya poezdov* [System for determining the pre-failure state of a continuous welded track to ensure the safety of train traffic]. Transport Rossiyskoy Federatsii, 2011, no. 5, pp. 31–33.

10. Bidulya A. L., Volokhov G. M., Ovechnikov M. N., Pannin Yu. A., Ponomarev A. S., Chunin S. V., Shabunovich V. I. *Sposob opredeleniya napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya raz-*

lichnykh uprugikh ob"ektov [Method for determining the stress-strain state of various elastic objects]. Patent no. 2670723, Rossiyskaya Federatsiya [Russian Federation], MPK G01L1/00 (2006.01), publ. 15.11.2018, 9 p. (in Russ.).

11. GOST 10629–88. *Prestressed reinforced concrete sleepers for 1520 mm gauge railways. Specifications*. Interstate standard, approved and put into effect by the decree of the State Construction Committee of the USSR dated November 21, 1988 No. 228. Moscow, IPK Publishing house of standards, 2004, 16 p. (in Russ.).

12. GOST 16277–93 (ISO 6305-2-83). *Plates of separate fastening for railway P50, P65 and P75 rails. Specifications*. Interstate standard, adopted by the Interstate Council for Standardization, Metrology and Certification on October 27, 1993. Moscow, Standartinform Publ., 2006, 20 p. (in Russ.).

13. GOST R 56291–2014. *Rail fasteners pads of railway. Specifications (as amended)*. National standard of the Russian Federation. Moscow, Standartinform Publ., 2015, 32 p. (in Russ.).

14. GOST R 51685–2013. *Railway rails. General specifications (with Amendment No. 1)*. National standard of the Russian Federation. Moscow, Standartinform Publ., 2014, 102 p. (in Russ.).

15. Chunin S. V., Shabunovich V. I., Savos'kin A. N. *Eksperimental'noe issledovanie sobstvennykh chastot i form kolebaniy rel'sa* [Experimental study of natural frequencies and forms of the rail oscillations]. Vestnik VNIIZhT [Vestnik of the Railway Research Institute], 2020, Vol. 79, no. 3, pp. 154–160. DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2020-79-3-154-160>.

ABOUT THE AUTHORS

Grigoriy M. VOLOKHOV,

Dr. Sci. (Eng.), Head of the Department of Dynamics and Strength of Rolling Stock and Infrastructure, JSC "VNIKI"

Sergey V. CHUNIN,

Head of Laboratory, JSC "VNIKI"

Andrey V. USHANOV,

Head of Laboratory, JSC "VNIKI"

Received 29.09.2021

First review received 28.10.2021

Second review received 08.11.2021

Accepted 12.11.2021

■ E-mail: vniki15@yandex.ru (S. V. Chunin)

For citation: Volokhov G. M., Chunin S. V., Ushanov A. V. Methodic for evaluating the performance of a continuous welded track according to the criterion of compliance of the actual rail fastening temperature with the standardized value // Russian Railway Science. 2021. 80 (6): 327–333 (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-6-327-333>.

ВЫШЛИ В СВЕТ ТРУДЫ ВНИИЖТ

Ромен Ю. С. Взаимодействие пути и экипажа в рельсовой колее / Ю. С. Ромен. — 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.

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



Особенности оценки состояния и поведения низководных мостов

А. А. ЛОКТЕВ, В. В. КОРОЛЕВ, И. В. ШИШКИНА

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет транспорта» (ФГАОУ ВО «РУТ» (МИИТ)), Москва, 127055, Россия

Аннотация. Описаны особенности эксплуатации и мониторинга низководных мостов, которые встречаются на автомобильных дорогах регионального, межмуниципального и местного значения. Детально рассмотрены колебания пролетного строения моста с учетом его взаимодействия с другими элементами конструкции и окружающей среды. В качестве характеристики, изменение которой учитывает изменение состояния мостового сооружения, предлагается использовать частоту собственных колебаний. Для моделирования динамических воздействий со стороны транспорта и динамического поведения отдельных элементов и всего сооружения в целом предполагается использовать вязкоупругие элементы типа Кельвина—Фойгта. При решении задачи реализован подход, позволяющий учесть анизотропные свойства пролетного строения, связанные с различным армированием вдоль и поперек проезжей части моста, и представить расчетную схему пролета не в виде балки, опертой по краям с помощью шарниров или вязкоупругих демпферов, а в виде пластины, которая может иметь различные условия закрепления по всему контуру. Использование предлагаемой модели и подхода позволит получать необходимые данные о состоянии низководных мостов, для которых зачастую отсутствует возможность визуального осмотра или инструментального обследования с нижней стороны несущей части пролетного строения. По значениям частоты собственных колебаний можно оценивать уровень воды над меженью и прогнозировать паводковые ситуации, во время которых проезжая часть низководного моста может быть подтоплена.

Ключевые слова: автомобильные дороги; низководный мост; пролетное строение; частота колебаний; вязкоупругие элементы; мониторинг; дефекты

Введение. Современные транспортные коммуникации невозможно представить без искусственных сооружений, особенности возведения и эксплуатации которых вносят весомый вклад на всех этапах жизненного цикла трассы. Для развития отечественных транспортных систем существенное значение имеют не только высокоскоростные магистрали и скоростные дороги, но и дороги обычного типа общего пользования, относящиеся по имеющейся классификации к автомобильным дорогам регионального, межмуниципального и местного значения, которые находятся в собственности субъектов Российской Федерации или муниципальных образований и финансируются из соответствующих бюджетов.

Существуют особенности эксплуатации и мониторинга низководных мостов, которые встречаются на

автомобильных дорогах регионального, межмуниципального, местного значения, а также на частных автомобильных дорогах. Низководные мосты возводятся для преодоления препятствия небольшой высоты над его поверхностью, при этом за основное положение уровня воды может приниматься меженный уровень, т. е. пролетные строения таких искусственных сооружений могут затопляться при высоком уровне проходящей воды. Чаще всего такие сооружения имеют временную категорию, но вместе с тем есть примеры очень длительной эксплуатации подобных мостов и их наличия на магистралях федерального уровня (Крымский мост, мост через Амурский залив во Владивостоке и т. д.).

В целом можно отметить, что низководные мостовые переходы возводятся без учета возможности пропуска ледохода, высоких вод и водного транспорта. Чаще всего за расчетную схему принимают балочную разрезную систему (рис. 1, а) или ферменную с ездой понизу (рис. 1, б). Рассматриваемый ниже подход может быть применен при разработке алгоритмов мониторинга, диагностики и паспортизации подобных мостовых переходов, что актуально из-за сложностей визуального осмотра конструкции моста с воды.

Методы исследования. Детально рассмотрим колебания пролетного строения моста с учетом его взаимодействия с другими элементами конструкции и окружающей среды (грунт, вода). В качестве характеристики, изменение которой учитывает изменение состояния мостового сооружения, предлагается использовать частоту собственных колебаний [1–3]. Отдельно можно отметить отсутствие в нормативной литературе описания особенностей мониторинга низководных мостов, которые в этих документах практически не отличаются от обычных мостовых переходов, но опыт реальной эксплуатации таких искусственных сооружений показывает наличие множественных отличий [4, 5].

В качестве основной расчетной схемы моделируемого мостового перехода используется схема, представленная на рис. 2.

Пролетное строение, образуемое из проезжей и несущей частей, опирается на жесткие береговые

опоры. Верхнее строение (проезжая часть) воспринимает нагрузку от проходящего автотранспорта и передает давление от нее на пролетное строение (несущую часть), которая затем через узлы опирания передает нагрузку на ригельную балку опоры, а через нее и на стойки-сваи и далее на грунт основания [6–8]. Для моделирования динамических воздействий со стороны транспортных средств и динамического поведения отдельных элементов и всего сооружения в целом предполагается использовать вязкоупругие элементы типа Кельвина–Фойгта, которые, как показали исследования отечественных и зарубежных ученых, наилучшим образом описывают изменения во времени параметров состояния применяемых материалов, конструктивных узлов и окружающей среды при действии внешней динамической нагрузки [4, 5, 9].

Традиционные методы определения напряженно-деформированного состояния элементов мостового перехода [8–11] предполагают учет в основном статической нагрузки с определением изгибающего момента M и поперечной силы Q в сечениях пролетного строения по известным формулам

$$M\left(x = \frac{1}{2}\right) = \gamma_f p_{nc} \omega_M + \gamma_f k_p (1 + \mu_p) \omega_M + \gamma_f P_n (1 + \mu_p) (y_1 + y_2) \eta_s; \quad (1)$$

$$Q(x = 0) = \gamma_f p_{nc} \omega_Q + \gamma_f k_p (1 + \mu_p) \omega_Q + \gamma_f P_n (y_3 + y_4) \eta_s, \quad (2)$$

где γ_f — коэффициент надежности по нагрузке; p_{nc} — интенсивность равномерно распределенной нагрузки от собственного веса несущих конструкций пролетного строения; k_p — интенсивность равномерно распределенной нагрузки от собственного веса верхнего строения дороги (проезжей части); ω_M и ω_Q — площадь участка линии влияния изгибающего момента и поперечной силы в заданном сечении, m^2 , соответственно; P_n — нагрузка на колесную ось, определяемая типом автомобильной нагрузки, кН; μ_p — коэффициент влияния поперечной деформации пролетного строения; y_1, y_2 и y_3, y_4 — ординаты линий влияния изгибающего момента и поперечной силы для двухосного транспортного средства в точках приложения внешних сил, м; η_s — коэффициент, связанный с симметричностью приложения нагрузки относительно продольной оси мостового сооружения.

Для проверки условия прочности пролетного строения вычисляют наибольшие нормальные напряжения σ (в середине пролета) и касательные напряжения τ (на опоре):

$$\sigma = \frac{M\left(x = \frac{1}{2}\right)}{v_1 W_{ps\,nt}} \leq R_y m_n; \quad (3)$$



Рис. 1. Низководные мостовые переходы с однопролетной расчетной схемой:

a — железобетонный балочный; *b* — металлический ферменный

Fig. 1. Low-water bridge crossings with a single-span design scheme:

a — reinforced concrete beam; *b* — metal truss

$$\tau = \frac{Q_0 S_{br}}{v_2 J_{br} t_w} \leq R_s, \quad (4)$$

где m_n, v_1, v_2 — коэффициенты надежности; R_y — расчетное сопротивление материала пролетного строения изгибу, МПа; R_s — расчетное сопротивление материала пролетного строения срезу, МПа; $W_{ps\,nt}$ — момент сопротивления поперечного сечения пролетного строения нетто, cm^3 ; t_w — толщина стенки балки, мм; J_{br} — момент инерции поперечного сечения пролетного строения брутто, cm^4 ; S_{br} — статический момент части поперечного сечения брутто, cm^3 , $S_{br} = 0,5 F_{br} y_{ctr}$ (F_{br} — площадь сечения пролетного строения брутто, cm^2 ; y_{ctr} — ордината центра тяжести половины сечения пролетного строения, см).

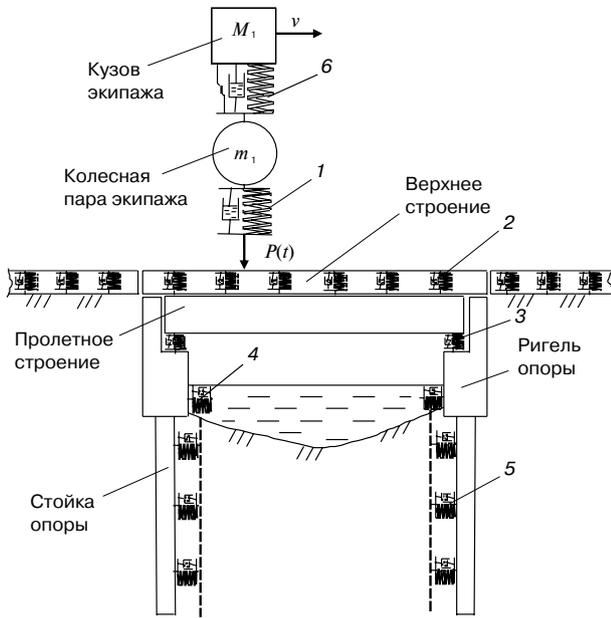


Рис. 2. Схема однопролетного низководного моста с вязкоупругими элементами типа Кельвина—Фойгта, описывающая динамическое взаимодействие от колесной пары на дорожную одежду 1, динамическое поведение самого верхнего строения перехода 2, опирание пролета на ригель опоры 3, взаимодействие ригеля и воды 4, взаимодействие заглубленной опорной конструкции с грунтом основания 5, взаимодействие кузова экипажа и колесной пары 6: v — горизонтальная скорость движения экипажа, м/с; M_1 — масса кузова транспортного средства, кг; m_1 — масса колесной пары, кг; $P(t)$ — сила взаимодействия транспортного средства и пролетного строения, кН

Fig. 2. Scheme of a single-span low-water bridge with viscoelastic elements of the Kelvin—Voigt type, describing the dynamic interaction from the wheelset on the pavement 1, dynamic behavior of the uppermost structure of the transition 2, support of the span on the girder of the support 3, interaction of the girder and water 4, interaction of the recessed support structure with the ground of the base 5, interaction of the carriage body and wheelset 6: v — horizontal speed of the carriage, m/s; M_1 — mass of the vehicle body, kg; m_1 — mass of the wheelset, kg; $P(t)$ — force of interaction between the vehicle and the superstructure, kN

Если в качестве несущих конструкций пролетного строения используются балочные элементы, то необходимо проводить расчет общей устойчивости балки в сжатой зоне против выпучивания в горизонтальной плоскости, для этого используют следующее выражение:

$$\sigma = \frac{M \left(x = \frac{1}{2} \right)}{W_{pbr} \varphi_{pr}} \leq R_y m_n, \quad (5)$$

где W_{pbr} — момент сопротивления сжатого пояса балки брутто, см³, $W_{pbr} = t_p b_p^2 / 6$ (b_p и t_p — ширина и толщина сжатого пояса балки, мм, соответственно); φ_{pr} — коэф-

фициент продольного изгиба, определяемый согласно рекомендациям СП 35.13330.2010 [12].

При использовании конструкции пролетного строения с опорными ребрами жесткости требуется выполнить проверку устойчивости стенки балки и опорных ребер по формуле

$$\sigma = \frac{R_{op}}{A_{rbr} \varphi_{pr}} \leq R_y, \quad (6)$$

где R_{op} — опорная реакция в узле опирания балочного пролетного строения ригельной балки опоры, кН; A_{rbr} — приведенная рабочая площадь ребра жесткости брутто, мм², обычно определяется как $A_{rbr} = 30t_w t_w + 2b_r \delta_r$ (b_r , δ_r — ширина и толщина ребра жесткости, мм, соответственно, $b_r = h_{st} / 30 + 40$, где h_{st} — высота стенки, мм).

Выбор в качестве одного из основных параметров мониторинга технического состояния мостового перехода частоты собственных колебаний пролетного строения объясняется тем, что данная характеристика отражена в нормативно-правовой документации по проектированию и эксплуатации искусственных сооружений [2, 3, 12]. При проектировании мостовых переходов, пролетные строения которых работают по балочной схеме, необходимо, чтобы первая форма частоты вертикальных колебаний удовлетворяла условиям

$$f_{1,\min} \leq f_1 \leq f_{1,\max}, \quad 1,2f_1 \leq f_{1,t}, \quad (7)$$

где f_1 — первая форма частоты вертикальных колебаний, Гц; $f_{1,t}$ — частота по первой крутильной форме; $f_{1,\max}$ — верхний предел первой формы частоты собственных колебаний (связан с частотами возбуждения, возникающими из-за неровностей проезжей части и нехарактерных деформаций колесных пар транспортных средств); $f_{1,\min}$ — нижний предел первой формы частоты (связан с возможным резонансом пролетного строения из-за перемещения колесных пар экипажей и существенно зависит от длины пролетного строения).

Условия (7) разработаны Международным союзом железных дорог и в России являются во многом рекомендательными. На китайских железных дорогах действуют альтернативные критерии ограничения нижнего предела частоты собственных колебаний, в зависимости от скорости экипажей и длины пролета разрезной балочной схемы такой критерий находится в диапазоне от $100/L$ до $150/L$ (L — длина пролета, м).

Графически описанные условия ограничения могут быть представлены в виде двух кривых, между которыми находится область допустимых значений для первой формы частоты собственных колебаний пролетного строения (рис. 3), кривая 1 — для $f_{1,\max}$, кривая 2 — для $f_{1,\min}$.

Как показывают результаты исследований отечественных и зарубежных ученых, данные графические условия ограничения хорошо подходят для скоростей экипажей от 100 до 450 км/ч, при этом чем выше значение скорости из этого интервала, тем ближе к верхнему пределу располагается расчетная кривая для частоты собственных колебаний [8, 10, 13–15].

В настоящем исследовании реализуется подход, позволяющий учесть анизотропные свойства пролетного строения, связанные с различным армированием вдоль и поперек проезжей части моста, и представить расчетную схему пролета не в виде балки, опертой по краям с помощью шарниров или вязкоупругих демпферов, а в виде пластины, которая может иметь различные условия закрепления по всему контуру [16–18].

Расчетная схема пролетного строения. Рассмотрим трансверсально-изотропную пластину постоянной толщины, которая в недеформированном виде занимает область $\{0 \leq x \leq l_1; 0 \leq y \leq l_2; -h \leq z \leq h\}$, где l_1, l_2 — длина и ширина плоского элемента в плане, мм, соответственно. Приближенное уравнение поперечных колебаний такого плоского элемента в частных производных четвертого порядка имеет гиперболический вид [9]:

$$A_1 \frac{\partial^2 W}{\partial t^2} + A_2 \frac{\partial^4 W}{\partial t^4} - A_3 \frac{\partial^2}{\partial t^2} \Delta W + A_4 \Delta^2 W + P(W) = 0, \quad (8)$$

где A_1 – A_4 — функциональные коэффициенты; t — время, с; W — вертикальное перемещение точек срединной плоскости пластины, мм; Δ — оператор Лапласа; $P(W)$ — реакция опоры упругого основания.

$$\begin{aligned} A_1 &= \rho; A_2 = \rho^2 (A_{33}^{-1} + 3A_{44}^{-1}) \frac{h^2}{b}; \\ A_3 &= \left\{ -\rho \left[2 - 2A_{11} A_{33}^{-1} - 3(A_{13}^2 - A_{11} A_{33}) \times \right. \right. \\ &\quad \left. \left. \times A_{33}^{-1} A_{44}^{-1} \right] \right\} \frac{h^2}{b}; \\ A_4 &= 2A_{33}^{-1} (A_{11} A_{33} - A_{13}^2) \frac{h^2}{b}, \end{aligned} \quad (9)$$

где ρ — плотность материала пролетного строения, кг/м³; b — скорость поперечной (сдвиговой) волны, м/с; $A_{11} = A_{13} = \dots = A_{nm}$ — коэффициенты анизотропии.

Пластина, моделирующая пролетное строение мостового перехода с двух противоположных сторон, имеет не нагруженный край, а с двух сторон упруго оперта на ригельные балки опор, соответственно граничные условия могут быть представлены в виде следующих соотношений [8–10, 19]:

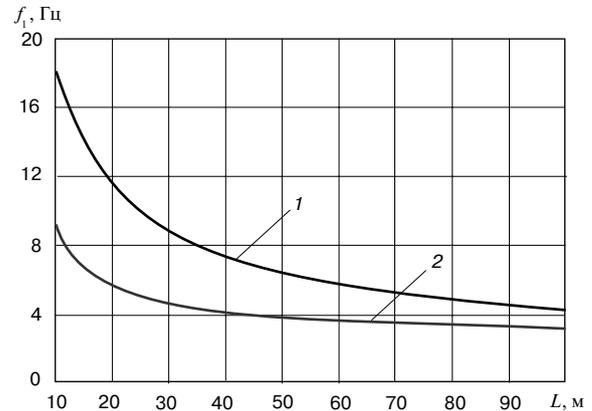


Рис. 3. Ограничения частоты собственных колебаний по первой форме f_i для пролетных строений с разрезной балочной расчетной схемой:

1 — верхний предел; 2 — нижний предел

Fig. 3. Limitations of the frequency of natural vibrations according to the first form f_i for spans with a split beam design scheme:

1 — upper limit; 2 — lower limit

$$\left. \begin{aligned} M \left\{ (2 + 3D) \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} + (1 + D) \left[2 \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} - \frac{\rho}{M_{op}} \frac{\partial^2 W}{\partial t^2} \right] \right\} &= -\frac{3\rho_{op} h_{op}}{4} \frac{\partial^3 W}{\partial x \partial t^2} \\ D^2 M \left[\frac{\partial^3 W}{\partial x^3} - \frac{3\rho_{op} h_{op}}{4M_{op}} \frac{\partial^4 W}{\partial x^2 \partial t^2} \right] &= \end{aligned} \right\} x = 0, l_1; \quad (10)$$

$$\left. \begin{aligned} &= 3 \frac{h_{op}^2}{h^3} D_{op} M_{op} (1 + D) \times \\ &\times \left[2 \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} - \frac{\rho_{op}}{M_{op}} \frac{\partial^2 W}{\partial t^2} \right] \\ \frac{\partial^3 W}{\partial y^3} &= 0 \\ (2 - 3D) \frac{\partial^2 W}{\partial x^2} + (1 + D) \frac{\partial^2 W}{\partial y^2} &- \\ -\rho \frac{(1 + D)}{M} \frac{\partial^2 W}{\partial t^2} & \end{aligned} \right\} y = 0, l_2,$$

где D, M — приведенная цилиндрическая жесткость пластины и изгибающий момент на ее кромке соответственно; индекс «*op*», стоящий в нижнем регистре величины, обозначает, что эта величина относится к упругому демпферу, на который опирается плоское пролетное строение, а физический смысл при этом не меняется [18, 20].

Решение уравнения (8) предлагается искать в следующем виде:

$$W(x, y, t) = W(x, y) \exp\left(\xi \frac{bt}{h}\right), \quad (11)$$

где ξ — частота собственных колебаний пластины, Гц.

Если подставить (11) в (8) и использовать новые обозначения для функциональных коэффициентов, то получим определяющее уравнение в следующем виде:

$$[\Delta^2 + B_1 \Delta + B_2] W(x, y) = 0, \quad (12)$$

$$\text{где } B_1 = \frac{1}{A_4} \left(-A_3 \left(\xi \frac{b}{h} \right)^2 \right);$$

$$B_2 = \frac{1}{A_4} \left(A_1 \left(\xi \frac{b}{h} \right)^2 + A_2 \left(\xi \frac{b}{h} \right)^4 \right). \quad (13)$$

Для удобства математических преобразований введем безразмерные координаты и функции прогиба:

$$x = \frac{l_1}{\pi} \alpha; \quad y = \frac{l_2}{\pi} \beta; \quad W(x, y) = \frac{l_1^4}{\pi^4} V(\alpha, \beta). \quad (14)$$

Вводя новое обозначение $\eta = l_1 / l_2$, определяющее соотношение сторон пролетного строения в плане, уравнение (12) с учетом соотношений (14) можно записать как

$$\left[\frac{\partial^4}{\partial \alpha^4} + 2\eta^2 \frac{\partial^4}{\partial \alpha^2 \partial \beta^2} + \eta^4 \frac{\partial^4}{\partial \beta^4} + B_1 \frac{l_1^2}{\pi^2} \times \right. \\ \left. \times \left(\frac{\partial^2}{\partial \alpha^2} + \eta^2 \frac{\partial^2}{\partial \beta^2} \right) + B_2 \frac{l_1^4}{\pi^4} \right] V(\alpha, \beta) = 0. \quad (15)$$

Для решения данного уравнения предлагается подход (метод декомпозиций), заключающийся в разделении сложной задачи на три более простые вспомогательные задачи:

$$\left. \begin{aligned} & \frac{\partial^4 V_1}{\partial \alpha^4} = f_1(\alpha, \beta); \quad V_1 = \frac{\partial^2 V_1}{\partial \alpha^2} = 0; \quad \alpha = 0 \\ & 1) (M_1 - M_4) \frac{\partial^2 V_1}{\partial \alpha^2} + M_2 \frac{\partial^2 V_1}{\partial \beta^2} + \\ & + M_3 \frac{\partial^2 V_1}{\partial t^2} = 0 \\ & (M_5 - M_8) \frac{\partial^3 V_1}{\partial \alpha^3} + M_6 \frac{\partial^3 V_1}{\partial \alpha \partial \beta^2} + \\ & + M_7 \frac{\partial^3 V_1}{\partial \alpha \partial t^2} = 0 \end{aligned} \right\} \alpha = \pi; \quad (16)$$

$$2) \eta^4 \frac{\partial^4 V_2}{\partial \beta^4} = f_2(\alpha, \beta); \quad V_2 = \frac{\partial^2 V_2}{\partial \beta^2} = 0; \quad \beta = 0, \pi; \quad (17)$$

$$3) \left[2\eta^2 \frac{\partial^4}{\partial \alpha^2 \partial \beta^2} + B_1 \frac{l_1^2}{\pi^2} \left(\frac{\partial^2}{\partial \alpha^2} + \eta^2 \frac{\partial^2}{\partial \beta^2} \right) + \right. \\ \left. + B_2 \frac{l_1^4}{\pi^4} \right] V_3 + f_3 = 0. \quad (18)$$

При формулировке вспомогательных задач считается, что в заданных точках плитного элемента [21–23] выполняются следующие соотношения:

$$V_1 \cong V_2; \quad V_3 \cong \frac{1}{2}(V_1 + V_2). \quad (19)$$

В выражениях (16)–(18) $f_i(\alpha, \beta)$ — произвольные функции, которые в общем случае представим в виде

$$f_i(\alpha, \beta) = \sum_{n,m=1}^{\infty} a_{n,m}^{(i)} \sin(n\alpha) \sin(m\beta), \quad (20)$$

где $a_{n,m}^{(i)}$ — произвольные постоянные, а индекс i принимает значения 1 или 2.

Общее решение для всех трех вспомогательных задач предлагается искать в виде

$$V_1(\alpha, \beta) = \sum_{n,m=1}^{\infty} \frac{a_{n,m}^{(1)}}{n^4} \sin(n\alpha) \sin(m\beta) + \\ + \frac{\alpha^3}{6} \psi_1(\beta) + \frac{\alpha^2}{2} \psi_2(\beta) + \alpha \psi_3(\beta) + \psi_4(\beta); \quad (21)$$

$$V_2(\alpha, \beta) = \sum_{n,m=1}^{\infty} \frac{a_{n,m}^{(2)}}{\eta^4 m^4} \sin(n\alpha) \sin(m\beta) + \\ + \frac{\beta^3}{6} \varphi_1(\alpha) + \frac{\beta^2}{2} \varphi_2(\alpha) + \beta \varphi_3(\alpha) + \varphi_4(\alpha),$$

где $\psi_i(\beta), \varphi_i(\alpha)$ — произвольные функции, зависящие от безразмерных координат.

Произвольные функции ψ_i в выражении (21) для $V_1(\alpha, \beta)$ можно определить, используя соотношения (16):

$$\psi_2(\beta) = 0; \quad \psi_4(\beta) = 0; \\ \psi_1(\beta) = \frac{A_2}{A_1 - 1} a_{11}^{(1)} \sin(\beta); \quad \psi_3(\beta) = 0 \quad \text{при } \alpha = \pi, \quad (22)$$

$$\text{где } A_1 = \frac{M_1 - M_4 - M_5 + M_8}{M_2 \frac{\pi^2}{6} - M_6 \frac{\pi^2}{2}} + \frac{1}{3} \frac{M_3 - M_7}{M_2 - M_6} \left(\xi \frac{b}{h} \right)^2;$$

$$A_2 = \frac{M_5 - M_8 + M_6 - M_7 \left(\xi \frac{b}{h} \right)^2}{M_2 \frac{\pi^2}{6} - M_6 \frac{\pi^2}{2}};$$

$$M_1 = \mu(2 + 3D) \frac{l_1^3}{\pi^3};$$

$$\begin{aligned}
 M_2 &= 2[\mu(1+D)h - \mu_{op}(1+D_{op})h_{op}] \frac{l_1^4}{\pi^3 l_2}; \\
 M_3 &= -[\rho h(1+D) - \rho_{op} h_{op}(1+D_{op})] \left(\frac{\xi b}{h}\right)^2 \frac{l_1^4}{\pi^4}; \\
 M_4 &= \mu_{op} (2+3D_{op}) \frac{l_1^3}{\pi^3}; \quad M_5 = 2D\mu h^2 \frac{l_1^3}{\pi^3}; \\
 M_6 &= (2D\mu h^2 - 2D_{op}\mu_{op} h_{op}^2) \frac{l_1^4}{\pi^3 l_2}; \\
 M_7 &= -(\rho D h^2 - \rho_{op} D_{op} h_{op}^2) \left(\frac{\xi b}{h}\right)^2 \frac{l_1^4}{\pi^4}; \\
 M_8 &= 2D_{op}\mu_{op} h_{op}^2 \frac{l_1^3}{\pi^3},
 \end{aligned}$$

где μ, μ_{op} — коэффициенты Пуассона для материала пролетного строения и опорного узла соответственно.

Полагая $n, m = 1$, получим

$$V_1(\alpha, \beta) = a_{11}^{(1)} \sin(\alpha) \sin(\beta) + \frac{\alpha^3}{6} \frac{A_2}{A_1 - 1} a_{11}^{(1)} \sin(\beta). \quad (23)$$

Произвольные функции φ_i из выражения для $V_2(\alpha, \beta)$ в системе (21) можно определить, используя соотношения (24):

$$\begin{aligned}
 \varphi_2(\alpha) &= 0; \quad \varphi_4(\alpha) = 0 \quad \text{при } \beta = 0; \\
 \varphi_1(\alpha) &= 0; \quad \varphi_3(\alpha) = 0 \quad \text{при } \beta = \pi; \\
 V_2(\alpha, \beta) &= \frac{a_{11}^{(2)}}{\eta_1^4} \sin(\alpha) \sin(\beta).
 \end{aligned} \quad (24)$$

Подставляя выражения (23) и (24) в соотношения метода декомпозиций (18) и (19), получим определяющую систему уравнений

$$\begin{aligned}
 &\left. \begin{aligned}
 &\frac{1}{2} \left[2\eta^2 \frac{\partial^4}{\partial \alpha^2 \partial \beta^2} + B_1 \frac{l_1^2}{\pi^2} \left(\frac{\partial^2}{\partial \alpha^2} + \eta^2 \frac{\partial^2}{\partial \beta^2} \right) + \right. \\
 &+ B_2 \frac{l_1^4}{\pi^4} \left[a_{11}^{(1)} \sin(\alpha) \sin(\beta) + \frac{\alpha^3}{6} \frac{A_2}{A_1 - 1} a_{11}^{(1)} \sin(\beta) + \right. \\
 &+ \frac{a_{11}^{(2)}}{\eta_1^4} \sin(\alpha) \sin(\beta) \left. \right] + a_{11}^{(1)} \sin(\alpha) \sin(\beta) + \\
 &+ a_{11}^{(2)} \sin(\alpha) \sin(\beta) = 0; \\
 &a_{11}^{(1)} \sin(\alpha) \sin(\beta) + \frac{\alpha^3}{6} \frac{A_2}{A_1 - 1} a_{11}^{(1)} \sin(\beta) - \\
 &\left. - \frac{a_{11}^{(2)}}{\eta_1^4} \sin(\alpha) \sin(\beta) = 0. \right\} \quad (25)
 \end{aligned}
 \end{aligned}$$

Систему (25) можно переписать в более компактном виде

$$\begin{cases} c_{11} a_{11}^{(1)} + c_{12} a_{11}^{(2)} = 0; \\ c_{11} a_{11}^{(1)} + c_{12} a_{11}^{(2)} = 0, \end{cases} \quad (26)$$

используя следующие обозначения:

$$\begin{aligned}
 c_{11} &= \eta_1^2 \left(1 - \frac{\pi}{2} \frac{A_2}{A_1 - 1} \right) + B_1 \frac{l_1^2}{\pi^2} \left(-\frac{1}{2} + \frac{\pi}{4} \frac{A_2}{A_1 - 1} - \right. \\
 &\left. - \frac{1}{2} \eta_1^2 - \eta_1^2 \frac{\pi^3}{96} \frac{A_2}{A_1 - 1} \right) + B_2 \frac{l_1^4}{\pi^4} \left(\frac{1}{2} + \frac{\pi^3}{96} \frac{A_2}{A_1 - 1} \right) + 1; \\
 c_{12} &= \frac{1}{\eta_1^2} - \frac{1}{2} B_1 \frac{l_1^2}{\pi^2} \left(\frac{1}{\eta_1^4} - \frac{1}{\eta_1^2} \right) + \frac{1}{2} B_2 \frac{l_1^4}{\pi^4} \frac{1}{\eta_1^4} + 1; \\
 c_{21} &= 1 + \frac{\pi^3}{6} \frac{A_2}{A_1 - 1}; \quad c_{22} = -\frac{1}{\eta_1^4}.
 \end{aligned} \quad (27)$$

Уравнения системы (26) имеют нулевую правую часть, а значит, нетривиальное решение данных соотношений возможно только при условии разрешения характеристического уравнения относительно частот собственных колебаний [24–26], которое представляет собой равенство нулю главного определителя системы (26). При решении характеристического уравнения определяются частоты собственных колебаний плитной конструкции, которые могут быть показаны в виде графических кривых для различных механических и геометрических параметров моста. В качестве примера был рассмотрен железобетонный мостовой переход с длиной пролета 18 м, шириной пролета 6 м и приведенной толщиной $h = 0,6$ м, параметры опорного узла принимались следующими: $\mu_{op} = 0,35$; $\rho_{op} = 2500$ кг/м³; $M = 2$ кН·м. На рис. 4 показана

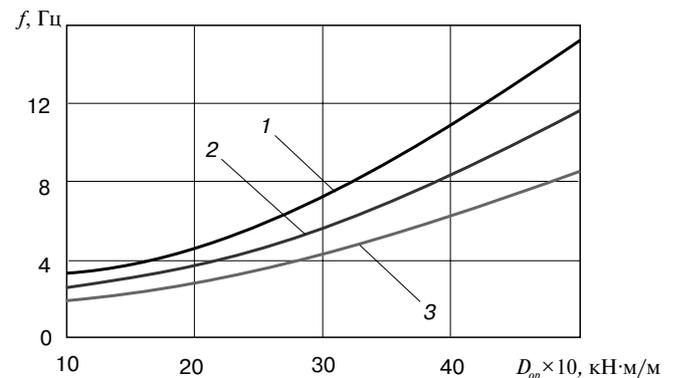


Рис. 4. Зависимость первых трех форм частоты собственных колебаний пролетного строения моста от жесткости узла опорения пролета на ригель опоры: 1 — третья форма частоты собственных колебаний; 2 — вторая форма частоты собственных колебаний; 3 — первая форма частоты собственных колебаний
Fig. 4. Dependence of the first three forms of the frequency of natural vibrations of the bridge superstructure on the rigidity of the span support unit on the support girder: 1 — third form of the frequency of natural vibrations; 2 — second form of the frequency of natural vibrations; 3 — first form of the frequency of natural vibrations

зависимость частоты собственных колебаний плитного пролетного строения от приведенной жесткости узла опирания пролета на ригельную балку опоры. Кривая 1 на рисунке соответствует третьей форме частоты собственных колебаний, кривая 2 — второй форме, кривая 3 — первой форме.

Полученные графические зависимости имеют ярко выраженный нелинейный характер с жесткой характеристикой нелинейности, т. е. выпуклость кривых направлена вниз. Формат получаемых результатов соответствует формату, необходимому для проверки условий нормативных документов о попадании первой формы частоты собственных колебаний мостовых пролетов в интервал между верхним и нижним значениями соответствующего предела; это позволит при строительстве, реконструкции или капитальных ремонтах искусственных сооружений правильно подобрать длину пролетных строений и скоростной режим движения транспортных средств.

Выводы. Периодический мониторинг одних и тех же мостовых переходов с использованием рассмотренного подхода позволит выявить наличие дефектов в самом пролетном строении, связанных с образованием трещин, сколов, уменьшением рабочих площадей значимых элементов и т. д., поскольку при таких дефектах меняются оцениваемые частоты, и это может являться сигналом к проведению необходимых ремонтных работ или введению ограничений на нагрузку, передаваемую на ось транспортного средства, общий вес экипажа, на расстояние между экипажами и скорости при их движении по мосту.

Использование предлагаемой модели и подхода позволит получать необходимые данные о состоянии низководных мостов, для которых зачастую отсутствует возможность визуального осмотра или инструментального обследования с нижней стороны несущей части пролетного строения. По значениям частоты собственных колебаний можно оценивать уровень воды над межеью и прогнозировать паводковые ситуации, во время которых проезжая часть низководного моста может быть подтоплена.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Hess J. Rail expansion joints — the underestimated track work material // *Track-Bridge Interaction on High-Speed Railways*. London, UK: Taylor & Francis Group, 2009. P. 149–164.
- Технические условия для конструкций пути на подходах к искусственным сооружениям: утв. Департаментом пути и сооружений МПС 16 декабря 2003 г. М.: Транспорт, 2004. 24 с.
- Специальные технические условия. Верхнее строение пути участка Москва—Казань—Екатеринбург высокоскоростной железнодорожной магистрали. Технические нормы и требования к проектированию и строительству. СПб.: [б. и.], 2014. 32 с.
- Иванченко И.И. Динамика транспортных сооружений: высокоскоростные подвижные, сейсмические и ударные нагрузки. М.: Наука, 2011. 574 с.
- Matsumoto N., Asanuma K. Some experiences on track-bridge interaction in Japan // *Track-Bridge Interaction on High-Speed Railways*. London, UK: Taylor & Francis Group, 2009. P. 80–97.
- Fryba L. *Dynamic of railway bridges*. Praha: Academia, 1996. 330 p.
- Polyakov V. Interaction Optimization in Multibody Dynamic System // *International Journal of Theoretical and Applied Mechanics*. 2017. Vol. 2. P. 43–51.
- Барченков А.Г. Динамический расчет автодорожных мостов. М.: Транспорт, 1976. 200 с.
- Филиппов И.Г., Егорычев О.А. Нестационарные колебания и дифракция волн в акустических и упругих средах. М.: Машиностроение, 1977. 302 с.
- Коган А.Я. Динамика пути и его взаимодействие с подвижным составом. М.: Транспорт, 1997. 325 с.
- Chen Y. H., Li C. Y. Dynamic response of elevated high-speed railway // *Journal of Bridge Engineering / ASCE*. 2000. Vol. 5. No. 2. P. 124–130.
- Мосты и трубы: свод правил: СП 35.13330.2010. Актуализированная редакция СНиП 2.05.03–84*. М.: ОАО «ЦПП», 2011. 341 с.
- Kawatani M., Kim C. Computer simulation for dynamic wheel loads of heavy vehicles // *Structural Engineering & Mechanics*. 2001. Vol. 12. No. 4. P. 409–428.
- Pan T. C., Li J. Dynamic vehicle element method for transient response of coupled vehicle-structure systems // *Journal of Structural Engineering / ASCE*. 2002. Vol. 128. No. 2. P. 214–223.
- Kou J. W., DeWolf J. T. Vibrational behavior of continuous span highway bridge — Influencing variables // *Journal of Structural Engineering / ASCE*. 1997. Vol. 123. No. 3. P. 333–344.
- Метод защиты сооружений от вибраций и сейсмических воздействий / Е. Н. Курбачкий [и др.] // *Строительство и реконструкция*. 2018. № 4. С. 55–67.
- Kurihara M., Shimogo T. Vibration of an elastic beam subjected to discrete moving loads // *Journal of Mechanical Design / ASME*. 1978. Vol. 100. No. 7. P. 514–519.
- Loktev A. A. Non-elastic models of interaction of an impactor and an Uflyand-Mindlin plate // *International Journal of Engineering Science*. 2012. Vol. 50. No. 1. P. 46–55.
- Loktev A. A. Dynamic contact of a spherical indenter and a prestressed orthotropic Uflyand-Mindlin plate // *Acta Mechanica*. 2011. Vol. 222. No. 1–2. P. 17–25.
- New lining with cushion for energy efficient railway turnouts / B. Glusberg [et al.] // *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2020. Vol. 982. P. 556–570.
- Modeling the dynamic behavior of the upper structure of the railway track / A. A. Loktev [et al.] // *Procedia Engineering*. 2017. Vol. 189. P. 133–137.
- Перспективные конструкции мостовых переходов на транспортных магистралях / А.А. Локтев [и др.] // *Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ)*. 2018. Т. 77. № 6. С. 331–336. DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2018-77-6-331-336>.
- Влияние высокочастотного нагружения на структуру малоуглеродистой стали / Е.А. Гридасова [и др.] // *Наука и техника транспорта*. 2017. № 2. С. 82–91.
- Локтев А.А., Локтев Д.А. Решение задачи ударного взаимодействия твердого тела и сферической оболочки лучевым методом // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Физика. Математика*. 2007. № 2. С. 128–135.
- Energy efficiency of temperature distribution in electromagnetic welding of rolling stock parts / A. Lyudagovsky [et al.] // *E3S Web of Conferences*. 2018 International Science Conference on Business Technologies for Sustainable Urban Development, SPbWOSCE-2018. [S. l.], 2019. P. 01017.
- Perspective constructions of bridge crossings on transport lines / A. Loktev [et al.] // *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2020. Vol. 1116 AISC. P. 209–218.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

ЛОКТЕВ Алексей Алексеевич,

д-р физ.-мат. наук, заведующий кафедрой «Транспортное строительство», ФГАОУ ВО «РУТ» (МИИТ)

КОРОЛЕВ Вадим Вадимович,

канд. техн. наук, доцент, кафедра «Транспортное строительство», ФГАОУ ВО «РУТ» (МИИТ)

ШИШКИНА Ирина Викторовна,

канд. техн. наук, доцент,
кафедра «Транспортное строительство»,
ФГАОУ ВО «РУТ» (МИИТ)

Статья поступила в редакцию 08.11.2021 г., первая рецензия получена 11.11.2021 г., вторая рецензия получена 18.11.2021 г., принята к публикации 22.11.2021 г.

Для цитирования: Локтев А. А., Королев В. В., Шишкина И. В. Особенности оценки состояния и поведения низководных мостов // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2021. Т. 80. № 6. С. 334–342. DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-6-334-342>.

Features of assessing the condition and behavior of low-water bridges

A. A. LOKTEV, V. V. KOROLEV, I. V. SHISHKINA

Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Russian University of Transport" (FGAOU VO "RUT" (MIIT)), Moscow, 127055, Russia

Abstract. The article describes features of operation and monitoring of low-water bridges, which are found on highways of regional, intermunicipal and local importance. Vibrations of the bridge span are considered in detail, taking into account its interaction with other structural elements and the environment. As a characteristic, the change of which takes into account the change in the state of the bridge structure, it is proposed to use the frequency of natural vibrations. To simulate the dynamic effects of transport and the dynamic behavior of individual elements and the entire structure as a whole, it is proposed to use viscoelastic elements of the Kelvin–Voigt type. When solving the problem, an approach has been implemented that makes it possible to take into account the anisotropic properties of the superstructure associated with various reinforcement along and across the roadway of the bridge, and to present the design scheme of the span not in the form of a beam supported at the edges with the help of hinges or viscoelastic dampers, but in the form of a plate, which can have different fixing conditions along the entire contour. The use of the proposed model and approach will make it possible to obtain the necessary data on the state of low-water bridges, for which there is often no possibility of visual inspection or instrumental inspection from the lower side of the bearing part of the superstructure. By the values of the frequency of natural vibrations, it is possible to estimate the water level above the low-water period and predict flood situations, during which the roadway of the low-water bridge may be flooded.

Keywords: automobile roads; low-water bridge; span; vibration frequency; viscoelastic elements; monitoring; defects

DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-6-334-342>

REFERENCES

1. Hess J. *Rail expansion joints — the underestimated track work material*. Track-Bridge Interaction on High-Speed Railways. London, UK, Taylor & Francis Group, 2009, pp. 149–164.
2. *Technical conditions for track structures on the approaches to artificial structures*. Approved by Department of tracks and structures of the Ministry of Railways December 16, 2003. Moscow, Transport Publ., 2004, 24 p. (in Russ.).
3. *Special technical conditions. Track superstructure of the Moscow–Kazan–Yekaterinburg section of the high-speed railway*. Technical standards and requirements for design and construction. St. Petersburg, 2014, 32 p. (in Russ.).
4. Ivanchenko I. I. *Dinamika transportnykh sooruzheniy: vy-sokoskorostnye podvizhnye, seysmicheskie i udarnye nagruzki*

[Dynamics of transport structures: high-speed mobile, seismic and shock loads]. Moscow, Nauka Publ., 2011, 574 p.

5. Matsumoto N., Asanuma K. *Some experiences on track-bridge interaction in Japan*. Track-Bridge Interaction on High-Speed Railways. London, UK, Taylor & Francis Group, 2009, pp. 80–97.

6. Fryba L. *Dynamic of railway bridges*. Praha, Academia Publ., 1996, 330 p.

7. Polyakov V. *Interaction Optimization in Multibody Dynamic System*. International Journal of Theoretical and Applied Mechanics, 2017, Vol. 2, pp. 43–51.

8. Barchenkov A. G. *Dinamicheskiy raschet avtodorozhnykh mostov* [Dynamic calculation of road bridges]. Moscow, Transport Publ., 1976, 200 p.

9. Filippov I. G., Egorychev O. A. *Nestatsionarnye kolebaniya i difraktsiya voln v akusticheskikh i uprugikh sredakh* [Nonstationary vibrations and diffraction of waves in acoustic and elastic media]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1977, 302 p.

10. Kogan A. Ya. *Dinamika puti i ego vzaimodeystvie s podvizhnym sostavom* [Track dynamics and its interaction with the rolling stock]. Moscow, Transport Publ., 1997, 325 p.

11. Chen Y. H., Li C. Y. *Dynamic response of elevated high-speed railway*. Journal of Bridge Engineering, ASCE, 2000, Vol. 5, no. 2, pp. 124–130.

12. *Bridges and pipes. Set of rules: SP 35.13330.2010*. Updated edition of SNiP 2.05.03–84*. Moscow, JSC "TsPP" Publ., 2011, 341 p. (in Russ.).

13. Kawatani M., Kim C. *Computer simulation for dynamic wheel loads of heavy vehicles*. Structural Engineering & Mechanics, 2001, Vol. 12, no. 4, pp. 409–428.

14. Pan T. C., Li J. *Dynamic vehicle element method for transient response of coupled vehicle-structure systems*. Journal of Structural Engineering, ASCE, 2002, Vol. 128, no. 2, pp. 214–223.

15. Kou J. W., DeWolf J. T. *Vibrational behavior of continuous span highway bridge — Influencing variables*. Journal of Structural Engineering, ASCE, 1997, Vol. 123, no. 3, pp. 333–344.

16. Kurbatskiy E. N., Titov E. Yu., Golosova O. A., Kosaurov A. P. *Method of protecting structures from vibrations and seismic effects*. Building and reconstruction, 2018, no. 4, pp. 55–67.

17. Kurihara M., Shimogo T. *Vibration of an elastic beam subjected to discrete moving loads*. Journal of Mechanical Design, ASME, 1978, Vol. 100, no. 7, pp. 514–519.

18. Loktev A. A. *Non-elastic models of interaction of an impactor and an Uflyand-Mindlin plate*. International Journal of Engineering Science, 2012, Vol. 50, no. 1, pp. 46–55.

19. Loktev A. A. *Dynamic contact of a spherical indenter and a prestressed orthotropic Uflyand-Mindlin plate*. Acta Mechanica, 2011, Vol. 222, no. 1–2, pp. 17–25.

20. Glusberg B., Savin A., Loktev A., Korolev V., Shishkina I., Alexandrova D., Loktev D. *New lining with cushion for energy efficient railway turnouts*. Advances in Intelligent Systems and Computing, 2020, Vol. 982, pp. 556–570.

21. Loktev A. A., Korolev V. V., Shishkina I. V., Basovsky D. A. *Modeling the dynamic behavior of the upper structure of the railway track*. Procedia Engineering, 2017, Vol. 189, pp. 133–137.

22. Loktev A. A., Korolev V. V., Loktev D. A., Shukuyurov D. R., Gelyukh P. A., Shishkina I. V. *Perspektivnye konstruksii mostovykh perekhodov na transportnykh magistralyakh* [Prospective designs of bridge crossings on highways]. Vestnik VNIIZhT [Vestnik of the Railway Research Institute], 2018, Vol. 77, no. 6, pp. 331–336. DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2018-77-6-331-336>.

23. Gridasova E. A., Veretkovskiy A. V., Safar'yants A. A. *Vliyanie vysokochastotnogo nagruzheniya na strukturu malouglerodistoy stali* [Influence of high-frequency loading on the structure of low-carbon steel]. Science and Technology in Transport, 2017, no. 2, pp. 82–91.

24. Loktev A. A., Loktev D. A. *Reshenie zadachi udarnogo vzaimodeystviya tverdogo tela i sfericheskoy obolochki lucheвым методом* [Solution of the problem of shock interaction of a rigid body and a spherical shell by the ray method]. Proceedings of the Voronezh State University. Series: Physics. Mathematics, 2007, no. 2, pp. 128–135.

■ E-mail: aaloktev@yandex.ru (A. A. Loktev)

25. Lyudagovsky A., Loktev A., Korolev V., Shishkina I., Alexandrova D., Geluh P., Loktev D. *Energy efficiency of temperature distribution in electromagnetic welding of rolling stock parts*. E3S Web of Conferences, 2018 International Science Conference on Business Technologies for Sustainable Urban Development, SPBWOSCE-2018. [S. l.], 2019, P. 01017.

26. Loktev A., Korolev V., Shishkina I., Illarionova L., Loktev D., Gridasova E. *Perspective constructions of bridge crossings on transport lines*. Advances in Intelligent Systems and Computing, 2020, Vol. 1116 AISC, pp. 209–218.

ABOUT THE AUTHORS

Aleksey A. LOKTEV,

Dr. Sci. (Phys.-Math.), Head of the Department "Transport construction", FGAOU VO "RUT" (MIIT)

Vadim V. KOROLEV,

Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Department "Transport construction", FGAOU VO "RUT" (MIIT)

Irina V. SHISHKINA,

Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Department "Transport construction", FGAOU VO "RUT" (MIIT)

Received 08.11.2021

First review received 11.11.2021

Second review received 18.11.2021

Accepted 22.11.2021

For citation: Loktev A. A., Korolev V. V., Shishkina I. V. Features of assessing the condition and behavior of low-water bridges // Russian Railway Science. 2021. 80 (6): 334–342 (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-6-334-342>.

ВНИМАНИЮ ЧИТАТЕЛЕЙ!

ДОПОЛНИТЕЛЬНОЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ В АО «ВНИИЖТ»

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

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

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

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

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

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

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

Инновационная тормозная система скоростной 80-футовой платформы

В. А. НИКОНОВ¹, В. Ф. ЗУБКОВ¹, М. Н. ЦИБИЗОВ¹, И. В. НАЗАРОВ², Д. В. ГОРСКИЙ²

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

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

Аннотация. В статье рассматриваются технические решения по созданию эффективной конструкции тормозной системы для скоростных длиннобазных платформ, предназначенных для перевозки контейнеров, а также по разработке принципиально нового тормозного оборудования для пневматической, электропневматической и механической части тормозной системы. Тормозное оборудование модульного типа для пневматической и электропневматической части тормозной системы скоростной платформы, компактно размещенное под рамой платформы, обеспечивает техническую совместимость при управлении тормозами платформ в составе не только скоростного грузового поезда постоянного формирования, но и в поездах другого назначения вне зависимости от места расположения платформы в составе поезда. Работоспособность тормозного оборудования каждой платформы в движении и на стоянке контролируется при помощи датчиков давления и электронного блока, обрабатывающего показания датчиков и передающего информацию на локомотив по одной из проводных линий электропневматического тормоза. Тормозная рычажная передача, примененная на скоростной платформе, сконструирована в конструкции трехосных тележек и обеспечивает двустороннее нажатие на колеса типовыми композиционными тормозными колодками, автоматическое регулирование и поддержание нормативных зазоров между тормозными колодками и колесами. Предложенные перспективные технические решения позволяют непрерывно диагностировать параметры тормозов каждой платформы в составе поезда постоянного формирования, отображать их на мониторе локомотива и передавать в диспетчерские центры инфраструктуры ОАО «РЖД». Благодаря этому может быть повышена тормозная эффективность и обеспечена безопасность движения поездов при одновременном увеличении допустимых скоростей движения. В современной концепции цифровизации инфраструктуры ОАО «РЖД», предусматривающей создание в 2021–2025 г. (и на перспективу до 2030 г.) вагонов, в которых должны применяться интеллектуальные технологии, тормозная система скоростной платформы может рассматриваться как основа для создания поезда с цифровым управлением — одного из ключевых элементов цифровой железной дороги.

Ключевые слова: скоростная длиннобазная железнодорожная платформа; трехосная тележка; управление пневматическим и электропневматическим тормозом; диагностика тормозной системы; тормозная рычажная передача

Введение. В Долгосрочной программе развития ОАО «РЖД» до 2025 г. [1] определено увеличение

доли контейнерного грузооборота, в связи с чем ожидаются изменения в структуре парка вагонов — увеличение доли специализированных платформ для перевозки контейнеров.

Вместе с тем одной из основных задач, стоящих перед ОАО «РЖД», является сокращение эксплуатационных расходов, связанных с движением грузовых поездов, поэтому переход к вагонам нового поколения, в частности к специализированным платформам для перевозки контейнеров, предусматривает улучшение их потребительских свойств и технико-экономических параметров.

Согласно Стратегии развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 г. [2], предусматривающей создание и обновление подвижного состава, соответствующего уровню инновационного технологического развития инфраструктуры, был разработан опытный образец скоростной 80-футовой длиннобазной платформы модели 13-6704 (рис. 1) для эксплуатации в составе грузового поезда постоянного формирования длиной 1050 м с максимальными эксплуатационными скоростями движения до 140 км/ч для нагрузок на ось до 20 тс и до 160 км/ч для нагрузок на ось до 18 тс.

Скоростная платформа пригодна без ограничений для эксплуатации в порожнем и груженом состоянии как в составе контейнерных поездов с платформами аналогичной конструкции (поездах постоянного формирования), так и в составе смешанных грузовых поездов и рассчитана на перевозку крупнотоннажных контейнеров типоразмеров по [3, 4]: 1EEE, 1EE — 45 футов; 1AAA, 1AA, 1A, 1AX — 40 футов; 1C, 1CC, 1CX — 20 футов.

Длина скоростной платформы (26,3 м по осям автосцепок) определена исходя из стандарта размеров перевозимых контейнеров, которые установлены правилами морского регистра судоходства, и при соблюдении условия нерасцепляемости скоростной длиннобазной платформы при прохождении кривых малого радиуса.

Масса брутто скоростной платформы (при массе тары 45 т) с максимальными массами перевозимых

■ E-mail: zubkov-vf@vnikti.com (В. Ф. Зубков)

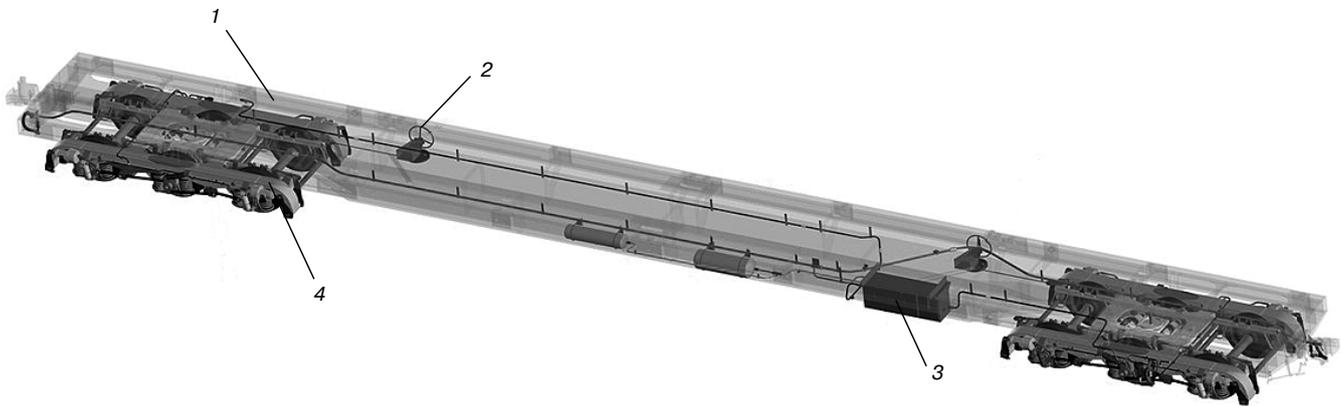


Рис. 1. Скоростная 80-футовая платформа модели 13-6704:

1 — рама платформы; 2 — привод стояночного тормоза; 3 — блок тормозного оборудования БТО 111; 4 — тележка трехосная

Fig. 1. High-speed 80-foot platform model 13-6704:

1 — platform frame; 2 — parking brake drive; 3 — block of brake equipment BTO 111; 4 — three-axle bogie

контейнеров составляет 120 т для допускаемой скорости движения 140 км/ч и 108 т для допускаемой скорости движения 160 км/ч. При этом необходимость ограничения нагрузки от колесной пары на рельсы в зависимости от значения максимально допускаемой скорости обусловила применение шестиосного экипажа [5].

Эксплуатационная эффективность скоростной платформы. Основными техническими факторами, определяющими эксплуатационную эффективность скоростной платформы, являются использование в конструкции платформы новых трехосных тележек с люлечным подвешиванием рамы платформы (рис. 2), оборудованных механизмом радиальной установки колесных пар и усовершенствованной системой рессорного подвешивания, а также применение инновационной тормозной системы, обеспечивающей

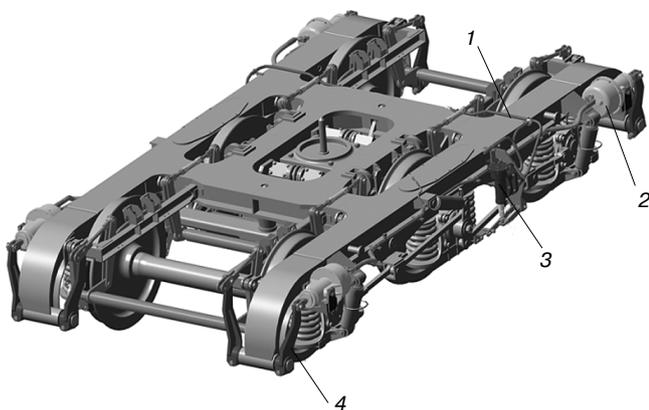


Рис. 2. Тележка трехосная:

1 — трубопровод тормозных цилиндров; 2 — тормозной цилиндр; 3 — авторежим; 4 — тормозная рычажная передача

Fig. 2. Three-axle bogie:

1 — brake cylinder pipeline; 2 — brake cylinder; 3 — auto mode; 4 — brake rigging

безопасную эксплуатацию при управлении торможением и отпуском при одновременном увеличении допустимых скоростей движения.

Тормозная система. Решение актуальной задачи по созданию эффективной системы тормозов для скоростных длиннобазных контейнерных платформ неразрывно связано с разработкой принципиально нового тормозного оборудования для пневматической и электропневматической части тормозной системы грузовых вагонов, поскольку существующие типовые тормозные приборы, которыми оборудуется грузовой подвижной состав, не обеспечивают нормативное торможение со скорости 140...160 км/ч [6].

Тормозная система для скоростной платформы разработана с применением только отечественного оборудования, включает в себя автоматический пневматический тормоз, электропневматический тормоз, стояночный тормоз с ручным приводом, воздействующим на тормозную рычажную передачу, расположенную в конструкции тележек, и обеспечивает требуемую тормозную эффективность по ГОСТ 34434–2018 [5] при соответствующей загрузке и скорости движения.

В ходе разработки тормозной системы скоростной платформы учтены и устранены недостатки, присущие типовому тормозному оборудованию ввиду его объективного (по сроку давности) несоответствия современным требованиям к перспективному технологическому развитию инфраструктуры, связанному со скоростным грузовым движением. В частности, новое тормозное оборудование модульного (блочного) типа для пневматической и электропневматической части тормозной системы скоростной платформы — блок тормозного оборудования БТО 111 (рис. 3), разработанное АО «МТЗ Трансмаш», наделено новыми качествами, обеспечивающими техническую совме-

стимость скоростных платформ в составе не только грузового поезда постоянного формирования, но и в поездах другого назначения, включая пассажирские, вне зависимости от места их расположения в составе [7].

БТО 111 разработан с применением серийно выпускаемых сертифицированных тормозных приборов (главная и магистральная части типового воздухо-распределителя ВР 483А-01), но имеет новую схему действия автоматического пневматического тормоза с применением ускорителя экстренного торможения и релейного потележечного торможения.

Электропневматический тормоз, интегрированный в блок, тоже наделен новыми качествами, основные из которых — стандартность действия по темпу наполнения, величине давления в тормозных цилиндрах и независимость величины выходного давления сжатого воздуха электровоздухораспределителя (ЭВР) от объема запасного резервуара.

Функционал БТО 111 обеспечивает два режима торможения: грузовой (для эксплуатации в составе грузовых поездов) и скоростной грузо-пассажирский (для эксплуатации в поездах постоянного формирования и короткосоставных пассажирских поездах (до 20 вагонов)). Режимы отпуска тормозов — равнинный и горный.

Основными преимуществами нового тормозного оборудования являются высокое качество управления (стабильность временных показателей тормозных процессов, обеспечение технической совместимости в составе поезда с ВР грузового и пассажирского типа) и бесконфликтная работа автоматического пневматического и электропневматического тормозов при торможении и отпуске, заключающаяся в отсутствии эффекта «наложения» автоматического пневматического тормоза с ВР грузового типа при электропневматическом торможении за счет новой схемы взаимодействия пневматического и электропневматического тормозов, что особенно необходимо для эффективности регулировочных торможений при вождении скоростных грузовых поездов, управление которыми требует сравнительно частой смены режима торможения на режим тяги и наоборот.

Кроме того, при скоростном режиме движения (режим включения БТО 111 — скоростной грузо-пассажирский) пневматическое торможение производится с ускоренными темпами по наполнению и отпуску тормозных цилиндров и с меньшим временем на подготовку тормозов к действию, что является преимуществом и по свойствам приближает его к электропневматическому.

Основные качественные показатели тормозной системы платформы, которые обеспечиваются новым тормозным оборудованием [8]:

- увеличение скорости распространения тормозной волны на 10 % при пневматическом управлении

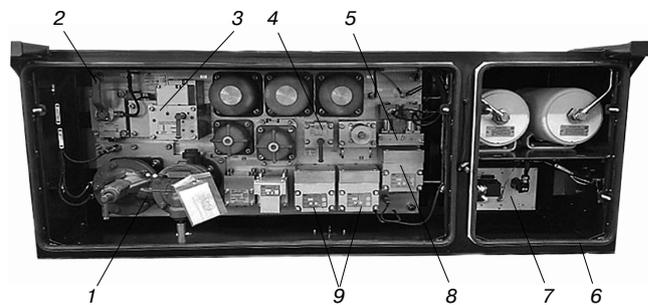


Рис. 3. Тормозное оборудование модульного типа БТО 111: 1 — ВР 483А-01; 2 — кран тормозной магистрали; 3 — ускоритель экстренного торможения; 4 — переключатель режимов; 5 — электропневматический тормоз; 6 — кожух защитный; 7 — блок электронный; 8 — ограничитель давления; 9 — реле давления

Fig. 3. Braking equipment of modular type BTO 111: 1 — air distributor 483A-01; 2 — brake line valve; 3 — emergency braking accelerator; 4 — mode switch; 5 — electro-pneumatic brake; 6 — protective casing; 7 — electronic block; 8 — pressure limiter; 9 — pressure switch

тормозом за счет применения ускорителя экстренного торможения;

- снижение времени отпуска на режиме «скоростной грузо-пассажирский» до 9...12 с;

- повышенная чувствительность и точность выходных параметров пневматического (ПТ) и электропневматического (ЭПТ) тормозов с применением ограничителей давления. При этом получены следующие характеристики: время наполнения тормозных цилиндров (ТЦ) при действии ЭПТ — $(3 \pm 0,5)$ с, при действии ПТ — (6 ± 1) с (для сравнения у ВР типового ряда 483 — 7...15 с); время отпуска ТЦ при действии ЭПТ $(4 \pm 0,5)$ с, при действии ПТ — 9...12 с (ВР 483 — не более 60 с); давление в ТЦ при полном служебном торможении — 0,40...0,43 МПа (ВР 483 — 0,39...0,44 МПа);

- независимость времени наполнения и отпуска тормоза от объемов и величин выхода штока ТЦ и объема подводящих трубопроводов за счет применения реле давлений (повторителей), питательные клапаны которых подключены непосредственно к запасным резервуарам;

- снижение в 2 раза энергопотребления ЭВР, интегрированного в БТО 111, в сравнении с типовым ЭВР 305, что позволяет формировать состав контейнерного поезда при эксплуатации с локомотивами, оборудованными для управления ЭПТ, до 42 платформ;

- диагностика работы тормозного оборудования каждой платформы в движении и на стоянке при помощи датчиков давления, расположенных на каждом БТО 111, и электронного блока, обрабатывающего показания датчиков и передающего информацию на локомотив по одной из проводных линий ЭПТ;

- высокая защищенность тормозного оборудования от воздействия окружающей среды и элементов инфраструктуры за счет применения защитного кожуха со степенью защиты IP54;

- компоновка тормозного оборудования в виде съемного модуля, позволяющая компактно размещать его в ограниченном пространстве под рамой платформы (является актуальным в перспективных разработках для концепции модульного размещения вспомогательного оборудования, которое может быть востребовано для перевозочного процесса, например систем автономного электроснабжения и телематики).

ЭПТ состава скоростных платформ рассматривается как основной для скоростного движения (пневматический — резервный и тормоз безопасности) и играет ключевую роль в повышении безопасности управления движением и контроле продольных сил в поезде, поскольку позволяет полностью избавиться от зависимости продольных реакций в поезде от скорости тормозной волны и снизить неравномерность удельных тормозных сил скоростных платформ как по величине, так и по времени действия.

Преимущества ЭПТ общеизвестны [9] и в полной мере относятся к поездам, сформированным из скоростных платформ. Это прежде всего:

- высокая управляемость в регулировании скорости движения поезда при помощи синхронно действующего ступенчатого торможения и ступенчатого отпуска;

- значительное снижение уровня продольных сил в поезде в результате сокращения времени процессов торможения и отпуска;

- сокращение длины тормозных путей при торможении грузового поезда по сравнению с пневматическим торможением на 15...20 % и возможность повышения максимальной эксплуатационной скорости до 10 %;

- неистощимость тормозов на крутых и затяжных спусках;

- автоматический контроль целостности поезда, отсутствующий при ПТ.

Диагностика состояния тормозной системы. Первые в тормозное оборудование для грузового подвижного состава, сочетающее ПТ и ЭПТ, интегрированы так называемые перспективные решения, направленные на обеспечение возможно более полного контроля параметров состояния тормозной системы, дающие реальную возможность непрерывного контроля технического состояния тормозов грузового поезда в целом и каждого отдельного вагона с одновременной оценкой безопасной работы в текущем времени для принятия своевременных профилактических мер. Это должно повысить уровень безопасной эксплуатации поездов при скоростном движении с учетом существующего требования увеличения периодов между контрольными проверками

технического состояния грузовых вагонов на пункте технического обслуживания.

Данные датчиков давления, установленных в БТО 111 на каждой платформе, обработанные собственным электронным блоком, передаются в цифровой форме по однопроводной линии ЭПТ на преобразующий (приемоуправляющий) блок И.200.10, дополнительно установленный на локомотиве и связанный с его микропроцессорной системой управления. Сбор и обработка данных выполняются по протоколу обмена ИСКРА.200.

В качестве информационного канала между скоростными платформами и локомотивом, оборудованным системой управления ЭПТ, для непрерывной передачи данных проверки и контроля функционирования тормоза в режиме реального времени применяется штатная проводная система, размещенная в кондуите, который проложен параллельно трубопроводу тормозной магистрали. Проводная система предназначена для электропитания и управления ЭВР и одновременно используется в качестве двунаправленного информационного канала цифровой связи.

Информация о состоянии тормозной системы каждой платформы и в целом поезда при его движении будет непрерывно поступать на дисплей пульта управления локомотивом, тогда как в настоящее время состояние тормозов при движении поезда оценивается только косвенно, а полноценная информация о состоянии тормозов доступна только при текущих физических осмотрах (опробованиях тормозов), проводимых на стоянке.

Основные параметры тормозной системы грузового подвижного состава, полученные и обработанные на основе непрерывной диагностики и отражаемые на дисплее локомотива с возможностью передачи в диспетчерские центры инфраструктуры ОАО «РЖД», следующие:

- величина давления сжатого воздуха в тормозной магистрали, ТЦ и запасном резервуаре каждой платформы;

- образование ледяной пробки в тормозной магистрали с определением ее координаты в поезде;

- состояние положения разобщительного крана на отводе от тормозной магистрали с указанием его координаты в поезде;

- количество платформ в поезде и диагностика предотказного состояния ВР конкретной платформы;

- совместимость информационного цифрового канала передачи данных с программным обеспечением локомотива и инфраструктуры.

Между платформами и локомотивом канал цифровой связи осуществляется с помощью типового соединительного рукава с электроконтактом 369А и дублируется повышающей его надежность дополнительной проводной системой со штепсельным разъемом (рис. 4).

Механическая часть тормозной системы. При создании тормозной системы скоростной платформы большое внимание уделено инновациям в механической части, поскольку анализ конструкций тормозных рычажных передач эксплуатируемых трехосных тележек с последовательной передачей усилия от одного ТЦ показывает, что существенным их недостатком является неравномерный наклон вертикальных рычагов, последовательно соединенных тягами, при прижатии тормозных колодок к колесам, увеличивающийся по мере износа колодок. При этом снижаются силы нажатия колодок на средней и особенно на дальней от ТЦ колесной паре. Такая система, несмотря на наличие авторегулятора, требует дополнительных ручных регулировок звеньев тормозной рычажной передачи [10] в эксплуатации, что повышает трудоемкость для персонала и может снизить уровень безопасной эксплуатации из-за вероятности несвоевременного выявления необходимости регулирования.

Существует ряд теоретических, не реализованных в практике решений [11–14], позволяющих снизить влияние на неравномерный наклон вертикальных рычагов при последовательной передаче усилия. Они основаны на параллельной передаче усилия от ТЦ на вертикальный рычаг первой колесной пары и на вертикальный рычаг третьей колесной пары с помощью дополнительных тяг и рычагов. Однако ввиду того, что в указанных технических решениях применены дополнительные детали и узлы тормозной рычажной передачи, это приводит к увеличению ее массы и сложности, а соответственно, к снижению надежности, коэффициента полезного действия и эффективности действия тормоза.

Недостатки тормозных рычажных передач, связанные с последовательной передачей усилия, могут быть также устранены размещением на тележке исполнительного механизма с поосным торможением [10].

Тормозная рычажная передача (рис. 5), примененная на тележке для скоростной платформы, полностью располагается в ее конструкции и обеспечивает

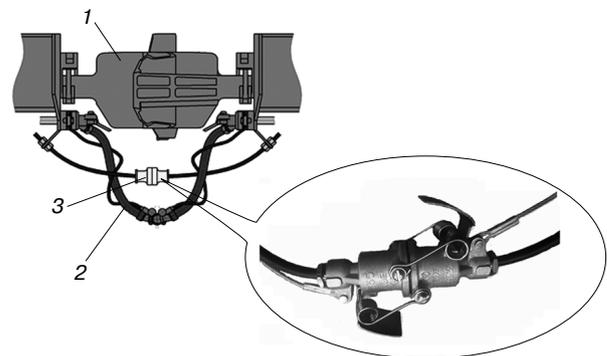


Рис. 4. Межвагонное соединение:
 1 — автосцепка; 2 — соединительный рукав с электроконтактом;
 3 — проводная система со штепсельным разъемом
 Fig. 4. Inter-car connection:
 1 — automatic coupler; 2 — connecting sleeve with electrical contact;
 3 — wire system with plug connector

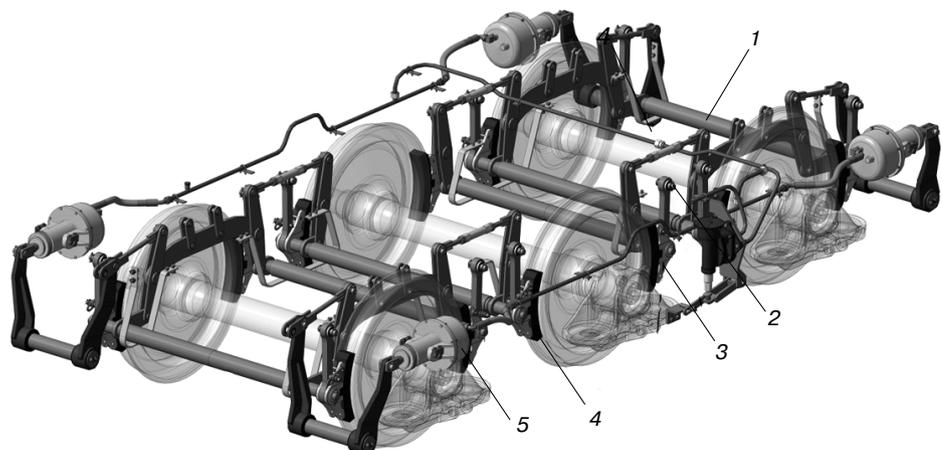
двустороннее нажатие на колеса типовыми композиционными тормозными колодками, автоматическое регулирование и поддержание нормативных зазоров между тормозными колодками и колесами [15].

Для исключения недостатков, связанных с последовательной передачей усилия от одного ТЦ, в тележке применены четыре одинаковых независимых механизма, размещенных по два на боковых сторонах рамы тележки. Каждый из механизмов выполняет передачу усилия от индивидуального ТЦ со встроенным регулятором выхода штока на три тормозные колодки, две из которых воздействуют на противоположные стороны колеса крайней колесной пары, а третья тормозная колодка — на ближнюю сторону колеса средней колесной пары.

Тормозные колодки установлены на поворотных башмаках, попарно закрепленных на концах поперечных траверс, расположенных на подвесках к раме тележки с каждой из сторон колес колесных пар и препятствующих сползанию колодок с поверхности катания колеса при торможениях.

Рис. 5. Тормозная рычажная передача:
 1 — поперечная траверса;
 2 — подвеска башмака;
 3 — поворотный башмак;
 4 — тормозная колодка;
 5 — ТЦ

Fig. 5. Brake rigging:
 1 — transverse traverse;
 2 — shoe suspension;
 3 — swivel shoe;
 4 — brake shoe;
 5 — brake cylinder



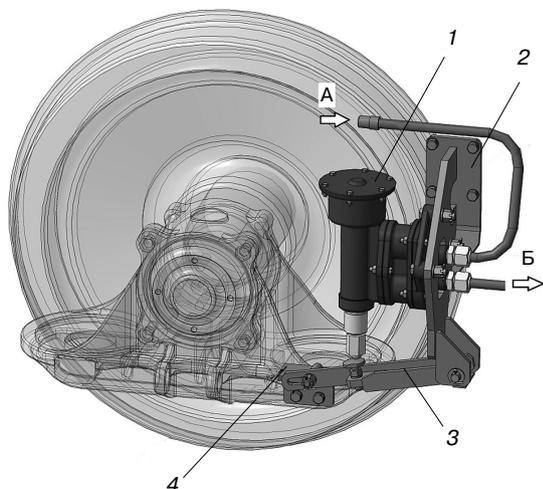


Рис. 6. Авторежим в блоке с передаточным механизмом:
1 — авторежим; 2 — кронштейн на раме тележки;
3 — передаточный механизм; 4 — опора передаточного механизма на необрессоренной части тележки; А — от БТО 111;
Б — к ТЦ

Fig. 6. Auto mode in a block with a transmission mechanism:
1 — auto mode; 2 — bracket on the bogie frame;
3 — transmission mechanism; 4 — support of the transmission mechanism on the unsprung part of the bogie; А — from БТО 111;
Б — to the brake cylinders

При выборе колодочного тормоза не в пользу дискового учитывались его сравнительно меньшая стоимость, освоенность в эксплуатации на инфраструктуре, отсутствие противоюзных устройств на скоростной платформе [16], а также выполнение условия неперевышения требуемой эксплуатационной мощности, приходящейся на одну композиционную колодку (70 кВт), в случае экстренного торможения платформы со скоростями 140 и 160 км/ч при соответствующих максимальных массах брутто 120 и 108 т [5].

Значительная разница между массами тары и брутто платформы, а также возможность неравномерной загрузки длиннобазной платформы по тележкам при перевозке контейнеров обуславливают необходимость потележечного регулирования величины давления в ТЦ для предотвращения юза колесных пар при торможении. Для этого в пневматической части тормозной системы применен авторежим, смонтированный в блоке с передаточным механизмом (рис. 6) между обрессоренной и необрессоренной частью каждой тележки, обеспечивающим соответствие перемещения упора авторежима статическому прогибу рессорного подвешивания тележки во всем возможном диапазоне загрузки платформы.

Таким образом, тормозная система для скоростной 80-футовой платформы модели 13-6704 базируется на применении инновационного тормозного оборудования модульного типа, выполняющего функции

ПТ и ЭПТ с диагностикой параметров, и тормозной рычажной передачи с двусторонним нажатием тормозных колодок, полностью, включая ТЦ, расположенной в конструкции трехосных тележек.

Следует подчеркнуть, что реализованные в тормозной системе скоростной платформы перспективные технические решения основаны на отдельной схеме потележечного торможения, позволяющей эффективно распределить тормозные силы для безюзового торможения независимо от динамики платформы и повысить тормозную эффективность за счет реализации тормозного эффекта в зависимости от нагрузки каждой тележки.

Заключение. На основе анализа существующих тормозных систем длиннобазных вагонов разработана конструкция тормозной системы скоростной 80-футовой платформы модели 13-6704, включающая инновационное тормозное оборудование модульного типа, которое выполняет функции ПТ и ЭПТ с диагностикой параметров тормозной системы, и тормозную рычажную передачу, расположенную в конструкции трехосных тележек, с независимым потележечным торможением.

Новые качества пневматического и электропневматического тормозного оборудования, примененного на скоростной платформе и адаптированного для электронного цифрового управления с непрерывным контролем состояния тормозов для оценки безопасной работы в реальном времени, направлены на своевременное принятие профилактических мер по техническому обслуживанию, уменьшению времени проверки тормозов (вплоть до замены в отдельных случаях полного опробования тормозов сокращенным), что позволит технически обоснованно увеличить пропускную способность на инфраструктуре без снижения уровня безопасной эксплуатации.

Цифровизация платформы на базе инновационного тормозного оборудования является новым шагом в развитии отечественного грузового вагоностроения. Имеющиеся стандарты, в частности ГОСТ 32884–2014 «Эксплуатация, техническое обслуживание и ремонт железнодорожного подвижного состава. Термины и определения», не затрагивают скоростных вагонов-платформ и требуют корректировки. Кроме того, в рамках современной концепции цифровизации инфраструктуры ОАО «РЖД» с целью обеспечения работоспособности систем различных производителей в составе одного поезда требуется разработка нормативной документации в части требований к системам телеметрии и диагностики грузового подвижного состава, оборудованного тормозными системами с электронным управлением и бортовой телеметрией.

Необходимо отметить также, что в концепции цифровизации инфраструктуры ОАО «РЖД» тормозная система скоростной платформы может рассматриваться как основа для создания поезда с цифровым управлением — ключевого элемента цифровой

железнодорожной с перспективой внедрения интеллектуальной системы управления, обеспечивающей интервальное регулирование движения и переход к беспилотному управлению.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Долгосрочная программа развития открытого акционерного общества «Российские железные дороги» до 2025 года [Электронный ресурс]: утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 19 марта 2019 г. № 466-п. URL: <http://static.government.ru/media/files/zcAMxApAgyO7PnJ42aXtXAg2RXSVoKu.pdf> (дата обращения: 25.07.2021 г.).
2. Стратегия развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года [Электронный ресурс]: утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 17 июня 2008 г. № 877-п. URL: <http://static.government.ru/media/files/DkdcT7dHs4fGLrhkK5lk0egvr4rA2QZi.pdf> (дата обращения: 25.07.2021 г.).
3. ГОСТ Р 53350–2009. Контейнеры грузовые серии 1. Классификация, размеры и масса: нац. стандарт Российской Федерации: дата введения 2010-01-01. М.: Стандартинформ, 2009. 20 с.
4. ГОСТ Р 50697–94. Контейнеры грузовые серии 1. Технические требования и методы испытаний. Часть 2. Контейнеры изотермические: гос. стандарт Российской Федерации: дата введения 1995-07-01. М.: Изд-во стандартов, 1994. 76 с.
5. ГОСТ 34434–2018. Тормозные системы грузовых железнодорожных вагонов. Технические требования и правила расчета: межгос. стандарт: введен в действие в качестве нац. стандарта Российской Федерации приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27 ноября 2018 г. № 1036-ст: дата введения 2019-08-01. М.: Стандартинформ, 2018. 32 с.
6. Кадик Л. Скоростные «грузовики» впишутся в норматив [Электронный ресурс] // Гудок. 2019. 13 февраля (№ 24). URL: <https://gudok.ru/newspaper/?ID=1453227> (дата обращения: 28.07.2021 г.).
7. Чув С. Г., Популковский С. А., Тагиев П. М. Тормозные системы для грузового скоростного движения с цифровым управлением // Вагоны и вагонное хозяйство. 2018. № 4. С. 35–37.
8. Блок тормозного оборудования БТО 111. Технические условия: ТУ 30.20.40-200-05756760-2020 / АО «МТЗ Трансмаш». М., 2020. 70 с.
9. Венцевич Л. Е. Обслуживание и управление тормозами в поездах. М.: УМЦ, 2013. 344 с.
10. Синицин В. В., Кобищанов В. В. Тормозные системы грузовых вагонов: проектирование и расчеты. Брянск: БГТУ, 2017. 191 с.
11. Патент № 2715875 Российская Федерация, МПК В61Н 13/20 (2006.01), В61Н 13/22 (2006.01), В61Н 13/34 (2006.01). Тормоз-

ная рычажная передача трехосной тележки рельсового транспортного средства: № 2019112619: заявл. 25.04.2019: опубл. 03.03.2020 / Зубков В. Ф. [и др.]. 11 с.

12. Патент № 198935 Российская Федерация, МПК В61Н 13/20 (2006.01), В61Н 13/34 (2006.01). Тормозная рычажная передача трехосной тележки грузового железнодорожного вагона: № 2020111742: заявл. 23.03.2020: опубл. 03.08.2020 / Самсонов А. В., Палатов Д. В., Нечаев П. М. 7 с.

13. Патент № 188058 Российская Федерация, МПК В61Н 13/20 (2006.01). Тормозная рычажная передача трехосной тележки грузового вагона: № 2019100743: заявл. 10.01.2019: опубл. 28.03.2019 / Самсонов А. В., Нечаев П. М., Чуваков М. Ф. 7 с.

14. Патент № 2121933 Российская Федерация, МПК В61Н 13/20 (2006.01). Тормозная рычажная передача трехосной тележки вагона: № 97102667/28: заявл. 24.02.1997: опубл. 20.11.1998 / Васютин Б. Н. [и др.]. 5 с.

15. Патент № 2730736 Российская Федерация, МПК В61Н 13/20 (2006.01). Тормозная рычажная передача трехосной тележки рельсового транспортного средства: № 2020106153: заявл. 10.02.2020: опубл. 25.08.2020 / Зубков В. Ф. [и др.]. 11 с.

16. Иноземцев В. А., Казаринов В. М., Ясенцев В. Ф. Автоматические тормоза. М.: Транспорт, 1981. 464 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

НИКОНОВ Валерий Алексеевич, главный конструктор, АО «ВНИКТИ»

ЗУБКОВ Вениамин Федорович, заведующий сектором тормозных систем подвижного состава, АО «ВНИКТИ»

ЦИБИЗОВ Максим Николаевич, ведущий конструктор, АО «ВНИКТИ»

НАЗАРОВ Игорь Викторович, заместитель директора научного центра «Нетягловый подвижной состав и автоматизированные системы поезда», АО «ВНИИЖТ»

ГОРСКИЙ Дмитрий Вячеславович, технический эксперт, АО «ВНИИЖТ»

Статья поступила в редакцию 02.08.2021 г., первая рецензия получена 10.08.2021 г., вторая рецензия получена 20.08.2021 г., принята к публикации 01.11.2021 г.

Для цитирования: Инновационная тормозная система скоростной 80-футовой платформы / В. А. Никонов [и др.] // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2021. Т. 80. № 6. С. 343–350. DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-6-343-350>.

Innovative braking system for high-speed 80-foot platform

V. A. NIKONOV¹, V. F. ZUBKOV¹, M. N. TSIBIZOV¹, I. V. NAZAROV², D. V. GORSKIY²

¹Joint Stock Company "Research and Development Institute of Rolling Stock" (JSC "VNIKTI"), Kolomna, 140402, Russia

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

Abstract. The article discusses technical solutions for the creation of an effective design of a brake system for high-speed long-wheelbase platforms intended for the transport of containers, as well as for the development of a fundamentally new brake equipment for the pneumatic, electro-pneumatic and mechanical parts of the brake system. Modular braking equipment for the pneumatic

and electro-pneumatic parts of the high-speed platform braking system, compactly located under the platform frame, provides technical compatibility when controlling platform brakes as part of not only a high-speed freight train of permanent formation, but also in trains for other purposes, regardless of the location of the platform in the composition of the train. The performance of the

braking equipment of each platform in motion and in the parking lot is monitored using pressure sensors and an electronic unit that processes the readings of the sensors and transmits information to the locomotive via one of the wire lines of the electro-pneumatic brake. The brake rigging used on the high-speed platform is arranged in the design of three-axle bogies and provides double-sided pressing on the wheels with typical composite brake pads, automatic regulation and maintenance of the standard clearances between brake pads and wheels. The proposed promising technical solutions make it possible to continuously diagnose the parameters of the brakes of each platform as part of a permanent train, display them on the locomotive monitor and transmit them to the dispatch centers of the Russian Railways infrastructure. Thanks to this, the braking efficiency can be increased and the safety of train traffic can be ensured while increasing the permissible travel speeds. In the modern concept of digitalization of the infrastructure of Russian Railways, which provides for the creation in 2021–2025 (and in the future until 2030) of cars in which intelligent technologies should be applied, the braking system of a high-speed platform can be considered as the basis for creating a digitally controlled train — one of the key elements of the digital railway.

Keywords: high-speed long-wheelbase railway platform; three-axle bogie; control of pneumatic and electro-pneumatic brakes; brake system diagnostics; brake rigging

DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-6-343-350>

REFERENCES

1. *Long-term development program of the JSC Russian Railways until 2025*. Approved by order of the Government of the Russian Federation dated March 19, 2019 No. 466-r. URL: <http://static.government.ru/media/files/zcAMxApAgyO7PnJ42aXtXAgA2RXS-VoKu.pdf> (retrieved on 25.07.2021) (in Russ.).
2. *Strategy for the development of railway transport in the Russian Federation until 2030*. Approved by order of the Government of the Russian Federation of June 17, 2008 No. 877-r. URL: <http://static.government.ru/media/files/DkdcT7dHs4fGLrhkK5lk0egvr-4rA2QZi.pdf> (retrieved on 25.07.2021) (in Russ.).
3. GOST R 53350–2009. *Series 1 freight containers. Classification, dimensions and ratings*. National standard of the Russian Federation. Moscow, Standartinform Publ., 2009, 20 p. (in Russ.).
4. GOST R 50697–94. *Series 1 freight containers. Specification and testing. Part 2. Thermal containers*. State standard of the Russian Federation. Moscow, Publishing house of standards, 1994, 76 p. (in Russ.).
5. GOST 34434–2018. *Brake systems of freight cars. Technical requirements and calculation rules*. Interstate standard, put into effect as nat. standard of the Russian Federation by order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology No. 1036-st dated November 27, 2018. Moscow, Standartinform Publ., 2018, 32 p. (in Russ.).
6. Kadik L. *Skorostnye "gruzoviki" vpishutsya v normativ* [High-speed "trucks" will fit into the standard]. *Gudok*, 2019, no. 24. URL: <https://gudok.ru/newspaper/?ID=1453227> (retrieved on 28.07.2021).
7. Chuev S.G., Populovskiy S.A., Tagiev P.M. *Tormoznye sistemy dlya gruzovogo skorostnogo dvizheniya s tsifrovym upravleniem* [Brake systems for high-speed freight operation with digital control]. *Vagony i vagonnoe khozyaystvo*, 2018, no. 4, pp. 35–37.
8. *Block of brake equipment BTO 111. Specifications TU 30.20.40-200-05756760-2020*. Moscow, MTZ JSC "Transmash" Publ., 2020, 70 p. (in Russ.).
9. Ventsevich L.E. *Obsluzhivanie i upravlenie tormozami v poezdakh* [Servicing and control of brakes in trains]. Moscow, UMTS Publ., 2013, 344 p.
10. Sinitin V.V., Kobishchanov V.V. *Tormoznye sistemy gruzovykh vagonov: proektirovanie i raschety* [Brake systems of freight cars: design and calculations]. Bryansk, BGTU Publ., 2017, 191 p.
11. Zubkov V.F., Khokhulin A.M., Tsbizov M.N., Kireeva E.N., Krylova S.B. *Tormoznaya rychazhnaya peredacha trekhosnoy telezhki rel'sovogo transportnogo sredstva* [Brake rigging of a three-axle bogie of a rail vehicle]. Patent no. 2715875, Rossiyskaya Federatsiya [Russian Federation], MPK B61H 13/20 (2006.01), B61H 13/22 (2006.01), B61H 13/34 (2006.01), publ. 03.03.2020, 11 p. (in Russ.).
12. Samsonov A.V., Palatov D.V., Nechaev P.M. *Tormoznaya rychazhnaya peredacha trekhosnoy telezhki gruzovogo zheleznodorozhnogo vagona* [Brake rigging of a three-axle bogie of a freight railway car]. Patent no. 198935, Rossiyskaya Federatsiya [Russian Federation], MPK B61H 13/20 (2006.01), B61H 13/34 (2006.01), publ. 03.08.2020, 7 p. (in Russ.).
13. Samsonov A.V., Nechaev P.M., Chuvakov M.F. *Tormoznaya rychazhnaya peredacha trekhosnoy telezhki gruzovogo vagona* [Brake rigging of a three-axle bogie of a freight car]. Patent no. 188058, Rossiyskaya Federatsiya [Russian Federation], MPK B61H 13/20 (2006.01), publ. 28.03.2019, 7 p. (in Russ.).
14. Vasyutin B.N., Dyadishchev V.A., Man'ko B.N., Panasenkov V.I., Stepanov O.K. *Tormoznaya rychazhnaya peredacha trekhosnoy telezhki vagona* [Brake rigging of a three-axle carriage bogie]. Patent no. 2121933, Rossiyskaya Federatsiya [Russian Federation], MPK B61H 13/20 (2006.01), publ. 20.11.1998, 5 p. (in Russ.).
15. Zubkov V.F., Khokhulin A.M., Tsbizov M.N., Kireeva E.N., Fonin V.A. *Tormoznaya rychazhnaya peredacha trekhosnoy telezhki rel'sovogo transportnogo sredstva* [Brake rigging of a three-axle bogie of a rail vehicle]. Patent no. 2730736, Rossiyskaya Federatsiya [Russian Federation], MPK V61N 13/20 (2006.01), publ. 25.08.2020, 11 p. (in Russ.).
16. Inozemtsev V.A., Kazarinov V.M., Yasentsev V.F. *Avtomaticheskie tormoza* [Automatic brakes]. Moscow, Transport Publ., 1981, 464 p.

ABOUT THE AUTHORS

Valeriy A. NIKONOV,

Chief Structural Engineer, JSC "VNIKI"

Veniamin F. ZUBKOV,

Head of the Sector of rolling stock brake systems, JSC "VNIKI"

Maksim N. TSIBIZOV,

Leading Structural Engineer, JSC "VNIKI"

Igor' V. NAZAROV,

Deputy Director of the Scientific Center "Non-traction rolling stock and automated train systems", JSC "VNIIZHT"

Dmitriy V. GORSKIY,

Technical Expert, JSC "VNIIZHT"

Received 02.08.2021

First review received 10.08.2021

Second review received 20.08.2021

Accepted 01.11.2021

■ E-mail: zubkov-vf@vnikti.com (V.F. Zubkov)

For citation: Nikonov V. A., Zubkov V. F., Tsbizov M. N., Nazarov I. V., Gorskiy D. V. Innovative braking system for high-speed 80-foot platform // Russian Railway Science. 2021. 80 (6): 343–350 (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-6-343-350>.

Аспекты проектирования и расчета железнодорожного пути, предназначенного для выделенных пассажирских линий

Д. В. ОВЧИННИКОВ¹, К. А. КУЛЬГИН²

¹ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный университет путей сообщения» (ФГБОУ ВО «СамГУПС»), Самара, 443066, Россия

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

Аннотация. Рассмотрены вопросы применения на железных дорогах Российской Федерации выделенных пассажирских линий для внутригородских и межрегиональных перевозок, которые в перспективе обеспечат ускорение пассажирского движения за счет изменения технологии перевозок, увеличат провозные и пропускные способности железных дорог, обеспечат сокращение затрат на строительство и текущее содержание, а также оптимизируют потребность в развитии инфраструктуры. Конструкции верхнего строения пути, применяемые для перевозочного процесса в настоящее время, разрабатывались и внедрялись с учетом смешанного движения — пассажирского и грузового. Рост нагрузок на ось в грузовом движении, а также длины поездов предполагает усиление (утяжеление) типовых конструкций железнодорожного пути для возможного обеспечения гарантированного безопасного пропуска тоннажа более 1 млрд т брутто. В то же время исключительно для пассажирского движения типовая конструкция железнодорожного пути является избыточной и может быть оптимизирована с точки зрения сокращения материалов верхнего строения пути с одновременным изменением конфигурации ремонтных схем и условий текущего содержания.

В статье представлена оценка возможности применения «пассажирской» конструкции пути на выделенных пассажирских линиях для внутригородских и межрегиональных перевозок по критериям допускаемого запаса прочности в среде конечно-элементного анализа — наиболее прогрессивного метода расчета конструкций, испытывающих сложное нагружение. Представлены результаты расчетов напряженно-деформированного состояния железнодорожного пути различных конфигураций, в том числе перспективных облегченных вариантов с рельсами типа Р50 и железобетонными шпалами с подшпальными прокладками. На основании выполненных расчетов приведены рекомендации областей применения рассмотренных конфигураций пути с точки зрения допускаемых напряжений в его элементах.

Ключевые слова: железные дороги; выделенные пассажирские линии; моделирование; метод конечных элементов; напряженно-деформированное состояние; конфигурация пути

Введение. В настоящее время с учетом развития железнодорожных перевозок возникла потребность разделения специализации инфраструктуры для движения пассажирских и грузовых поездов, внедрения новых технических средств и оборудования, совершенствования технологии перевозок и повы-

шения эффективности малоинтенсивных линий, требуется создание «пассажирской» конструкции пути для выделенных пассажирских линий, позволяющей осуществлять пассажирские перевозки на городских и межрегиональных направлениях. Зарубежный и отечественный опыт показывает, что при возникновении проблемы снижения конкурентоспособности железнодорожных линий и отсутствия пропускных способностей в загруженных транспортных коридорах наибольшие эффекты в долгосрочной перспективе достигаются не полумерами в виде специализации существующих перегруженных линий, а строительством качественной транспортной инфраструктуры в виде выделенных пассажирских линий.

Одним из инструментов повышения эффективности железнодорожного транспорта является развитие скоростных и высокоскоростных межрегиональных сообщений, однако существующая железнодорожная инфраструктура предназначена для смешанного движения подвижного состава — железнодорожные линии являются универсальными по своей конструкции и технологии строительства, и на них осуществляются как грузовые, так и пассажирские перевозки.

В связи с этим необходимо сформировать комплекс требований для всевозможных вариантов конструкции железнодорожного пути для выделенного пассажирского движения с точки зрения прочности, устойчивости и экономической целесообразности.

Общие задачи, связанные с развитием и внедрением в эксплуатацию выделенных пассажирских линий для внутригородских и межрегиональных перевозок, напрямую связаны с формированием матрицы вариантов конструкции, отвечающих всем вышеуказанным критериям, для изменения технологии работы, проектирования и эксплуатации специализированных железнодорожных линий.

В данной статье рассмотрен комплекс требований, относящихся к прочности конструкции.

■ E-mail: ovchinnikov@samgups.ru (Д. В. Овчинников)

Трехмерная модель пути. В настоящее время расчет пути на прочность возможен как с помощью аналитических методов, так и с применением современных инженеринговых технологий, а именно метода конечных элементов.

Расчет по так называемому классическому методу позволяет получать достоверные результаты не для всех сочетаний нагрузок, толщины подрельсового основания и т. п.; большинство коэффициентов для расчета получено эмпирическим путем для конкретного типа конфигурации верхнего строения пути, а затем с помощью математических методов данные коэффициенты экстраполированы на другие состояния пути. Возникают ситуации, когда напряженно-деформированное состояние элементов железнодорожного пути с высокой точностью повторяет напряжения, реально возникающие в конструкции, но в то же время при сочетании различных факторов погрешность классического метода может составлять до 25% [1].

Определение напряженно-деформированного состояния элементов железнодорожного пути эмпирическими методами предполагает применение дорогостоящих исследований, измерительных систем и трудоемкий процесс верификации полученных данных. В то же время современные средства аналитической оценки напряжений и деформаций позволяют с высокой точностью определять локальные внутренние силовые факторы в любых элементах конструкции, используя метод конечных элементов, который в настоящее время получил глубокие теоретические обоснования и применяется для решения весьма широкого круга задач механики, прочности, устойчивости и долговечности

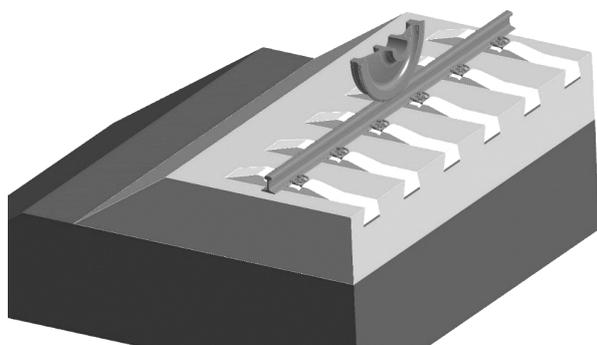


Рис. 1. Общий вид трехмерной модели пути с рельсами типа Р50, промежуточными рельсовыми скреплениями ЖБР-Ш(м), железобетонными шпалами с эпюрой укладки 1600 шп./км и подшпальными прокладками, толщиной балластного слоя под шпалой 45 см
 Fig. General view of a three-dimensional model of a track with R50 rails, intermediate rail fasteners ZhBR-Sh(m), reinforced concrete sleepers with a stacking diagram of 1600 sleeper/km and under sleeper pads, a ballast layer thickness under the sleeper of 45 cm

[2–6], стационарных задач распространения тепла, распределения электрического поля, задач гидромеханики и др.

Для решения поставленной задачи разработаны трехмерные модели участков железнодорожного пути, полностью повторяющие конфигурацию реального действующего пути, а также перспективные варианты «пассажирской» конструкции, предназначенные исключительно для выделенного пассажирского движения, в частности верхнее строение пути с рельсами Р50, модернизированными промежуточными скреплениями ЖБР-Ш(м), и железобетонными шпалами типа ШЗ-Д, модифицированными для возможности применения рельсов этого типа.

Трехмерная модель железнодорожного пути указанной конфигурации с толщиной балласта под шпалой 45 см представлена на рис. 1.

Были рассмотрены следующие конструкции:

- рельсы типа Р65, промежуточные рельсовые скрепления ЖБР-Ш, железобетонные шпалы с эпюрой укладки 1840 шп./км, толщина балластного слоя под шпалой 45, 35 и 25 см;
- рельсы типа Р65, промежуточные рельсовые скрепления ЖБР-Ш, железобетонные шпалы с эпюрой укладки 1600 шп./км, толщина балластного слоя под шпалой 45, 35 и 25 см;
- рельсы типа Р65, промежуточные рельсовые скрепления ЖБР-Ш, железобетонные шпалы с эпюрой укладки 1440 шп./км, толщина балластного слоя под шпалой 45, 35 и 25 см;
- рельсы типа Р50, промежуточные рельсовые скрепления ЖБР-Ш(м), железобетонные шпалы с эпюрой укладки 1600 шп./км, толщина балластного слоя под шпалой 45, 35 и 25 см;
- рельсы типа Р50, промежуточные рельсовые скрепления ЖБР-Ш(м), железобетонные шпалы с эпюрой укладки 1600 шп./км и использованием подшпальных прокладок, толщина балластного слоя под шпалой 45, 35 и 25 см.

Применение рельсов Р50 на железных дорогах Российской Федерации не предусматривает использования железобетонных подрельсовых опор. Для оценки напряженного состояния конструкции верхнего строения пути с рельсами типа Р50 и железобетонными опорами разработана конструкция прототипа промежуточных рельсовых скреплений на базе ЖБР-Ш для уменьшенной толщины подошвы рельса: 132 мм у рельса Р50 против 150 мм у рельса типа Р65. Также модификации подлежит типовая шпала для дюбельных промежуточных скреплений ШЗ-Д: изменяются места размещения и фиксации упорной скобы. Внешний вид модернизированного промежуточного скрепления ЖБР-Ш(м) представлен на рис. 2.

Для снижения давлений на основной площадке земляного полотна (ОПЗП), а также для более равно-

мерного распределения нагрузки, передаваемой от подрельсовой опоры на балластный слой, предлагается использование упругих подшпальных прокладок с оптимальными физико-механическими свойствами, представленными в [7]. Для нагрузок на ось более 23 т целесообразно применять подшпальные прокладки с модулем упругости первого рода порядка 3,0–3,1 МПа.

Общий вид узла рельсового скрепления со шпалой и подшпальной прокладкой представлен на рис. 3.

На основе трехмерных моделей спроектированы конечно-элементные модели участка железнодорожного пути. Мощность модели составляет порядка 2,0–2,5 млн узлов (элементы гексаэдральной формы) с учетом использования свойств симметрии и задания всех необходимых контактных связей (применяются контакты, допускающие небольшое перемещение взаимодействующих поверхностей, а также жесткие сцепления в зависимости от каждого конкретного случая контактирования), присутствующих в реальной конструкции железнодорожного пути. По нижней плоскости земляного полотна моделируется жесткая заделка. Размер элемента подобран путем минимализации времени расчета. В местах концентрации напряжений размер элемента уменьшается до тех пор, пока это дает прибавку по точности выходных данных.

Пример конечно-элементной модели пути с рельсами типа Р65, промежуточными рельсовыми скреплениями ЖБР-Ш, железобетонными шпалами с эпюрой укладки 1840 шп./км, толщиной балластного слоя под шпалой 45 см представлен на рис. 4.

Расчетные значения усилий на рельсы от подвижного состава составляют от 20 до 25 т на ось, при боковых воздействиях до 4 т, что соответствует интервалу реальных нагрузок, действующих на путь со стороны пассажирского подвижного состава: в настоящее время на железнодорожных линиях обращаются пассажирские поезда и электропоезда с нагрузками до 22,5 т/ось («Аллегро» — 18 т/ось, «Стриж» — 20,7 т/ось, электропоезд «Ласточка» — 18,8 т/ось, электропоезда ЭД2Т, ЭД9Т — 21 т/ось, электровоз ЭП20 — 21,5 т/ось, двухэтажные электропоезда «Штадлер» — 21,42 т/ось).

Физико-механические свойства элементов конструкции полностью соответствуют параметрам материалов, применяемых на отечественных железных дорогах.

Результаты моделирования. В процессе моделирования получены следующие виды напряжений:

- нормальные напряжения на внутренней кромке подошвы рельса;
- нормальные напряжения на наружной кромке подошвы рельса;
- максимальное перемещение рельса под колесом (нагрузка приложена между шпалами);

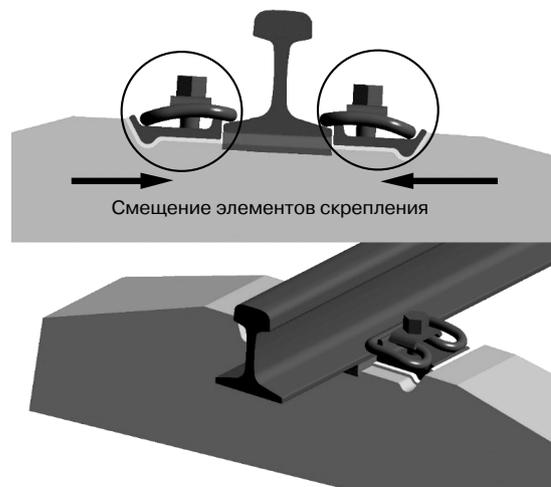


Рис. 2. Общий вид модернизированного промежуточного скрепления ЖБР-Ш(м) для рельсов типа Р50
Fig. 2. General view of the modernized intermediate fastening ZhBR-Sh(m) for R50 rails

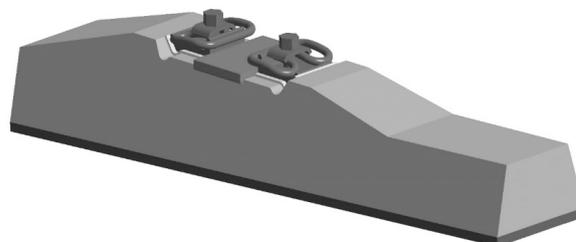


Рис. 3. Прототип модернизированного промежуточного скрепления ЖБР-Ш(м) для рельсов типа Р50 с железобетонной шпалой и подшпальной прокладкой
Fig. 3. Prototype of the modernized intermediate fastening ZhBR-Sh(m) for R50 rails with a reinforced concrete sleeper and an under sleeper pad

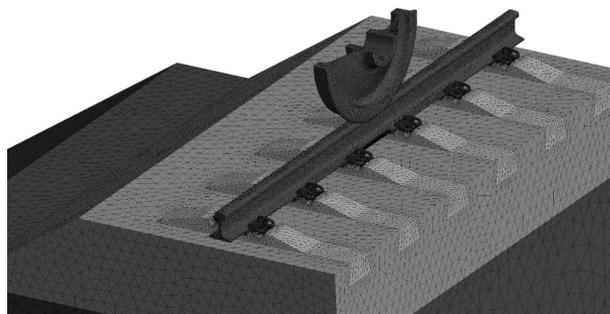


Рис. 4. Конечно-элементная модель пути с рельсами типа Р65, промежуточными рельсовыми скреплениями ЖБР-Ш, железобетонными шпалами с эпюрой укладки 1840 шп./км, толщиной балластного слоя под шпалой 45 см
Fig. 4. Finite element model of a track with R65 rails, intermediate rail fasteners ZhBR-Sh(m), reinforced concrete sleepers with a sleepering diagram of 1840 sleeper/km, a ballast layer thickness under the sleeper of 45 cm



Рис. 5. Нормальные напряжения на наружной кромке подошвы рельса. Толщина балластного слоя 45 см, эпюра укладки 1600 шп./км, колесо между шпалами
 Fig. 5. Normal stresses on the outer edge of the rail foot. Thickness of the ballast layer is 45 cm, sleepering diagram is 1600 sleeper/km, the wheel between the sleepers

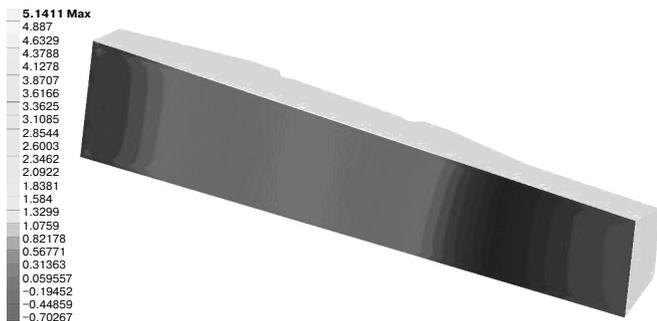


Рис. 6. Нормальные напряжения в подошве шпалы (в плоскости подошвы). Толщина балластного слоя 45 см, эпюра укладки 1600 шп./км, колесо над шпалой

Fig. 6. Normal stresses in the sole of the sleeper (in the plane of the sole). Thickness of the ballast layer is 45 cm, sleepering diagram is 1600 sleeper/km, wheel over the sleeper

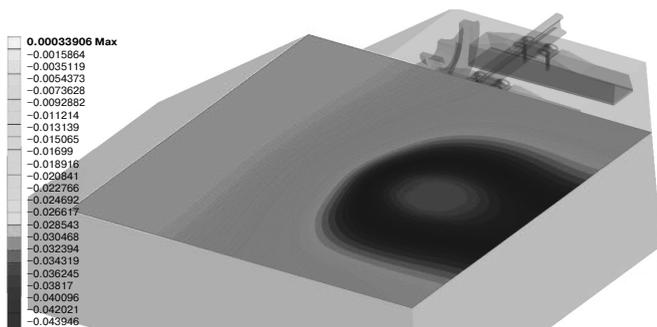


Рис. 7. Нормальные напряжения на ОПЗП. Толщина балластного слоя 45 см, эпюра укладки 1600 шп./км, колесо над шпалой

Fig. 7. Normal stresses at the main site of the subgrade. Thickness of the ballast layer is 45 cm, sleepering diagram is 1600 sleeper/km, wheel over the sleeper

- нормальные напряжения на ОПЗП (вертикальная ось, нагрузка приложена между шпалами);
- максимальное перемещение рельса под колесом (нагрузка приложена над шпалой);

- нормальные напряжения в центральной части верхней области шпалы (в плоскости верхней области шпалы);
- нормальные напряжения в подошве шпалы (в плоскости подошвы);
- средние значения нормальных напряжений в балластном слое (вертикальная ось);
- нормальные напряжения на ОПЗП (вертикальная ось, нагрузка приложена над шпалой).

Среднее значение нормальных напряжений в балластном слое используется в связи со спецификой моделирования сыпучих сред с помощью метода конечных элементов — для исключения влияния концентраторов напряжений на гранях шпалы. Таким образом достигается лучшая адекватность сравнительного анализа напряженного состояния балластного слоя при различных типах верхнего строения пути.

Пример выходных данных результатов моделирования воздействия подвижного состава на участок железнодорожного пути с промежуточными рельсовыми скреплениями ЖБР-Ш(м) представлен далее в виде контуров нормальных напряжений и перемещений в элементах железнодорожного пути при толщине балластного слоя 45 см, вертикальной нагрузке на путь от колеса 122,63 кН, боковом усилии 39,24 кН (рис. 5–7). В общем виде для данной конструкции пути результаты моделирования представлены в табл. 1.

На первом этапе внедрения «пассажирской» конструкции пути на выделенных пассажирских линиях для внутригородских и межрегиональных перевозок необходимо определить конфигурации пути, удовлетворяющие требованиям Методики оценки воздействия подвижного состава на путь по условиям обеспечения надежности [8], а также определить допустимые эквивалентные силы, передаваемые от колеса на рельс, в аспекте неперевышения предельных значений напряжений в элементах пути. Под эквивалентными силами понимаются усилия, возникающие при воздействии колес подвижного состава на рельсы с учетом жесткости подрельсового основания, а также конструктивных особенностей тележек экипажей.

В качестве основного критерия выступают допустимые напряжения по условию несущей способности в уровне ОПЗП — $[\sigma_0]$. Допустимые напряжения на ОПЗП для грузовых и пассажирских вагонов согласно Методике [8] составляют 80 кПа.

Предельные величины эквивалентных нагрузок от колес подвижного состава для каждого исследованного типа верхнего строения пути представлены в табл. 2. Количественные параметры нагрузок вычислены с помощью математической интерполяции результатов, полученных в ходе моделирования. По-

Таблица 1

Результаты моделирования напряженно-деформированного состояния конструкции пути с рельсами типа Р50, промежуточными рельсовыми скреплениями ЖБР-Ш(м), железобетонными шпалами с эпюрой укладки 1600 шп./км с подшпальными прокладками, толщиной балластного слоя под шпалой 45, 35 и 25 см

Table 1

Results of modeling the stress-strain state of the track structure with R50 rails, intermediate rail fasteners ZhBR-Sh(m), reinforced concrete sleepers with sleepering diagram of 1600 sleeper/km with under sleeper pads, ballast layer thickness under the sleeper is 45, 35 and 25 cm

Вертикальная сила от колеса, кН	Боковая сила от колеса, кН	Нормальные напряжения на внутренней кромке подошвы рельса, МПа	Нормальные напряжения на наружной кромке подошвы рельса, МПа	Максимальное перемещение рельса под колесом (нагрузка приложена между шпалами), мм	Нормальные напряжения на ОПЗП (вертикальная ось, нагрузка приложена между шпалами), МПа	Максимальное перемещение рельса под колесом (нагрузка приложена над шпалой), мм	Нормальные напряжения в центральной части верхней области шпалы (в плоскости верхней области шпалы), МПа	Нормальные напряжения в подошве шпалы (в плоскости подошвы), МПа	Средние значения нормальных напряжений в балластном слое (вертикальная ось), МПа	Нормальные напряжения на ОПЗП (вертикальная ось, нагрузка приложена над шпалой), МПа
Толщина балластного слоя под шпалой 45 см										
98,10	0	63,590	47,197	1,010	-0,049	0,861	2,219	4,048	-0,055	-0,050
98,10	19,62	37,378	73,904	1,047	-0,047	0,919	2,844	4,157	-0,057	-0,049
98,10	39,24	13,658	100,350	1,231	-0,047	1,191	3,686	4,211	-0,064	-0,049
122,63	0	79,885	59,527	1,293	-0,058	1,114	3,067	4,937	-0,080	-0,059
122,63	19,62	53,455	85,887	1,282	-0,057	1,245	3,647	5,050	-0,081	-0,058
122,63	39,24	26,984	112,260	1,460	-0,056	1,376	4,264	5,141	-0,082	-0,057
Толщина балластного слоя под шпалой 35 см										
98,10	0	62,844	46,084	0,950	-0,051	0,873	2,060	3,917	-0,053	-0,052
98,10	19,62	36,595	72,421	1,014	-0,050	0,921	2,725	4,009	-0,056	-0,051
98,10	39,24	15,315	98,729	1,196	-0,050	1,069	3,373	4,094	-0,057	-0,051
122,63	0	78,750	58,024	1,216	-0,060	1,119	2,765	4,838	-0,074	-0,062
122,63	19,62	52,498	84,319	1,243	-0,059	1,137	3,392	4,927	-0,077	-0,062
122,63	39,24	26,252	110,600	1,422	-0,059	1,279	4,027	5,004	-0,077	-0,062
Толщина балластного слоя под шпалой 25 см										
98,10	0	63,521	47,331	1,003	-0,052	0,870	2,202	3,940	-0,057	-0,056
98,10	19,62	37,061	73,675	1,041	-0,051	1,146	3,149	4,122	-0,065	-0,058
98,10	39,24	13,588	100,020	1,224	-0,052	1,292	3,806	4,201	-0,065	-0,059
122,63	0	79,277	59,170	1,260	-0,063	1,214	3,164	4,936	-0,082	-0,072
122,63	19,62	52,897	85,534	1,264	-0,062	1,353	3,777	5,051	-0,083	-0,073
122,63	39,24	26,461	111,890	1,445	-0,062	1,497	4,435	5,149	-0,084	-0,074

казатель напряженного состояния на ОПЗП ниже 80 кПа при воздействии эквивалентной нагрузки от колеса 122,63 кН (25 т/ось) для пассажирского движения является достаточным для обеспечения несущей способности в уровне ОПЗП с необходимым запасом. Этим условиям отвечают варианты 1, 2, 4–8, 10, 11, 13–15.

Дальнейшие работы по формированию матрицы вариантов «пассажирской» конструкции пути пред-

ставляют собой проведение комплексных расчетов по устойчивости бесстыкового пути рассмотренных конструкций тоже в среде конечно-элементного моделирования [9, 10] и окончательную оценку экономической эффективности рассматриваемых вариантов пути на основании общего снижения стоимости элементов верхнего строения пути на 1 км, учитывая только варианты, в которых уровень напряженно-деформированного состояния при

Таблица 2

Предельные величины эквивалентных нагрузок от колес подвижного состава для различных конфигураций верхнего строения пути

Table 2

Limit values of equivalent loads from rolling stock wheels for various configurations of track superstructure

Номер варианта	Конфигурация пути	Предельная эквивалентная нагрузка от колеса, кН
1	Рельсы типа Р65, промежуточные рельсовые скрепления ЖБР-Ш, железобетонные шпалы с эпюрой укладки 1840 шп./км, толщина балластного слоя под шпалой 45 см	122,63 кН (25 т/ось)
2	Рельсы типа Р65, промежуточные рельсовые скрепления ЖБР-Ш, железобетонные шпалы с эпюрой укладки 1840 шп./км, толщина балластного слоя под шпалой 35 см	122,63 кН (25 т/ось)
3	Рельсы типа Р65, промежуточные рельсовые скрепления ЖБР-Ш, железобетонные шпалы с эпюрой укладки 1840 шп./км, толщина балластного слоя под шпалой 25 см	111,65 кН (22,76 т/ось)
4	Рельсы типа Р65, промежуточные рельсовые скрепления ЖБР-Ш, железобетонные шпалы с эпюрой укладки 1600 шп./км, толщина балластного слоя под шпалой 45 см	122,63 кН (25 т/ось)
5	Рельсы типа Р65, промежуточные рельсовые скрепления ЖБР-Ш, железобетонные шпалы с эпюрой укладки 1600 шп./км, толщина балластного слоя под шпалой 35 см	122,63 кН (25 т/ось)
6	Рельсы типа Р65, промежуточные рельсовые скрепления ЖБР-Ш, железобетонные шпалы с эпюрой укладки 1600 шп./км, толщина балластного слоя под шпалой 25 см	122,63 кН (25 т/ось)
7	Рельсы типа Р65, промежуточные рельсовые скрепления ЖБР-Ш, железобетонные шпалы с эпюрой укладки 1440 шп./км, толщина балластного слоя под шпалой 45 см	122,63 кН (25 т/ось)
8	Рельсы типа Р65, промежуточные рельсовые скрепления ЖБР-Ш, железобетонные шпалы с эпюрой укладки 1440 шп./км, толщина балластного слоя под шпалой 35 см	122,63 кН (25 т/ось)
9	Рельсы типа Р65, промежуточные рельсовые скрепления ЖБР-Ш, железобетонные шпалы с эпюрой укладки 1440 шп./км, толщина балластного слоя под шпалой 25 см	113,99 кН (23,24 т/ось)
10	Рельсы типа Р50, промежуточные рельсовые скрепления ЖБР-Ш(м), железобетонные шпалы с эпюрой укладки 1600 шп./км, толщина балластного слоя под шпалой 45 см	122,63 кН (25 т/ось)
11	Рельсы типа Р50, промежуточные рельсовые скрепления ЖБР-Ш(м), железобетонные шпалы с эпюрой укладки 1600 шп./км, толщина балластного слоя под шпалой 35 см	122,63 кН (25 т/ось)
12	Рельсы типа Р50, промежуточные рельсовые скрепления ЖБР-Ш(м), железобетонные шпалы с эпюрой укладки 1600 шп./км, толщина балластного слоя под шпалой 25 см	107,63 кН (21,94 т/ось)
13	Рельсы типа Р50, промежуточные рельсовые скрепления ЖБР-Ш(м), железобетонные шпалы с эпюрой укладки 1600 шп./км с использованием подшпальных прокладок, толщина балластного слоя под шпалой 45 см	122,63 кН (25 т/ось)
14	Рельсы типа Р50, промежуточные рельсовые скрепления ЖБР-Ш(м), железобетонные шпалы с эпюрой укладки 1600 шп./км с использованием подшпальных прокладок, толщина балластного слоя под шпалой 35 см	122,63 кН (25 т/ось)
15	Рельсы типа Р50, промежуточные рельсовые скрепления ЖБР-Ш(м), железобетонные шпалы с эпюрой укладки 1600 шп./км с использованием подшпальных прокладок, толщина балластного слоя под шпалой 25 см	122,63 кН (25 т/ось)

нагрузках от пассажирского движения либо сопоставим, либо ниже, чем в типовой конструкции при смешанном движении, что позволяет говорить также о снижении затрат на текущее содержание.

Заключение. Определены максимальные допускаемые эквивалентные нагрузки от колес подвижного состава для различных типов верхнего строения пути, в том числе перспективных модернизированных конструкций с рельсами типа Р50. Толщина балласта под шпалой 25 см не обеспечивает допускаемый уровень напряжений на основной площадке земляного полотна без применения подшпальных прокладок, поэтому на данном этапе проектирования выделенных пас-

сажирских линий наиболее перспективным с точки зрения экономической эффективности выглядит вариант с рельсами типа Р50 с эпюрой укладки железобетонных шпал 1600 шп./км и использованием подшпальных прокладок, толщиной балластного слоя под шпалой 25–35 см. Такая конструкция, в отличие от типовой с рельсами Р65 с эпюрой укладки железобетонных шпал 1600 шп./км, имеет больший запас по устойчивости бесстыкового пути против выброса за счет меньшей площади сечения рельса и, как следствие, меньших температурных усилий, возникающих в рельсах при изменении температуры относительно температуры закрепления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Овчинников Д. В., Покацкий В. А. Определение напряженно-деформированного состояния основной площадки земляного полотна в зависимости от толщины балластного слоя и песчаной подушки при различной нагрузке на ось // Наука и образование транспорту. 2016. № 2. С. 176–180.
2. Косенко С. А., Исаенко Э. П. Моделирование и расчеты напряженно-деформированного состояния конструкций железнодорожного пути методом конечных элементов. Новосибирск: Изд-во Сибирского гос. ун-та путей сообщения, 2017. 144 с.
3. Рязанцев А. П., Каменчуков А. В. Оценка устойчивости откосов земляного полотна на оползнеопасных участках // Материалы 60-й студенческой научно-технической конференции инженерно-строительного института ТОГУ (Хабаровск, 28 мая 2020 г.). Хабаровск: Изд-во Тихоокеанского гос. ун-та, 2020. С. 74–80.
4. Bokarev S. A., Zhunev K. O., Usol'tsev A. M. Stress-strain behavior of welded joints in railway girders // Magazine of Civil Engineering. 2018. No. 8 (84). P. 119–129.
5. Скутин Д. А. Расчет напряжений в балластной призме, усиленной геосинтетическими материалами // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. 2015. № 4 (28). С. 141–149.
6. Малаканов С. А., Арзамасцева В. А. Исследование конструкции упругой клеммы на основе критериальной оценки формы поперечного сечения // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. 2017. № 2. С. 25–28.
7. Расчетно-экспериментальная оценка влияния использования подшпальных прокладок на показатели динамического воздей-

ствия подвижного состава на путь в стыковой зоне / В. Н. Каплин [и др.] // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2019. Т. 78. № 4. С. 241–248. DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2019-78-4-241-248>.

8. Общие положения методики оценки воздействия подвижного состава на путь по критериям прочности и надежности / В. О. Певзнер [и др.] // Путь и путевое хозяйство. 2019. № 3. С. 34–37.

9. Овчинников Д. В., Покацкий В. А., Суслов О. А. Оценка устойчивости бесстыкового пути при отступлениях от норм содержания в плане методом конечных элементов // Вестник транспорта Поволжья. 2013. № 6 (42). С. 87–93.

10. Овчинников Д. В. Аспекты определения устойчивости бесстыкового пути при воздействии подвижного состава // Наука и образование транспорту. 2019. № 2. С. 155–159.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

ОВЧИННИКОВ Дмитрий Владиславович, канд. техн. наук, доцент, кафедра «Путь и путевое хозяйство», ФГБОУ ВО «СамГУПС»

КУЛЬГИН Константин Александрович, и.о. начальника Центра управления проектами, АО «ВНИИЖТ»

Статья поступила в редакцию 29.11.2021 г., первая рецензия получена 01.12.2021 г., вторая рецензия получена 02.12.2021 г., принята к публикации 02.12.2021 г.

Для цитирования: Овчинников Д. В., Кульгин К. А. Аспекты проектирования и расчета железнодорожного пути, предназначенного для выделенных пассажирских линий // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2021. Т. 80. № 6. С. 351–358. DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-6-351-358>.

Aspects of design and calculation of a railway track intended for dedicated passenger lines

D. V. OVCHINNIKOV¹, K. A. KUL'GIN²

¹Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Samara State Transport University" (FGBOU VO "SamGUPS"), Samara, 443066, Russia

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

Abstract. The article considers issues of application of dedicated passenger lines for intertown and interregional transportation on the railways of the Russian Federation, which in the future will accelerate passenger traffic due to changes in transportation technology, increase the carrying and throughput capacity of railways, reduce construction costs and current maintenance, and optimize the need for infrastructure development. The structures of the track superstructure used for the transportation process at the present time were developed and implemented taking into account the mixed traffic — passenger and freight. Growth of axle loads in freight traffic, as well as the length of trains, presupposes the strengthening (weighting) of the standard structures of the railway track to possibly ensure the guaranteed safe passage of more than 1 billion gross tonnage. At the same time, exclusively for passenger traffic, the typical design of the railway track is redundant and can be optimized in terms of reducing the materials of the track superstructure with a simultaneous change in the configuration of repair schemes and current maintenance conditions.

The article presents an assessing the possibility of using a "passenger" track structure on dedicated passenger lines for in-

tertown and interregional transportation according to the criteria of the allowable margin of safety in the environment of finite element analysis — the most progressive method for calculating structures undergoing complex loading. The article presents the results of calculations of the stress-strain state of a railway track of various configurations, including promising lightweight versions with R50 rails and reinforced concrete sleepers with under sleeper pads. Based on the calculations performed, recommendations are given for the areas of application of the considered track configurations from the point of view of permissible stresses in its elements.

Keywords: railways; dedicated passenger lines; modeling; finite element method; stress-strain state; track configuration

DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-6-351-358>

REFERENCES

1. Ovchinnikov D. V., Pokatskiy V. A. *Opreделение napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya osnovnoy ploshchadki zemlyanogo polotna v zavisimosti ot tolshchiny ballastnogo sloya i peschanoy podushki pri razlichnoy nagruzke na os'* [Determination of

the stress-strain state of the main site of the roadbed depending on the thickness of the ballast layer and sand cushion at different axle loads]. *Nauka i obrazovanie transportu*, 2016, no 2, pp. 176–180.

2. Kosenko S. A., Isaenko E. P. *Modelirovanie i raschety napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya konstruktivnykh zhelezнодорожного пути методом конечных элементов* [Modeling and calculations of the stress-strain state of railway track structures by the finite element method]. Novosibirsk, Izd-vo Sibirskogo gos. un-ta putey soobshcheniya [Publishing house of the Siberian State University of Railways], 2017, 144 p.

3. Ryazantsev A. P., Kamenchukov A. V. *Otsenka ustoychivosti otkosov zemlyanogo polotna na opolzneopasnykh uchastkakh* [Evaluation of the stability of slopes of the roadbed in landslide-hazard areas]. *Materialy 60-y studencheskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii inzhenerno-stroitel'nogo instituta TOGU (Khabarovsk, 28 maya 2020 g.)* [Materials of the 60th student scientific and technical conference of the TOGU Civil Engineering Institute (Khabarovsk, May 28, 2020)]. Khabarovsk, Izd-vo Tikhookeanskogo gos. un-ta [Publishing house of the Pacific State University], 2020, pp. 74–80.

4. Bokarev S. A., Zhunev K. O., Usol'tsev A. M. *Stress-strain behavior of welded joints in railway girders*. *Magazine of Civil Engineering*, 2018, No. 8 (84), pp. 119–129.

5. Skutin D. A. *Raschet napryazheniy v ballastnoy prizme, usilennoy geosinteticheskimi materialami* [Calculation of stresses in a ballast prism reinforced with geosynthetic materials]. *Herald of the Ural State University of Railway Transport*, 2015, no. 4 (28), pp. 141–149.

6. Malakanov S. A., Arzamastseva V. A. *Issledovanie konstruktivnykh uprugoy klemmy na osnove kriterial'noy otsenki formy poperechnogo secheniya* [Investigation of the structure of an elastic clamp on the basis of a criterial assessment of the shape of the cross section]. *Forging and Stamping Production. Material Working by Pressure*, 2017, no. 2, pp. 25–28.

7. Kaplin V. N., Myslivets M. N., Sidorova E. A., Polunina E. A. *Raschetno-eksperimental'naya otsenka vliyaniya ispol'zovaniya podshpal'nykh prokladok na pokazateli dinamicheskogo vozdey-*

stviya podvizhnogo sostava na put' v stykovoy zone [Estimation and test assessment of the rail pads effect on the indicators of dynamic impact of the rolling stock on the track in the joint area]. *Vestnik VNIIZhT* [Vestnik of the Railway Research Institute], 2019, Vol. 78, no. 4, pp. 241–248. DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2019-78-4-241-248>.

8. Pevzner V. O., Ashpiz E. S., Zamukhovskiy A. V., Tret'yakov V. V., Petropavlovskaya I. B., Tret'yakov I. V., Shapet'ko K. V., Smelyanskaya I. S., Gromova T. I. *Obshchie polozheniya metodiki otsenki i nadezhnosti podvizhnogo sostava na put' po kriteriyam prochnosti i nadezhnosti* [General provisions of the methodics for assessing the impact of rolling stock on the track according to the criteria of strength and reliability]. *Railway Track and Facilities*, 2019, no. 3, pp. 34–37.

9. Ovchinnikov D. V., Pokatskiy V. A., Suslov O. A. *Otsenka ustoychivosti besstykovogo puti pri otstupleniyakh ot norm soderzhaniya v plane metodom konechnykh elementov* [Assessment of the stability of a continuous welded track in case of deviations from the maintenance standards in terms of the finite element method]. *Vestnik transporta Povolzh'ya*, 2013, no. 6 (42), pp. 87–93.

10. Ovchinnikov D. V. *Aspekty opredeleniya ustoychivosti besstykovogo puti pri vozdeystvii podvizhnogo sostava* [Aspects of determining the stability of a continuous welded track under the influence of rolling stock]. *Nauka i obrazovanie transportu*, 2019, no. 2, pp. 155–159.

ABOUT THE AUTHORS

Dmitriy V. OVCHINNIKOV,

Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Department “Tracks and track facility”, FGBOU VO “SamGUPS”

Konstantin A. KUL'GIN,

Acting Head of the Project Management Center, JSC “VNIIZHT”

Received	29.11.2021
First review received	01.12.2021
Second review received	02.12.2021
Accepted	02.12.2021

■ E-mail: ovchinnikov@samgups.ru (D. V. Ovchinnikov)

For citation: Ovchinnikov D. V., Kul'gin K. A. Aspects of design and calculation of a railway track intended for dedicated passenger lines // *Russian Railway Science*. 2021. 80 (6): 351–358 (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-6-351-358>.

ВЫШЛИ В СВЕТ ТРУДЫ ВНИИЖТ

Обобщение мирового опыта тяжеловесного движения. Управление содержанием подвижного состава. Том 1. Грузовые вагоны / пер. с англ. под ред. С. М. Захарова. — М.: АО «ВНИИЖТ», 2021. — 456 с.

Рассмотрены базовые аспекты, связанные с созданием и эксплуатацией грузовых вагонов. Приведены общие соображения, касающиеся способов повышения провозной способности железных дорог, производительности перевозочного процесса. Представлен пример обзора конструкций грузовых вагонов. Даны методические основы анализа и испытаний, проводимых с целью выяснения эксплуатационного ресурса по усталостной долговечности грузовых вагонов и их компонентов. Приведены экономические соображения, касающиеся применения затрат жизненного цикла для определения суммарной стоимости владения вагоном до конца срока службы. Кратко описаны современные методы компьютерного моделирования усталостных проявлений в контактах качения и процедуры испытаний. Освещается передовой опыт контроля технического состояния, технического обслуживания и ремонта грузовых вагонов. Рассмотрены мероприятия технического обслуживания и ремонта и особенности нормативно-правового регу-

лирования технической эксплуатации грузовых вагонов разных стран. Описаны средства мониторинга технического состояния грузовых вагонов и поездов непосредственно в процессе движения. Приведена информация о ряде напольных систем мониторинга. Представлено несколько примеров опыта использования напольных систем мониторинга технического состояния железнодорожного подвижного состава. Рассмотрены аспекты, которые необходимо иметь в виду при разработке технического задания на приобретение вагонов.

В конце книги приведен словарь использованных терминов и их эквивалентов на английском языке и даны определения, расшифровывающие термины.

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

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

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

Показатели силового взаимодействия пути и подвижного состава при движении грузового вагона по длинным неровностям с учетом действия продольных сил

Е. А. СИДОРОВА¹, В. О. ПЕВЗНЕР¹, А. И. ЧЕЧЕЛЬНИЦКИЙ²

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

² Дирекция диагностики и мониторинга инфраструктуры Центральной дирекции инфраструктуры — филиала ОАО «РЖД», Москва, 107174, Россия

Аннотация. Освещен механизм образования длинных неровностей железнодорожного пути и обусловлена значимость их устранения для путевого хозяйства. На основе результатов моделирования движения грузового поезда по длинным неровностям в режиме тяги произведен анализ процессов, происходящих при движении тяжеловесных поездов по пути с такими отклонениями, моделирование выполнено на базе программного комплекса «Универсальный механизм». По результатам расчетов выполнена оценка взаимодействия пути и подвижного состава в вертикальной плоскости по показателям величины вертикальной силы и коэффициентов: динамики, запаса устойчивости, Надаля, обезгрузки (в процентах) буксовых пружин рессорного подвешивания грузовых вагонов. Проанализирован характер влияния уклона неровности на уменьшение вертикальной силы, передающейся от колеса на рельс, и изменения силы тяги на динамику грузовых вагонов, находящихся в составе поезда и проходящих по длинным неровностям продольного профиля.

Ключевые слова: железнодорожный путь; длинные неровности продольного профиля; продольные силы; сила тяги; обезгрузка; вертикальная сила

Введение. Современные условия эксплуатации железнодорожной инфраструктуры характеризуются массовым вождением тяжеловесных поездов локомотивами повышенной мощности.

Влияние движения тяжеловесных поездов на деформативность инфраструктуры изучалось учеными АО «ВНИИЖТ» в рамках испытаний по определению остаточных деформаций земляного полотна, проведенных на участке Ковдор—Мурманск [1]. Одним из основных выводов, полученных в результате этих испытаний, стало понимание механизма образования длинных неровностей продольного профиля пути, когда при движении группы поездов с интервалом между поездами меньше времени релаксации пути происходит накопление отступлений в вертикальной плоскости, которое может достигать значительных величин. Образование длинных неровностей является следствием неравномерной осадки

пути из-за различных характеристик земляного полотна по длине пути [2].

Как отмечается в [3], устранение профильных просядок, вызванных деформациями земляного полотна, входит в число задач современного содержания пути, поскольку игнорирование данной проблемы может приводить к инцидентам на железнодорожном транспорте. К числу таких профильных просядок относятся длинные неровности в профиле, представляющие собой лощины длиной более 25 м с амплитудой от 25 мм между пиками, как правило, по обеим рельсовым нитям.

Сегодня проводятся исследования по влиянию длинных неровностей продольного профиля на динамику движения поездов [4], при этом наиболее интересной задачей является рассмотрение влияния продольных сил, возникающих в грузовых тяжеловесных поездах, на показатели силового взаимодействия пути и подвижного состава при движении грузовых вагонов по длинным неровностям [5].

Исследовательская база. Исследовательская база работ по изучению движения поезда с наличием тяги по переломам профиля формируется еще с начала XX в. с исследований Н. Е. Жуковского [6]. В своей работе он отмечал негативное влияние резкого изменения силы инерции на раскачивание буферных пружин при переходе локомотива через перевал от конца старого участка к новому.

В дальнейшем математические модели движения поезда по переломам профиля развивались и анализировались разными учеными и практиками железнодорожной отрасли [7, 8, 9]. О том, что силы в автосцепках достигают своих наибольших значений на вершине профильной неровности, отмечалось в работе С. В. Вершинского, В. Н. Данилова, В. Д. Хусидова [10]. Возрастание массы поездов и, соответственно, продольных сил, необходимых для их вождения, потребовало вновь вернуться к анализу процессов, происходящих при

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

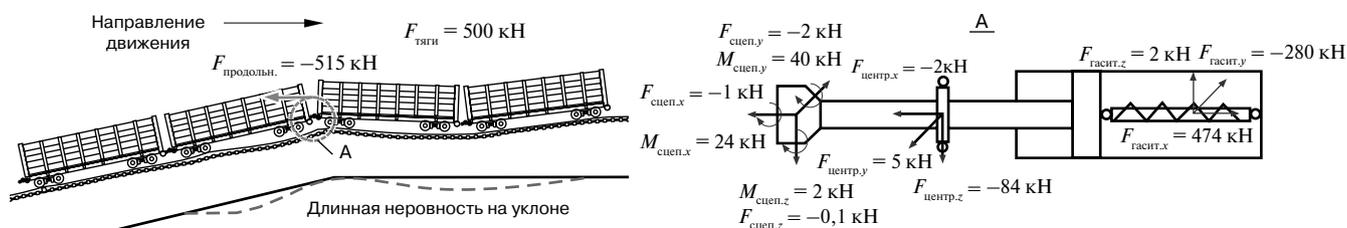


Рис. 1. Силы в автосцепке между вагонами, проходящими вершину длинной неровности
 Fig. 1. Forces in the coupler between cars passing the top of a long irregularity

движении тяжеловесных поездов по пути с длинными неровностями.

Сегодня математический аппарат для анализа динамики поезда успешно реализуется в рамках программных комплексов моделирования многомассовых систем. Одним из таких комплексов, в частности, является «Универсальный механизм» (УМ), применение которого позволяет работать как с описанием продольной динамики поезда, так и с включенными 3D-моделями вагонов. Наличие многомассовых моделей вагонов предусматривает возможность расчетов показателей взаимодействия пути и подвижного состава с учетом конкретного состояния пути (макрогеометрия, параметры неровностей и т. д.). Таким образом, становится возможным, например, изучить влияние длинных неровностей на динамику грузовых вагонов в местах произошедших сходов.

При решении конкретной задачи оценки влияния продольных сил на показатели силового взаимодействия пути и подвижного состава при движении грузового вагона по длинным неровностям была построена модель поезда, содержащая одну подсистему из одномассовых моделей двух локомотивов и 64 вагонов и вторую подсистему из пяти многомассовых моделей вагонов, соединенных между собой моделями автосцепок.

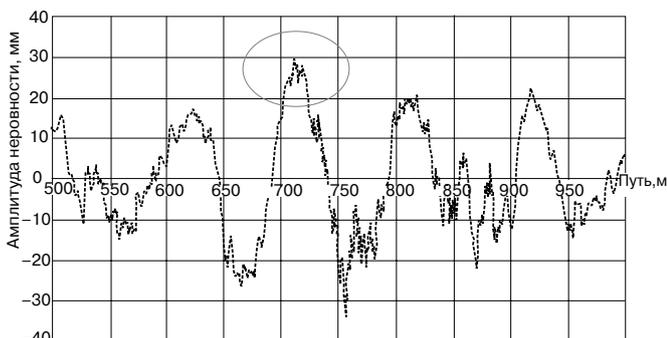


Рис. 2. Вершина длинной неровности на Московской железной дороге
 Fig. 2. Top of a long irregularity on the Moscow Railway

Исходные данные. Исходные данные процесса моделирования включали: скорость поезда 60–65 км/ч, тягу локомотива 50 тс (490,5 кН), конфигурацию плана и профиля участка пути (две кривые радиусом более 1000 м, участок постоянного уклона — 9‰), геометрию вертикальных и горизонтальных неровностей пути. Вертикальные и горизонтальные неровности плана и профиля были получены по данным датчиков вагона-путеизмерителя на основе метода преобразования Фурье [5] разработанным в АО «ВНИИЖТ» способом. Масса поезда составляла примерно 6500 т.

На рис. 1 представлена схема сил, возникающих в автосцепке в середине состава между вагонами, проходящими вершину длинной неровности, когда на них действуют разнонаправленные продольные силы — сила тяги с головы поезда и сила от второй его половины за неровностью на уклоне. Значения сил были получены при расчете в УМ движения поезда по длинной неровности, находящейся на уклоне, зарегистрированном в месте схода вагонов на Московской железной дороге (рис. 2).

Проведенные расчеты дают общее представление о работе гасителей и центрирующего устройства автосцепки на вершине длинных неровностей при движении поезда в режиме тяги. Кроме того, расчет позволяет установить величины продольных сил в автосцепках между вагонами в середине состава. В данном случае величина продольной силы в автосцепке в середине состава составила приблизительно 500 кН.

Дальнейшие исследования были сфокусированы на оценке непосредственно показателей взаимодействия пути и подвижного состава в вертикальной плоскости, а именно: минимальной для каждого колеса величины вертикальной силы, величин коэффициентов динамики, запаса устойчивости, Надаля, величин процента обезгрузки буксовых пружин рессорного подвешивания грузовых вагонов. Для этого вышеперечисленные показатели были рассчитаны для грузовых вагонов в составе поезда, движущегося в режиме тяги по длинным неровностям в местах сходов на Московской, Забайкальской и Южно-Уральской железных дорогах [5].

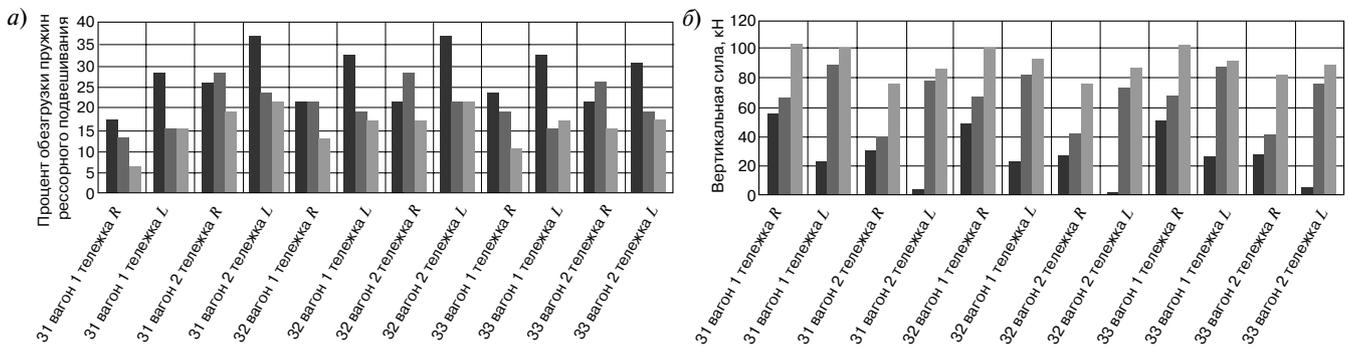


Рис. 3. Оценка возможности частичной обезгрузки тележки грузового вагона:

a — по критерию удлинения пружин рессорного подвешивания; *б* — по критерию минимального значения вертикальной силы, передающейся от колеса на рельс: ■ — Забайкальская железная дорога; ■ — Южно-Уральская железная дорога; ■ — Московская железная дорога

Fig. 3. Assessment of the possibility of partial unloading of a freight car bogie:

a — according to the criterion of springs lengthening of the spring suspension; *б* — according to the criterion of the minimum value of the vertical force transmitted from the wheel to the rail: ■ — Transbaikalian Railway; ■ — South Ural Railway; ■ — Moscow Railway

Отметим, что наихудшие показатели для всех трех рассмотренных случаев были получены в местах наиболее высоких по амплитуде пиков длинных неровностей.

Рассмотрим сначала полученные расчетом минимальные значения вертикальной силы и максимальные значения процента обезгрузки пружин рессорного подвешивания грузовых вагонов (рис. 3). Порядковый номер вагона отсчитывается от головы состава, левая (*L*) и правая (*R*) стороны тележек определяются из условия движения по ходу поезда. На основании этих данных можно оценить возможность частичной обезгрузки тележки грузового вагона при переходе через вершину длинных неровностей при наличии тяги.

Из рис. 3, *a* видно, что максимальные значения процента обезгрузки пружин рессорного подвешивания грузовых вагонов лежат в диапазоне от 22 до 37% на разных участках, при этом рассчитанные средние значения процента обезгрузки лежат в диапазоне от 16 до 28%, что тоже является значительной величиной.

Уточнить возможность обезгрузки пружин рессорного подвешивания вагонов позволяет рассмотрение полученных минимальных значений вертикальной силы, зарегистрированных на участках с длинными неровностями. Физический смысл уменьшения значений вертикальной силы — это возможность отрыва колеса от рельса. И такой прогноз был подтвержден при расчете движения грузовых вагонов с наличием тяги по неровностям Забайкальской железной дороги. Здесь минимальное значение вертикальной силы достигало 3 кН (рис. 3, *б*). Полученные значения сил являются одномоментным следствием прохода межвагонного соединения (двух автосцепок) по вершине длинной неровности.

В целом минимальные значения вертикальной силы по всем рассмотренным участкам с наличием

длинных неровностей лежат в диапазоне от 3 до 76 кН, а если рассчитать средние значения, то они попадают в диапазон от 27 до 91 кН.

Таким образом, можно сделать предварительный вывод о возможности частичной обезгрузки тележки грузового вагона, который находится в составе поезда, идущего по длинным неровностям в режиме тяги. Обезгрузка вагона потенциально может приводить к двум процессам: возможности вкатывания колеса на головку рельса (этот процесс будет рассмотрен далее в статье) и отрыва колеса с последующим ударом и разрушением рельса, особенно в зоне стыков (этот процесс требует дополнительных исследований).

Теперь рассмотрим показатели динамического взаимодействия пути и подвижного состава, которые характеризуют возможность схода колеса с рельса. Для этого были рассчитаны коэффициенты Надаля (допустимое значение не должно превышать 0,8), запаса устойчивости (допустимое значение не должно быть ниже 1,2) и динамики (допустимое значение не должно быть выше 0,7) для грузовых вагонов. На рис. 4 представлены диаграммы рассчитанных коэффициентов.

В целом значения коэффициентов, представленных на рис. 4, лежат в пределах допустимых значений. Однако значения, полученные при движении вагонов по длинным неровностям, зарегистрированным на Забайкальской железной дороге, демонстрируют приближение к критическим. Так, наибольшее значение коэффициента динамики составляет 0,7, коэффициент запаса устойчивости достигает значения 2, а коэффициент Надаля равен 0,65 [11, 12].

На рис. 5 приведена гистограмма вертикальных неровностей, полученных по данным Забайкальской железной дороги. В дальнейших исследованиях для расчетов использовался только этот участок, как наиболее показательный.

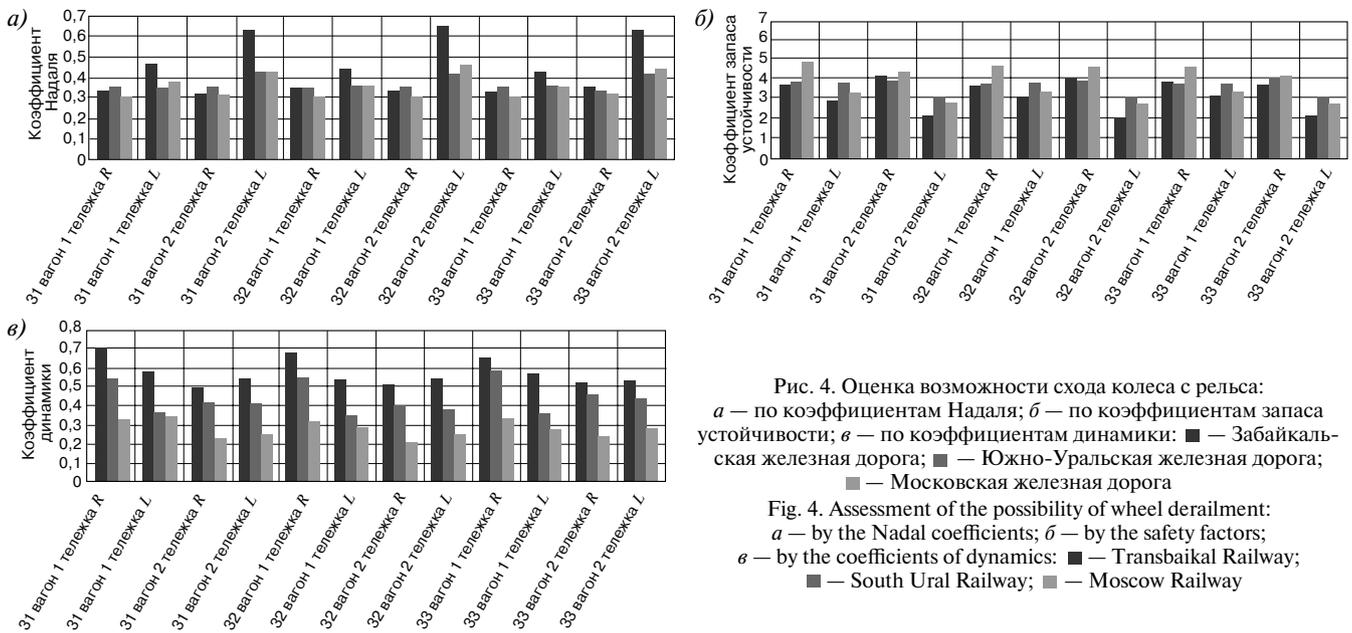


Рис. 4. Оценка возможности схода колеса с рельса: *a* — по коэффициентам Надаля; *б* — по коэффициентам запаса устойчивости; *в* — по коэффициентам динамики: ■ — Забайкальская железная дорога; ■ — Южно-Уральская железная дорога; ■ — Московская железная дорога

Fig. 4. Assessment of the possibility of wheel derailment: *a* — by the Nadal coefficients; *б* — by the safety factors; *в* — by the coefficients of dynamics: ■ — Transbaikalian Railway; ■ — South Ural Railway; ■ — Moscow Railway

Для моделирования влияния уклона длинных вертикальных неровностей на показатели взаимодействия пути и подвижного состава был взят участок,

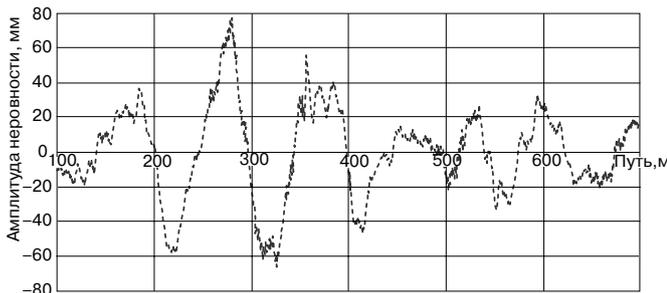


Рис. 5. Гистограмма вертикальных неровностей в месте схода на Забайкальской железной дороге
Fig. 5. Histogram of vertical irregularities at the point of derailment on the Transbaikalian Railway

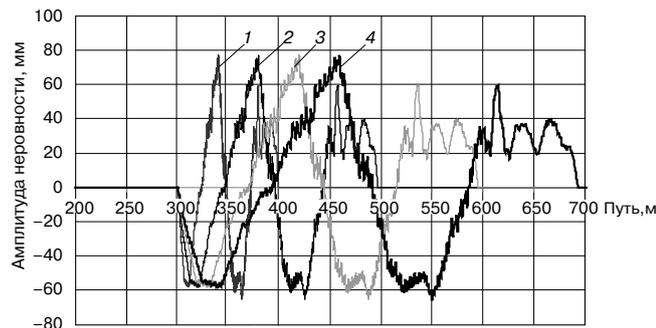


Рис. 6. Модели вертикальных неровностей с разными уклонами: 1 — уклон 10‰; 2 — уклон 5‰; 3 — уклон 3,3‰; 4 — уклон 2,5‰
Fig. 6. Models of vertical irregularities with different slopes: 1 — slope 10‰; 2 — slope 5‰; 3 — slope 3.3‰; 4 — slope 2.5‰

представленный на рис. 5, с наибольшей амплитудой отклонений (с 200 до 400 м) и искусственно перестроен так, чтобы уклон наибольшего пика неровности (‰) изменялся в большую и меньшую стороны (рис. 6). Уклон рассчитывался как отношение амплитуды неровности к половине ее длины.

Моделирование движения поезда по неровностям, представленным на рис. 6, позволило выявить, как влияет уклон неровности на уменьшение вертикальной силы, передающейся от колеса на рельс, а значит, и на опасность обезгрузки тележки грузового вагона, приводящей к снижению показателей взаимодействия колеса и рельса.

Результаты расчетов. На рис. 7–9 представлены результаты расчетов. Логарифмическая зависимость минимального значения вертикальной силы от уклона неровностей продольного профиля приведена на рис. 7. При этом оценивалось не самое минимальное

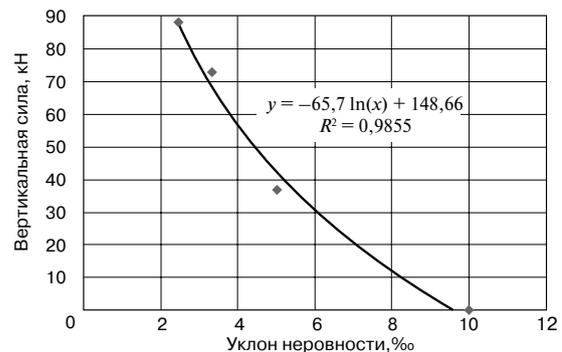


Рис. 7. Зависимость минимального значения вертикальной силы от уклона неровностей продольного профиля
Fig. 7. Dependence of the minimum value of the vertical force on the slope of the irregularities of the longitudinal profile

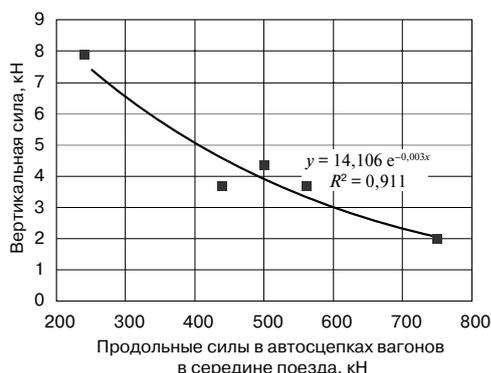


Рис. 8. Зависимость минимального значения вертикальной силы от величины продольных сил в автосцепках вагонов в середине поезда

Fig. 8. Dependence of the minimum value of the vertical force on the value of the longitudinal forces in the automatic couplings of the cars in the middle of the train

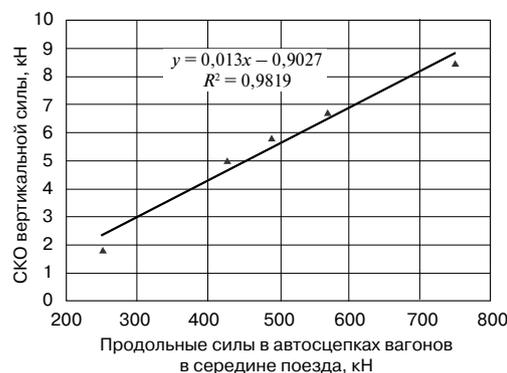


Рис. 9. Зависимость среднего квадратичного отклонения значения вертикальной силы от величины продольных сил в автосцепках вагонов в середине поезда

Fig. 9. Dependence of the mean-square deviation of the value of the vertical force on the value of the longitudinal forces in the automatic couplings of the cars in the middle of the train

зарегистрированное значение вертикальной силы на участке, а средняя величина, рассчитанная по трем минимальным значениям вертикальной силы на каждом колесе вагонов, находящихся в сцепе.

Видно, что увеличение уклона длинной неровности ведет к риску обезгрузки тележки вагона. Таким образом, можно сделать вывод, что наибольшую опасность для движения поездов в режиме тяги представляют длинные неровности с большой амплитудой отклонений, уклон которых превышает значение 5‰.

То, как влияет изменение силы тяги на динамику грузовых вагонов, находящихся в составе поезда и проходящих по длинным неровностям продольного профиля, также можно оценить по показателю вертикальной силы.

В процессе моделирования варьировалась величина продольных сил в автосцепках вагонов, характеризующая увеличение и уменьшение тяги. Как упоминалось выше, величина продольной силы в автосцепках вагонов в середине поезда составляет согласно расчету примерно 500 кН. Для выявления степени влияния силы тяги это значение уменьшалось последовательно на 15 и 50 % и затем так же увеличивалось — на 15 и 50 %.

На рис. 8 представлена экспоненциальная зависимость минимального значения вертикальной силы от величины продольных сил в автосцепках вагонов в середине поезда. В этом случае минимальная вертикальная сила рассчитывалась по трем минимальным зарегистрированным значениям для каждого колеса вагона.

Из рисунка видно, что при росте продольных сил в автосцепках вагонов с 250 до 750 кН минимальная вертикальная сила, удерживающая колесо на рельсе, уменьшается в 3,7 раза.

Интересно, что среднее значение вертикальной силы при любых значениях продольных сил

в автосцепках остается стабильным — на уровне 124 кН, однако среднее квадратичное отклонение значений вертикальной силы возрастает с увеличением продольных сил в автосцепках (рис. 9).

Выводы. Проведенный анализ показал, что в условиях движения тяжеловесного поезда на подъеме в режиме максимальной тяги при прохождении серединой состава длинной неровности, как это имело место в трех рассмотренных случаях сходов на сети железных дорог, может возникнуть частичная обезгрузка тележки, приводящая к возникновению условий, способствующих сходу подвижного состава. При этом наихудшие показатели динамического взаимодействия пути и подвижного состава для всех трех рассмотренных случаев были получены в местах наиболее высоких по амплитуде пиков длинных неровностей, что обосновывает актуальность исследований влияния наличия коротких неровностей продольного профиля на фоне возникновения длинных.

Рассчитанные показатели взаимодействия пути и подвижного состава имели следующие значения:

- максимальные значения процента обезгрузки пружин рессорного подвешивания грузовых вагонов лежали в диапазоне от 22 до 37 % на разных участках, а средние значения процента обезгрузки — в диапазоне от 16 до 28 %;
- минимальные значения вертикальной силы достигали 3 кН, а в целом ее минимальные значения лежали в диапазоне от 3 до 76 кН, средние значения — в диапазоне от 27 до 91 кН;
- рост продольных сил в автосцепках вагонов с 250 до 750 кН уменьшает минимальную вертикальную силу, удерживающую колесо на рельсе, в 3,7 раза;
- значения коэффициентов, характеризующих устойчивость колеса на рельсе, лежали в пределах допустимых значений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Деформативность пути на участках обращения тяжеловесных поездов / В. О. Певзнер [и др.] // Железнодорожный транспорт. 2019. № 9. С. 36–41.
2. Модель деформируемости грунтового основания железнодорожного пути при пропуске длиннооставных поездов / В. П. Соловьёв [и др.] // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Математическое моделирование физических процессов. 2019. № 3. С. 84–89.
3. Чечельницкий А. И. Технологии устранения длинных профильных просадок // Путь и путевое хозяйство. 2021. № 3. С. 2–7.
4. Влияние длинных неровностей продольного профиля на безопасность движения в условиях интенсификации перевозочного процесса / Певзнер В. О. [и др.] // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2020. Т. 79. № 5. С. 271–275. DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2020-79-5-271-275>.
5. Яновский А. С. На 126-м заседании Объединенного ученого совета ОАО «РЖД» // Путь и путевое хозяйство. 2021. № 7. С. 33–34.
6. Жуковский Н. Е. Сила тяги, время в пути и разрывающие усилия в тяговом приборе и сцепке при ломаном (резко переменном) профиле // Полное собрание сочинений. М.; Л., 1937. Т. 8. С. 256–268.
7. Вершинский С. В., Данилов В. Н., Челноков И. И. Динамика вагона: учеб. для вузов ж.-д. транспорта. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Транспорт, 1978. 352 с.
8. Блохин Е. П., Манашкин Л. А. Динамика поезда (нестационарные продольные колебания). М.: Транспорт, 1982. 222 с.
9. Максимов В. Н. Силы, действующие на вагон на сортировочных горках // Вестник ВНИИЖТ. 1963. № 4. С. 36–40.

10. Вершинский С. В., Данилов В. Н., Хусидов В. Д. Динамика вагона / под ред. С. В. Вершинского. М.: Транспорт, 1991. 360 с.
11. Блохин Е. П., Коротенко М. Л., Клименко И. В. Графическое представление критерия Надаля // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна. 2010. № 35. С. 7–9.
12. Tyrell D., Weinstock H., Greif R. Wheel Unloading of Rail Vehicles Due to Track Twist: Final Report. 1986 [Электронный ресурс] / Transportation Systems Center Cambridge. [60 p.]. URL: <https://railroads.dot.gov/elibrary/wheel-unloading-rail-vehicles-due-track-twist> (дата обращения: 06.09.2021 г.).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

СИДОРОВА Елена Анатольевна,

канд. техн. наук, старший научный сотрудник, научный центр «Путевая инфраструктура и вопросы взаимодействия колесо—рельс», АО «ВНИИЖТ»

ПЕВЗНЕР Виктор Ошеревич,

д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник, научный центр «Путевая инфраструктура и вопросы взаимодействия колесо—рельс», АО «ВНИИЖТ»

ЧЕЧЕЛЬНИЦКИЙ Александр Иванович,

заместитель начальника Дирекции диагностики и мониторинга инфраструктуры Центральной дирекции инфраструктуры — филиала ОАО «РЖД»

Статья поступила в редакцию 08.09.2021 г., первая рецензия получена 22.10.2021 г., вторая рецензия получена 03.11.2021 г., принята к публикации 26.11.2021 г.

Для цитирования: Сидорова Е. А., Певзнер В. О., Чечельницкий А. И. Показатели силового взаимодействия пути и подвижного состава при движении грузового вагона по длинным неровностям с учетом действия продольных сил // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2021. Т. 80. № 6. С. 359–365. DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-6-359-365>.

Indicators of the force interaction of the track and rolling stock when a freight car runs on long irregularities, taking into account the action of longitudinal forces

E. A. SIDOROVA¹, V. O. PEVZNER¹, A. I. CHECHEL'NITSKIY²

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

² Directorate for diagnostics and monitoring of infrastructure of the Central Directorate of Infrastructure — Branch of JSC Russian Railways, Moscow, 107174, Russia

Abstract. Authors describe formation mechanism of long irregularities of the railway track and the importance of their elimination for the track facilities. Based on the results of freight train operation modeling on long irregularities in the traction mode, an analysis of the processes occurring during the motion of heavy trains along a track with such deviations was carried out, modeling was carried out on the basis of the "Universal Mechanism" software package. Based on the results of the calculation, interaction between the track and the rolling stock in the vertical plane was assessed in terms of the magnitude of the vertical force and coefficients: dynamics, stability margin, Nadal, unloading (in percent) of axle springs of freight car springs. Article analyzes the nature of the influence of the irregularity slope on the decrease in the vertical force transmitted from the wheel to the rail and the change in the traction force on the dynamics of freight cars in the train and

passing on long irregularities of the longitudinal profile through the indicators of the vertical force.

Keywords: railway track; long irregularities in the longitudinal profile; longitudinal forces; traction force; unloading; vertical force

DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-6-359-365>

REFERENCES

1. Pevzner V. O., Lisitsyn A. I., Grin' E. N., Tret'yakov V. V., Petropavlovskaya I. B., Gromova T. I. *Deformativnost' puti na uchastkakh obrashcheniya tyazhelovesnykh poezdov* [Deformability of the track on the sections of the circulation of heavy haul trains]. *Zheleznodorozhnyy transport*, 2019, no. 9, pp. 36–41.
2. Solov'ev V. P., Anisin A. V., Anisina I. M., Nadezhin S. S., Zheleznov M. M., Pevzner V. O., Tret'yakov I. V. *Model' deformirue-*

mosti gruntovogo osnovaniya zhelezнодорожного пути при пропуске длинноостановочных поездов [Model of deformability of the soil base of a railway track when passing long-train trains]. *Voprosy atomnoy nauki i tekhniki. Seriya: Matematicheskoe modelirovanie fizicheskikh protsessov*, 2019, no. 3, pp. 84–89.

3. Chechel'nitskiy A. I. *Tekhnologii ustraneniya dlinnykh profil'nykh prosadok* [Technologies for eliminating long profile sagging]. *Railway Track and Facilities*, 2021, no. 3, pp. 2–7.

4. Pevzner V. O., Chechel'nitskiy A. I., Shapet'ko K. V., Sidorova E. A., Slastenin A. Yu. *Vliyaniye dlinnykh nerovnostey prodol'nogo profilya na bezopasnost' dvizheniya v usloviyakh intensivatsii perevoznogo protsessa* [Influence of long irregularities of the longitudinal profile on traffic safety under conditions of intensification of the transportation process]. *VNIIZHT Scientific Journal*, 2020, Vol. 79, no. 5, pp. 271–275. DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2020-79-5-271-275>.

5. Yanovskiy A. S. *Na 126-m zasedanii Ob"edinennogo uchenogo soveta OAO "RZhD"* [At the 126th meeting of the Joint Scientific Council of JSC Russian Railways]. *Railway Track and Facilities*, 2021, no. 7, pp. 33–34.

6. Zhukovskiy N. E. *Sila tyagi, vremya v puti i razryvayushchie usilya v tyagovom pribore i stepke pri lomanom (rezko peremennom) profile* [Traction force, travel time and breaking forces in the traction device and coupling with a broken (sharply variable) profile]. *Polnoe sobranie sochineniy* [Complete works]. Moscow, Leningrad, 1937, Vol. 8, pp. 256–268.

7. Vershinskiy S. V., Danilov V. N., Chelnokov I. I. *Dinamika vagona* [Dynamics of the car]. *Ucheb. dlya vuzov zh.-d. transporta. Izd. 2-e, pererab. i dop* [Textbook for universities of railway transport. 2nd edition, revised and enlarged]. Moscow, Transport Publ., 1978, 352 p.

8. Blokhin E. P., Manashkin L. A. *Dinamika poezda (nestsionarnye prodol'nye kolebaniya)* [Train dynamics (non-stationary longitudinal vibrations)]. Moscow, Transport Publ., 1982, 222 p.

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

9. Maksimov V. N. *Sily, deystviyushchie na vagon na sortirovochnykh gorkakh* [Forces acting on the car on the yard humps]. *Vestnik VNIIZHT* [Vestnik of the Railway Research Institute], 1963, no. 4, pp. 36–40.

10. Vershinskiy S. V., Danilov V. N., Khusidov V. D. *Dinamika vagona* [Car dynamics]. Moscow, Transport Publ., 1991, 360 p.

11. Blokhin E. P., Korotenko M. L., Klimenko I. V. *Graficheskoe predstavlenie kriteriya Nadalya* [Graphic representation of the Nadal criterion]. *Visnik Dnipropetrovs'kogo natsional'nogo universitetu zaliznichnogo transportu im. akademika V. Lazaryana* [Bulletin of the Dnipropetrovsk National University of Retail Transport n. a. Academician V. Lazaryan], 2010, no. 35, pp. 7–9.

12. Tyrell D., Weinstock H., Greif R. *Wheel Unloading of Rail Vehicles Due to Track Twist: Final Report. 1986*. Transportation Systems Center Cambridge, 60 p. URL: <https://railroads.dot.gov/elibrary/wheel-unloading-rail-vehicles-due-track-twist> (retrieved on 06.09.2021).

ABOUT THE AUTHORS

Elena A. SIDOROVA,

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

Viktor O. PEVZNER,

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

Aleksander I. CHECHEL'NITSKIY,

Deputy Head of the Directorate for diagnostics and monitoring of infrastructure of the Central Directorate of Infrastructure — Branch of JSC Russian Railways

Received	08.09.2021
First review received	22.10.2021
Second review received	03.11.2021
Accepted	26.11.2021

For citation: Sidorova E. A., Pevzner V. O., Chechel'nitskiy A. I. Indicators of the force interaction of the track and rolling stock when a freight car runs on long irregularities, taking into account the action of longitudinal forces // *Russian Railway Science*. 2021. 80 (6): 359–365 (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-6-359-365>.

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.

Журналу ВНИИЖТ — 80 лет! Часть I. Военные годы

А. Б. КОСАРЕВ, О. Н. РИМСКАЯ, И. В. АНОХОВ, И. В. СИРОТЕНКО

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

Аннотация. Развитие железнодорожной отрасли зависит от труда многих инженеров и ученых, которые осваивают передовые технические и технологические рубежи. Результаты их труда требуют экспериментальной проверки на местах силами специалистов, техников и инженеров. В то же время при системной постановке дела проведению экспериментов должны предшествовать обсуждение и научная дискуссия. Заочным форматом такой дискуссии призван служить научно-технический журнал.

В 2022 году наш журнал будет отмечать 80-летие. Он был создан распоряжением Политуправления Народного комиссариата путей сообщения СССР в 1942 г., в самый разгар Великой Отечественной войны. Государство возложило на наш журнал очень важную миссию — концентрация и распространение опыта восстановления поврежденных путей сообщения и выработка новых технологий железнодорожной транспортировки военных грузов и личного состава. Такая предельная практическая направленность и острая нужда в эмпирических знаниях отразилась и на выборе первоначального названия журнала — «Техника железных дорог».

С момента создания журнала сотрудники редакции стремились выполнять возложенную на него миссию и поддерживать высокий уровень отечественной железнодорожной науки.

В восьмидесятилетней истории журнала ВНИИЖТ можно выделить несколько этапов. В данной статье представлен анализ первого этапа — этапа военных лет.

Ключевые слова: научный журнал; техника железных дорог; Вестник ВНИИЖТ; ЦНИИ; МПС

Введение. Журнал был создан приказом директора Всесоюзного научно-исследовательского института железнодорожного транспорта от 1 июня 1942 г. в соответствии с распоряжением Политуправления Народного комиссариата путей сообщения СССР и первоначально носил название «Техника железных дорог», которое сохранялось вплоть до 1956 г. (фото 1).

На момент своего создания журнал «Техника железных дорог» был, по сути, единственным техническим журналом на железнодорожном транспорте, потому что другой журнал — «Железнодорожный транспорт» — нельзя было «назвать техническим журналом, это скорее экономический журнал или технико-экономический журнал» [1, с. 1]. Таким образом, созданный в 1942 г. журнал ВНИИЖТ «закрывал» целый пласт железнодорожной науки, соединяя научную теорию и инженерную практику.

Журнал стал органом, с помощью которого институт доносил до специалистов, ученых и руководителей

отрасли результаты своих научных работ для железнодорожного транспорта, выполнявшего жизненно важные для страны задачи военного времени.

Директор института Тигран Сергеевич Хачатуров полагал, что журнал «Техника железных дорог» по своему профилю соответствовал ведущим журналам других отраслей, таких как журналы «Электричество», «Сталь», «Горный журнал». Журнал «Техника железных дорог» — это «тип советского научно-технического журнала, рассчитанный на инженерно-научных работников, на работников высокой квалификации» [1, с. 2]. В то же время редакция пыталась представить журнал как «трибуну передовой научно-исследовательской мысли», не рассматривая его «только как внутренний орган Научно-исследовательского института» [1, с. 1].

Редакция ставила задачей журнала освещение основных вопросов научно-исследовательской работы и достижений производства в отрасли:

- обеспечения бесперебойной работы железных дорог в условиях военного времени;
- форсированного строительства и восстановления сооружений и устройств железнодорожного транспорта;
- повышения срока службы деталей подвижного состава, механизмов и оборудования;
- организации развертывания местных производственных баз и ресурсов для нужд железнодорожного транспорта и пр.

Журнал был рассчитан на научных работников и инженеров-производственников железнодорожного транспорта, а также преподавателей и студентов транспортных вузов.

Техника железных дорог. Ташкент, ул. Гоголевская, д. 108. Здесь в 1942 г. в здании Управления Ташкентской железной дороги информационно-издательской группой эвакуированного из Москвы Центрального научно-исследовательского института Народного комиссариата путей сообщения СССР (прежнее название Всесоюзного научно-исследовательского института железнодорожного транспорта) был издан первый выпуск (№ 1–2) нашего журнала с названием «Техника железных дорог» (фото 2).

Появление журнала в суровое военное время свидетельствовало об исключительно важном значении,

которое государство придавало восстановлению и развитию железнодорожного транспорта. Именно благодаря железным дорогам, связавшим между собой главные экономические районы страны, в которые были эвакуированы крупные производственные предприятия, сохранилась целостность всего народнохозяйственного комплекса, было обеспечено непрерывное снабжение армии техникой и вооружением.

Коллективом института в короткое время было создано первое в стране периодическое научное издание, в котором на научной основе разбирались проблемы железнодорожного транспорта и предлагались методы их решения. Необходимость такого издания была продиктована дефицитом квалифицированных кадров и требованиями оперативного распространения полезного опыта в военной обстановке.

У истоков журнала стояли крупнейшие ученые железнодорожного транспорта, академики Академии наук СССР Тигран Сергеевич Хачатуров (фото 3) и Сергей Петрович Сыромятников (фото 4).

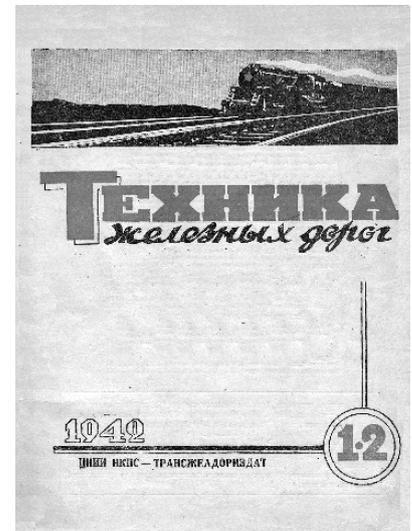
В момент создания журнала завершалась военная операция по разгрому гитлеровских войск под Москвой, положение на фронтах оставалось тяжелым. Тем не менее тематика статей была очень оптимистичной, между строк читается уверенность в скорой победе.

Первый выпуск открывается передовой статьей «Боевые задачи транспортной науки», в которой редакция заявляла, что необходима «боевая перестройка на военный лад всей системы Советского государства. Все силы страны должны быть сконцентрированы для скорейшей победы над врагом и для быстрейшего восстановления народного хозяйства в отдельных районах нашей любимой Родины, освобождаемых от немецких оккупантов... Не может быть сейчас более почетных задач для советской науки, как оказание активной помощи фронту. Тематика каждого советского работника науки должна быть подчинена интересам этого дела, вся научная деятельность наших исследовательских институтов должна вытекать из боевых задач Красной армии, предъявляющих огромные требования к транспорту, промышленности и сельскому хозяйству» [2, с. 1].

В статье выделяется круг первоочередных задач железнодорожного транспорта: «...дальнейшее обеспечение бесперебойных перевозок в тылу и на фронте, быстрое восстановление разрушенных участков и целых линий, экономное расходование металла, топлива, дефицитных материалов, предельное использование местных и внутренних ресурсов. В то же время нельзя забывать и неотложных задач серьезной подготовки к предстоящему в самом ближайшем будущем воссозданию и капитальному восстановлению разрушенных участков железнодорожной сети и реконструкции всех отраслей железнодорожного хозяйства на новой технической базе» [2, с. 1]. Одновременно с этим признается

Фото 1. Обложка первого выпуска журнала

Photo 1. Cover of the first issue of the journal



и необходимость новых усилий: «Транспортная наука в большом долгу перед железнодорожным транспортом. Ряд важнейших проблем — экономии топлива на паровозах, усовершенствования подвижного состава, безогневой заправки паровозов, механизации погрузочно-разгрузочных работ и многие другие проблемы разрабатывались годами и исключительно медленно внедрялись в практику работы железных дорог» [2, с. 1–2].

В таком же духе написана и вторая статья из этого номера журнала на тему «Этапность восстановления железных дорог», подготовленная членом-корреспондентом Академии наук СССР



Фото 2. Здание Управления Ташкентской железной дороги, в котором временно располагался Центральный научно-исследовательский институт Народного комиссариата путей сообщения СССР (Ташкент, ул. Гоголевская, д. 108)

Photo 2. Building of the Tashkent Railway Administration, which temporarily housed the Central Research Institute of the USSR People's Commissariat of Railways (Tashkent, Gogolevskaya st., 108)



Фото 3. Т. С. Хачатуров, выдающийся ученый-экономист, д-р экон. наук, профессор, академик АН СССР (1906–1989)

Photo 3. T. S. Khachaturov, an outstanding scientist-economist, Doctor of Economics Sciences, Professor, Academician of the USSR Academy of Sciences (1906–1989)



Фото 4. С. П. Сыромятников, крупный ученый в области паровозостроения и теплотехники, д-р техн. наук, профессор, академик АН СССР, заслуженный деятель науки и техники РСФСР, лауреат Государственной премии СССР (1891–1951)

Photo 4. S. P. Syromyatnikov, a prominent scientist in the field of steam locomotive construction and heat engineering, Dr. Tech. Sciences, Professor, Academician of the Academy of Sciences of the USSR, Honored Worker of Science and Technology of the RSFSR, Laureate of the State Prize of the USSR (1891–1951)

А. В. Гориновым. Он отмечает маневренный характер войны и исключительное значение железнодорожных путей сообщения для успешных военных действий. В этой связи Научно-исследовательским институтом железнодорожного транспорта была проведена «большая работа по установлению методов использования деформированного рельсового и мостового металла и по изучению технических свойств этого металла после его исправления. Уже законченные в значительной степени лабораторные исследования этого вопроса доказали полную возможность широкого использования металла после правки не только изогнутых, но и скрученных рельсов» [3, с. 6].

Второй выпуск журнала открывала статья академика Академии наук СССР В. Н. Образцова на тему «Методы ликвидации последствий перерывов и задержек движения поездов», а также программная статья А. В. Горинова «Развернуть научную работу на железных дорогах». В целом публикации 1940-х гг. отличаются своей предельной практичностью и детальностью описаний, позволяющими читателю непосредственно применять технологии в деле. За теоретическими выкладками обязательно следовали инструкции по использованию: пошаговый алгоритм восстановления железнодорожных объектов без обычных для ны-

нешних статей выводов и списка литературы. Типичные названия статей, диктуемые тяжелой обстановкой того времени: «Заменители вагонных смазок», «Чем заменять дефицитные антинакипины?», «Повышение мощности паровых вертикальных котлов», «Опыт повторного восстановления разрушенного моста» и др.

Редакция стремилась обеспечить «целестремленность каждого номера нашего журнала» [1, с. 1], выстраивая его так, чтобы он был интересен для работников всех сфер железнодорожного хозяйства. В одном номере могли быть статьи по паровозам, вагонам, путевому хозяйству, механизации и др. Появлялись все новые рубрики: «Обмен опытом», «Изобретательство и рационализация», «Книжная полка», «За рубежом», «По страницам иностранных журналов», «Информация и хроника», «Критика и библиография», «Новинки технической литературы», «В отделениях и лабораториях ЦНИИ НКПС», «Письма с линии», «По научно-корреспондентским пунктам ЦНИИ».

Редакция журнала пыталась найти собственный формат и стиль, что выразилось в том числе и в изменении обложек номеров журнала за военные годы (фото 5).

Даже в обстановке военного времени предпринимались попытки организовать на страницах журнала научную дискуссию. Так, по ряду статей дополнительно печатались материалы с замечаниями и дополнениями редакции, в которых она выражала свое мнение (фото 6).

Фактически заметки «От редакции» выполняли функцию рецензирования, так как в условиях военного времени привлечь рецензентов к полноценной оценке статей не всегда было возможно.

В целом журнал непрерывно перестраивался. «Если прежде материал, печатавшийся в журнале, носил в значительной мере случайный характер, темы, которые печатались в одном номере, были мало друг с другом связаны» [1, с. 2], то далее выпуски стали более акцентированными — в одном номере подбиралось 3–4 статьи по схожим объектам исследования, например: вопросы путевого хозяйства, механизация, резервы и др.

Если та или иная статья вызывала спор, то в одном из номеров могла помещаться дискуссионная или даже критическая статья. Кроме того, нередко редакция помещала примечание о несогласии с автором [1, с. 10].

Регулярно обсуждался вопрос о стимулировании авторов статей. Авторы статей, напечатанных в журнале «Техника железных дорог», получали гонорар, величина которого зависела от объема статьи. Член редколлегии Е. В. Михальцев отмечал: «В прежние годы печатался во всех журналах, но я не очень твердо представляю период, когда бы там ничего не платили. Наша позиция все время такая, что гонорар не



Фото 5. Обложки журнала «Техника железных дорог» военных лет
 Photo 5. Covers of the journal “Railways Engineering” of the war years

рассматривается как источник заработка» [1, с. 16]. Вместе с тем предлагалось: «...к статьям редакция должна подходить более требовательно..., чтобы были конкретные выводы, которые давали бы возможность направлять работу людей» [1, с. 17].

Задача, которая решалась редакцией с переменным успехом, — это привлечение авторов из сферы практического производства. Т. С. Хачатуров обращал

внимание на совещании редколлегии журнала: «Мы ищем на производстве постановки и иногда решения именно серьезных технических вопросов, которые были бы интересны работникам высокой квалификации, на которых рассчитан наш журнал. Мы считаем, что наука творится не только в стенах института, она творится на производстве, источники производства заслуживают внимания научных работников, и это

ОТ РЕДАКЦИИ

Центральное управление движения НКПС, рассмотрев предложение бригады ЦНИИ, которое описано в статье инж. Б. В. Боцманова, считает, что вопрос об упорядочении информации о подходах поездов на дорогах поставлен правильно и своевременно. Предложенная бригадой ЦНИИ информационная карточка взамен телеграммы-натурки значительно облегчает передачу необходимых сведений по телеграфу, но, по мнению Управления движения, карточка всё же полностью не заменяет телеграмму-натурку и может быть использована для информации между отделениями движения и как краткая информация для оперативного планирования работы составителей по формированию поездов.

Редакция ожидает отзывов с мест по затронутому вопросу.

ОТ РЕДАКЦИИ

Попытка определения истинных значений температур в паровой топке опытным путём, произведённая П. А. Гурским впервые в нашей паровой теплотехнике, представляет большой интерес и имеет практическое значение. Следует лишь отметить, что введение только однократного экранирования термомпар полностью не исключает ошибок в показаниях термомпар. Указанное обстоятельство следует учесть в дальнейших исследованиях в этой области.

ОТ РЕДАКЦИИ

Критерий оптимального срока службы паровозов, предложенный автором, не учитывает влияния отдалённости капитальных затрат и эксплуатационных расходов. Если отнестись расходы к начальному моменту расчёта, условие минимума приведённых расходов за весь период эксплуатации паровоза выразится:

$$S_{кан} + S_{р,м} = \frac{A}{n} \left[\int_0^n \frac{dt}{t \Delta t} + \Delta \int_0^n \frac{(n-t) dt}{t \Delta t} \right] + \int_0^n \frac{R_t dt}{t \Delta t} = \text{минимум,}$$

где A — стоимость паровоза; R_t — стоимость ремонта t -го года; n — срок службы паровоза; Δ — норма увеличения воспроизводства основных фондов народного хозяйства.

Учёт отдалённости капитальных затрат и эксплуатационных расходов должен привести к некоторому удлинению оптимального срока службы паровоза.

ОТ РЕДАКЦИИ

Вопрос о правильном выборе размеров конусных насадков весьма актуален и требует серьёзного внимания работников железнодорожного транспорта. В публикуемой статье А. В. Касьянова приведены материалы по этому вопросу в условиях сжигания подмосковных углей.

Соглашаясь с конечными выводами автора, редакция отмечает, что изменение к. п. д. котла в 13% (относительных) при сравнительно незначительной разнице в размерах конусных насадков ($d = 60 \div 63 \text{ мм}$) представляется мало вероятным; очевидно, существенное влияние здесь оказало и качество угля.

Фото 6. Заметки «От редакции»
 Photo 6. Notes “From the Editorial Staff”

Советские железнодорожники! Самоотверженной и четкой работой обеспечивайте успех наступления Красной армии! Организуйте быстрое продвижение поездов с войсками, военными и народнохозяйственными грузами! Неустанно крепите воинскую дисциплину на железных дорогах! Быстрее восстанавливайте разрушенные немцами железнодорожные пути, мосты и постройки, водоснабжение и связь!

[Из призывов ЦК ВКП(б) к 1 мая 1944 г.]

Фото 7. Воспитательная функция журнала военных лет
Photo 7. Educational function of the journal of the war years

желательно отражать на страницах нашего журнала» [1, с. 3].

Журнал выполнял не только научно-просветительскую функцию, но и воспитательную (фото 7).

От военных лет к периоду восстановления. Завершение Великой Отечественной войны и переход к восстановлению страны потребовали и обновления политики журнала. Редакция пришла к выводу, что журнал должен носить не узко институтский характер, а отражать достижения всей железнодорожной науки страны в целом. Членами редколлегии в разных формах подчеркивалось, что «журнал «Техника железных дорог» все-таки должен быть журналом, который представлял бы трибуну передовой научно-исследовательской мысли. Мы считаем, что этот журнал не должен являться только журналом Научно-исследовательского института» [1, с. 17].

Кроме того, признавалось необходимым «ставить теоретические и технические проблемы, которые ждут своего разрешения и у нас в пределах Института, и в других научно-исследовательских органах» [1, с. 2]. Вместе с тем член редколлегии М. Т. Членов отмечал, что «надо писать так, чтобы побольше было мысли, поменьше философии и поменьше рассуждений. Тогда имелась бы возможность помещать больше статей в том же журнале» [1, с. 14]. Тем не менее благодаря принципиальной позиции руководства института, а также других членов редколлегии удалось отстоять научный характер журнала «Техника желез-

ных дорог», направление его развития как научного периодического издания.

Чрезвычайное внимание в послевоенный период уделялось библиографии статей, «чтобы каждый читатель знал, что он, просмотрев соответствующий отдел, знает все то серьезное и капитальное, что охватывает данную область» [1, с. 1].

Однако не у всех современников вызывала понимание политика журнала, объем и качество публикуемых материалов, способ подачи научных результатов. Так, в газете «Гудок» (выпуск № 138 (7119) от 13 ноября 1946 г.) вышла критическая статья А. Малухина «В стороне от важнейших вопросов технической политики» [4], посвященная работе журнала «Техника железных дорог» (фото 8).

Статья обращена к широкому кругу читателей, большая часть которых не держала в руках критикуемый журнал, и была написана в поучительном тоне: большинство замечаний начиналось со слов «нет», «отсутствует». Появление такой статьи можно понимать как косвенное выражение недовольства публикациями в журнале со стороны руководства Министерства путей сообщения.

Вот основные тезисы статьи А. Малухина:

- «Журнал оторван от жизни министерства, округов, дорог. Для него характерны случайность и отвлеченность тематики. Статьи посвящены узко производственным, цеховым вопросам». В качестве примера приводится статья В. Н. Данилова [5], А. Е. Аснина и др.
- «Нет передовых статей. Очень скупое, камерное обсуждение важных тем. Нет дискуссий по техническим вопросам». (Публикация мнений редакции и рецензентов, о чем было сказано выше, — это и есть дискуссия. Превращение же любого журнала в трибуну для споров на научно-технические темы не принято по принципиальным соображениям даже сейчас, 75 лет спустя.)

- «Освещение иностранного опыта — нет творческого отбора технических образцов, приводятся показатели без учета пороков капиталистической системы. Советская техника оказывается изображаемой в кри-вом зеркале».



Фото 8. Статья А. Малухина в газете «Гудок» (выпуск № 138 (7119) от 13 ноября 1946 г.)

Photo 8. Article by A. Malukhin in the newspaper "Gudok" (issue No. 138 (7119) of November 13, 1946)



В. Ф. Егорченко,
д-р техн. наук, профессор
(1892–1952)



Т. С. Хачатуров,
1945 г.



Н. П. Шапов,
выдающийся ученый в области
транспортного металловедения и
сопротивления материалов,
заслуженный деятель науки и
техники РСФСР,
д-р техн. наук, профессор
(1896–1968)

Егорченко В. Ф.: Что касается содержания (журнала), я против ничего не имею. Полагаю, что содержание очень хорошее.

Хачатуров Т. С.: А Вы читали статью в «Гудке», в которой предъявлен ряд серьезных обвинений?

Егорченко В. Ф.: Статья неправильная. Меня пугает, что имеется конкуренция между двумя журналами (имеются в виду журналы «Техника железных дорог» и «Железнодорожный транспорт» – прим. авт.). Я не вижу в статье того, что можно было бы взять и подправить наш журнал. Я полезного там не нашел ничего.

Шапов Н. П.: Мне кажется, не стоит на эту статью возражать по пунктам. Это было бы сделать очень легко, ибо она, надо прямо сказать, слаба в том отношении, что она чрезвычайно уязвима. <...> Мне кажется, что основная ее ошибка в том, что автор, хотя об этом не говорится, но сознательная или бессознательная цель автора – это добиться того, чтобы этот журнал перестал быть органом Института. <...> И вот моя точка зрения такова, что основным дефектом нашего журнала является то, что он слишком мало похож на орган Института, и даже слишком много похож на тот журнал, который хотел бы иметь автор статьи в «Гудке».

Фото 9. Фрагмент стенограммы совещания редколлегии, ноябрь 1946 г. [1, с. 5]
Photo 9. Fragment of the transcript of the editorial board meeting, November 1946 [1, p. 5]

• «Необъективность подхода к освещению новой отечественной техники, нет критики и самокритики». Здесь А. Малухиным приведен пример публикации «в хвалебном тоне» о результатах испытаний паровоза 1-5-0, при этом не был указан его конструктивный недостаток — неблагоприятное воздействие на путь при движении тендером вперед.

• Завершающий и главный тезис: «Основной авторский актив журнала — сотрудники института. Все, что принадлежит их перу, принимается редакцией безоговорочно. Научные споры, которые происходят за пределами ЦНИИ, находят в журнале одностороннее освещение: он отражает точку зрения лишь узкой группы специалистов».

В ноябре того же года состоялось совещание редколлегии журнала, посвященное содержанию журнала, его направленности, предложениям по повы-

шению качества журнала. Вел совещание главный редактор, директор института Т. С. Хачатуров.

В ходе обсуждения, конечно, затрагивались и вопросы, поднятые в публикации «Гудка» (фото 9).

На совещании Н. П. Шапов отметил, что конечно нужен железнодорожный журнал популярный, с широким охватом тем, но для этого не нужно закрывать наш журнал — орган института: «Это не означает, что в нем должны публиковаться работы только сотрудников. Возьмите, например, журнал «Техническая физика» одного из институтов Академии наук. <...> Каждый автор, у которого есть серьезные изыскания в своей области знаний, постарается опубликовать свой материал в этом журнале» [1, с. 6]. «Что нужно добиться в нашем журнале? Нужно добиться публикации подлинно научных статей. <...> Совершенно необходимо печатать статьи научно-теоретического

порядка. Нужно учиться излагать мысли коротко, как в статьях в лучших зарубежных журналах» [1, с. 6].

Н. П. Шапов, касаясь упомянутой статьи В. Н. Данилова, отметил, что «со взглядами тов. Данилова не согласен, считаю, что он идет не по правильному пути с точки зрения расчета рельсов, ... и все-таки я был страшно обижен и за себя, и за науку, и за свою дисциплину. Какая же статья более актуальная!» [1, с. 6].

В своем выступлении Н.П. Шапов обратил внимание и на дальнейшее развитие журнала и поставил вопрос о необходимости аннотирования статей, в том числе на иностранных языках, что выглядит крайне передовым для того времени (1946 г.): «Было бы очень хорошо давать аннотацию на одном из иностранных языков, потому что мы могли бы рассылать наш журнал, если это будет признано возможным, целому ряду различных заграничных организаций и получать в порядке обмена иностранную литературу, не затрачивая на это валюты» [1, с. 7]. Также он отметил чрезвычайную важность библиографии к статьям: «Библиографию, мне кажется, нужно помещать чрезвычайно серьезную» [1, с. 8] — и рекомендовал для помощи авторам в составлении библиографических ссылок создать специальный отдел с высококвалифицированными сотрудниками, знающими иностранные языки.

Как видим, редакцией журнала ставились задачи, которые вполне актуальны и сегодня. Более того, спустя 75 лет мы заново переосмысливаем и придаем все возрастающую важность и структурированию статей, и корректности библиографии, и аннотациям на английском языке.

И в наши дни справедливы слова Т. С. Хачатурова: «Нам нужно выше поднять научно-технический уровень журнала. Нам нужно смелее печатать статьи, которые широкому читателю могут показаться и не совсем понятными. Но наш журнал рассчитан на то,

чтобы двигать науку вперед, нам нужно не смущаться этим и подобно тому, как вы видите в других технических журналах, смелее печатать в нашем журнале теоретические статьи» [1, с. 4].

Заключение. Военный период задал вектор развития журнала на десятилетия вперед: ориентация на потребности страны, опережающее развитие железных дорог, превращение науки в практические результаты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стенограмма совещания редколлегии журнала «Техника железных дорог» от 25 ноября 1946 г. // РГА в г. Самаре. Ф. Р-129. Оп. 1–6. Ед. хр. 170. Л. 1–16.
2. Боевые задачи транспортной науки // Техника железных дорог. 1942. № 1–2. С. 1–3.
3. Горин А. В. Этапность восстановления железных дорог // Техника железных дорог. 1942. № 1–2. С. 4–7.
4. Малухин А. В стороне от вопросов технической политики // Гудок. 1946. 13 нояб. (№ 138). С. 3.
5. Данилов В. Н. Нелинейный расчет рельсов методом припасования // Техника железных дорог. 1946. № 2–3. С. 13–17.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

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

РИМСКАЯ Ольга Николаевна, канд. экон. наук, доцент, руководитель научно-образовательного комплекса, АО «ВНИИЖТ»

АНОХОВ Игорь Васильевич, канд. экон. наук, доцент, заместитель начальника, научно-издательский отдел, АО «ВНИИЖТ»

СИРОТЕНКО Игорь Васильевич, канд. техн. наук, научный редактор, научно-издательский отдел, АО «ВНИИЖТ»

Статья поступила в редакцию 22.11.2021 г., поступление рецензии 29.11.2021 г., принята к публикации 29.11.2021 г.

Для цитирования: Журналу ВНИИЖТ — 80 лет! Часть I. Военные годы / А. Б. Косарев [и др.] // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2021. Т. 80. № 6. С. 366–373. DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-6-366-373>.

VNIIZHT Scientific Journal celebrates 80th anniversary! Part I. The war years

A. B. KOSAREV, O. N. RIMSKAYA, I. V. ANOKHOV, I. V. SIROTENKO

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

Abstract. Development of the railway industry depends on the work of many engineers and scientists who master the advanced technical and technological frontiers. The results of their work require experimental verification by specialists, technicians and engineers in the field. At the same time, in a systematic setting of the case, the conduct of experiments should be preceded by discussion and scientific discussion. A scientific and technical

journal is intended to serve as an absentee format for such a discussion.

In 2022, our magazine will celebrate its 80th anniversary. It was created by the order of the Political Administration of the People's Commissariat of Railways of the USSR in 1942, in the midst of the Great Patriotic War. The state entrusted our journal with a very important mission — concentration and dissemination of expe-

rience in the restoration of damaged communication lines and development of new technologies for military freight and passenger railway transportation. This extreme practical orientation and an urgent need for empirical knowledge was reflected in the choice of the original name of the journal — “Railways engineering”.

Since the creation of the journal, the editorial staff have striven to fulfill the mission entrusted to it and to maintain a high level of domestic railway science.

Several stages can be distinguished in the eighty-year history of the VNIIZHT scientific journal. This article presents an analysis of the first stage — the stage of the war years.

Keywords: scientific journal; railway engineering; VNIIZHT Scientific Journal; Central Research Institute; Ministry of Railways

DOI: <https://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-6-366-373>

REFERENCES

1. *Transcript of the meeting of the editorial board of the journal “Railways Engineering” dated November 25, 1946.* Russian State Archive in Samara. F. R-129, Op. 1-6, unit hold. 170, sheet 1–16 (in Russ.).

2. *Boevye zadachi transportnoy nauki* [Combat tasks of transport science]. *Tekhnika zheleznykh dorog* [Railways Engineering], 1942, no. 1–2, pp. 1–3.

3. Gorinov A.V. *Etapnost' vosstanovleniya zheleznykh dorog* [Stages of restoration of railways]. *Tekhnika zheleznykh dorog* [Railways Engineering], 1942, no. 1–2, pp. 4–7.

4. Malukhin A. *V storone ot voprosov tekhnicheskoy politiki* [Aside from technical policy issues]. *Gudok*, 1946, no. 138, p. 3.

5. Danilov V.N. *Nelineynyy raschet rel'sov metodom pripasovaniya* [Nonlinear calculation of rails by the fit method]. *Tekhnika zheleznykh dorog* [Railways Engineering], 1946, no. 2–3, pp. 13–17.

ABOUT THE AUTHORS

Aleksander B. KOSAREV,

Dr. Sci. (Eng.), Professor, First Deputy General Director, JSC “VNIIZHT”

Ol'ga N. RIMSKAYA,

Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor, Head of the Scientific and Educational Complex, JSC “VNIIZHT”

Igor' V. ANOKHOV,

Cand. Sci. (Econ.), Associate Professor, Deputy Head, Scientific Publishing Department, JSC “VNIIZHT”

Igor' V. SIROTENKO,

Cand. Sci. (Eng.), Scientific Editor, Scientific Publishing Department, JSC “VNIIZHT”

Received 22.11.2021

Review received 29.11.2021

Accepted 29.11.2021

■ E-mail: Anokhov.Igor@vniizht.ru (I. V. Anokhov)

For citation: Kosarev A. B., Rinskaya O. N., Anokhov I. V., Sirotenko I. V. VNIIZHT Scientific Journal celebrates 80th anniversary! Part I. The war years // Russian Railway Science. 2021. 80 (6): 366–373 (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2021-80-6-366-373>.

ПОДПИСКА

«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. Информация о подписке размещена на сайте журнала www.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).

Содержание журнала «Вестник ВНИИЖТ» за 2021 год

№ 1

Обращение главного редактора	3
Автоматизация и управление технологическими процессами на железнодорожном транспорте	
М. И. Мехедов, Е. А. Сотников, П. С. Холодник, Д. А. Курсин, Н. В. Корниенко. Оптимизация условий организации движения соединенных поездов на постоянной основе на Транссибирской магистрали Восточного полигона сети железных дорог	4–12
Технические средства железнодорожного транспорта	
С. В. Малахов, М. Ю. Капустин. Метод построения адаптивного субоптимального стационарного регулятора движения поезда на основе искусственных нейронных сетей	13–19
А. Ю. Коньков, А. И. Трунов, А. Д. Гурьянова. Метод регулировки топливной аппаратуры тепловозного дизеля по характеристике тепловыделения в условиях эксплуатации	20–29
Г. М. Стоякин, А. В. Костин, С. Н. Науменко. Разработка системы кондиционирования с индивидуальным регулированием температуры и расхода воздуха в купе пассажирского вагона	30–34
Л. А. Герман. Повышение пропускной способности железной дороги с установкой компенсации реактивной мощности	35–44
Наука — транспорту	
Г. Л. Венедиктов, В. М. Кочетков. О регрессионном подходе к прогнозированию пассажирского спроса на железнодорожном транспорте	45–52
Е. Н. Ефимова, П. А. Шанченко, Е. В. Ершова. Определение предельной численности работников ОАО РЖД, занятых в перевозочной деятельности, при планировании мероприятий программ по повышению производительности труда	53–58

№ 2

Обращение главного редактора	63–64
Технические средства железнодорожного транспорта	
А. М. Бржезовский, О. А. Краснобаев, А. В. Спилов, И. Е. Ильин. О допускаемых скоростях движения порожних грузовых вагонов на тележках модели 18-100	65–75
А. Н. Скачков, С. Л. Самошкин, С. Д. Коршунов, Д. А. Никифоров, Д. А. Ромашов. Разработка и оценка комплекса исследований по повышению частоты изгибных колебаний кузовов современных пассажирских вагонов	76–85
В. А. Макаров. Новый стенд для испытаний на надежность окон и дверей пассажирских вагонов	86–90

Автоматизация и управление технологическими процессами на железнодорожном транспорте

Д. В. Шевченко. Методология построения цифровых двойников на железнодорожном транспорте	91–99
Д. Ю. Роменский, К. И. Шведин, А. М. Насыбуллин, М. В. Роменская. Критерии выбора железнодорожных станций для размещения грузовых терминалов по обработке контейнерных поездов «Холодный экспресс»	100–107
Организация и управление	
А. Ф. Бородин, И. Ф. Мустафин, К. Ю. Николаев. Принципы определения эффективных параметров организации движения поездов в пригородно-городском сообщении с учетом дифференциации классов транспортного обслуживания	108–117
И. М. Мазурин, С. Н. Науменко. Применение европейского опыта при замене гидрофторуглеродов в климатических установках на отечественном железнодорожном транспорте	118–123

№ 3

Технические средства железнодорожного транспорта

О. А. Суслов, Н. В. Рессина, А. В. Портнов, А. А. Новиков, В. А. Марийчук. Определение режимов нагружения для ресурсных испытаний железобетонных шпал на основе экспериментального измерения их напряженного состояния в условиях Экспериментального кольца, Щербинка	127–135
Е. А. Сидорова, Р. М. Куртиков. Анализ стабильности подуклонки как фактора, определяющего боковой износ рельсов	136–140
Г. И. Гаджиметов, А. А. Лунин, Г. И. Петров. К вопросу совершенствования методики подтверждения максимальной безопасной (конструкционной) скорости движения для грузовых вагонов	141–151
Р. В. Гучинский. Оптимизация конструкции кузова вагона электропоезда по значению частоты собственных колебаний	152–159
Д. А. Потахов. Система стабилизации платформы железнодорожного грузоподъемного крана	160–167
ВНИИЖТ: вчера, сегодня, завтра	
Л. А. Мазо, О. Ф. Мирошниченко, Е. Н. Ефимова. История и современность экономики железнодорожного транспорта в трудах ученых ВНИИЖТ	168–181
Книжные новинки	
Е. А. Шур. Энциклопедия знаний о дефектах рельсов: рецензия на книгу К.-О. Эделя, Г. Будницкого, Т. Шнитцера «Дефекты рельсов. Напряжения и повреждения». Том 1	182–185

№ 4

Технические средства железнодорожного транспорта

Е. Е. Коссов, В. В. Асабин, А. Г. Силюта, А. Н. Журавлев, Л. Е. Коссова. Пути решения проблемы перевода тепловозов на газообразное топливо 191–200

Н. В. Кузнецова, Е. А. Сидорова. Особенности влияния промежуточных рельсовых скреплений на эксплуатационную стойкость рельсов 201–208

К. М. Попов. Компенсация погрешности автомобильных емкостных датчиков уровня топлива при их использовании на специальном самоходном подвижном составе 209–215

В. Л. Незевак. Условия работы системы накопления электроэнергии в тяговом электроснабжении постоянного тока однопутных участков железных дорог 216–224

Автоматизация и управление технологическими процессами на железнодорожном транспорте

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

Экономика и управление

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

ВНИИЖТ: вчера, сегодня, завтра

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

№ 5

Автоматизация и управление технологическими процессами на железнодорожном транспорте

О. А. Суслов, В. И. Федорова. Перспективные подходы к прогнозному моделированию деградационных процессов элементов верхнего строения пути и их применение при создании цифровых двойников 251–259

Технические средства железнодорожного транспорта

Д. И. Балахонов, И. А. Макаров, М. В. Яранцев. Восстановление поверхности выпускного клапана методом плазменного напыления в сравнении с электродуговым и газопламенным методами 260–268

Л. А. Герман, Е. А. Донской, С. А. Капустин. Рациональная реконструкция постов секционирования контактной сети переменного тока на разъединителях 269–275

Ю. М. Кулинич, С. А. Шухарев, А. В. Гуляев. Повышение энергетической эффективности вспомогательных машин электровоза переменного тока 276–284

Экономика и управление

А. А. Пархаев, М. И. Мехедов, А. В. Хомов, И. В. Анохов. Подготовка кадров в области цифровой логистики и управления цепями поставок 285–292

О. Ф. Мирошниченко, А. Е. Огинская. Формирование показателей работы железнодорожного транспорта для расчета производительности труда 293–300

ВНИИЖТ: вчера, сегодня, завтра

А. Б. Косарев, О. Н. Римская, И. В. Анохов, А. В. Заручейский, Н. М. Горшков. Железнодорожная наука: итоги I Международной научно-практической конференции «Наука 1520 ВНИИЖТ: Загляни за горизонт» 301–314

№ 6

Технические средства железнодорожного транспорта

А. М. Бржезовский, Н. М. Волуйский. Условия эксплуатации вагонов-контейнеров в железнодорожных поездах специального формирования 319–326

Г. М. Волохов, С. В. Чунин, А. В. Ушанов. Методика оценки работоспособности бесстыкового пути по критерию соответствия действительной температуры закрепления рельса нормируемому значению 327–333

А. А. Локтев, В. В. Королев, И. В. Шишкина. Особенности оценки состояния и поведения низководных мостов 334–342

В. А. Никонов, В. Ф. Зубков, М. Н. Цибизов, И. В. Назаров, Д. В. Горский. Инновационная тормозная система скоростной 80-футовой платформы 343–350

Д. В. Овчинников, К. А. Кульгин. Аспекты проектирования и расчета железнодорожного пути, предназначенного для выделенных пассажирских линий 351–358

Е. А. Сидорова, В. О. Певзнер, А. И. Чечельницкий. Показатели силового взаимодействия пути и подвижного состава при движении грузового вагона по длинным неровностям с учетом действия продольных сил 359–365

ВНИИЖТ: вчера, сегодня, завтра

А. Б. Косарев, О. Н. Римская, И. В. Анохов, И. В. Сиротенко. Журналу ВНИИЖТ — 80 лет! Часть I. Военные годы 366–373

Содержание журнала

за 2021 год 374–375

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. Изложение материала должно быть ясным, логически выстроенным в следующей последовательности:

- индекс УДК (слева);

- название статьи, инициалы и фамилии авторов, место работы (полное название организации, страна, город, e-mail) на русском и английском языках;

- структурированная аннотация (150–200 слов) и ключевые слова (5–6 слов) на русском языке (перевод аннотации на английский язык не требуется);

- основной текст;

- список литературы (оформляется в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5–2008).

В тексте статьи ссылки на соответствующий источник списка литературы оформляется в квадратных скобках, пример: [1, с. 233].

3. Набор текста осуществляется в редакторе MS Word с использованием стандартного шрифта Times New Roman, размер шрифта (кегель) 12, межстрочный интервал — 1,5, все поля — 20 мм.

4. Авторские материалы принимаются в распечатанном виде, а также в электронном виде и через сайт журнала (по ссылке <https://vestnik.vniizht.ru/jour/author/submit/1>). Формулы следует набирать в редакторе MS Word (Equation Editor) или MathType без принудительного увеличения или уменьшения размера символов.

5. Список литературы должен состоять не менее чем из 10 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.

6. Рисунки и графики оформляются в черно-белом изображении, должны быть четкими и не требовать перерисовки. Рисунки и графики 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. Обязательно предоставление иллюстративного материала в электронном виде (форматы tif, psx, bmp, jpg, cdr, ai, eps, wmf).

7. Таблицы располагаются непосредственно в тексте статьи. Каждая таблица должна иметь заголовки. В таблицах обязательно указываются единицы измерения

величин. Ссылки в тексте на рисунки и таблицы обязательны.

8. Обозначения, принятые в статье, расшифровываются непосредственно в тексте.

9. 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.

10. 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.).

11. Автору (-ам) необходимо в конце статьи 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.

12. Все статьи проходят рецензирование. Рецензирование статей является анонимным и носит конфиденциальный характер: двойное «слепое» (автор и рецензент неизвестны друг другу).

13. Редакция оставляет за собой право производить редакционные изменения и сокращения, не искажающие основного содержания статьи.

14. Авторы несут ответственность за полноту и достоверность излагаемого материала, цитируемого текста, а также за публикацию заимствованного материала без ссылки на источник. За публикацию материалов, содержащих закрытые сведения, авторы несут персональную ответственность в соответствии с законодательством Российской Федерации.

15. Итоговое решение об одобрении или отклонении представленной в редакцию рукописи принимается редакционной коллегией научно-технического журнала «Вестник ВНИИЖТ» и является окончательным.

16. Публикация статей осуществляется на бесплатной основе.

17. Материалы, присланные в редакцию, обратно не высылаются.

Справки по телефонам: (495) 602-83-01, 602-80-37, e-mail: journal@vniizht.ru

Научно-методический вебинар «Как написать и где опубликовать статью?»

23 ноября 2021 года Научно-образовательный комплекс АО «ВНИИЖТ» провел научно-методический вебинар по теме «Как написать и где опубликовать научную статью? Новое в науке и образовании». В вебинаре приняли участие около 60 человек, в том числе сотрудники из научных институтов: Институт экономики и развития транспорта, Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте, Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава, Локотех и др.

Как отметила руководитель НОК Ольга Николаевна Римская, такие мероприятия нужны сотрудникам научных организаций, ученым, исследователям и аспирантам, поскольку требования к оценке научных организаций и критерии оценки научной деятельности ученых динамично изменяются, особенно в период цифровизации.

В ходе вебинара спикеры рассказали о:

- методиках оценке научной деятельности научных организаций и российских ученых;
- регистрации авторов научных публикаций и поиске информации в наукометрических базах Research Gate, Google Scholar, EBSCO, DOAJ, Центра научно-технической информации и библиотек ОАО РЖД;
- технологии подготовки и опубликования научной статьи;
- правилах подготовки и требованиях к современной монографии;
- журнале ВАК «Вестник ВНИИЖТ», которому исполняется в 2022 году 80 лет.

Научный редактор журнала И. В. Сиротенко рассказал об истории становления журнала и пригласил авторов опубликовать свои научные работы в старейшем журнале железнодорожной отрасли.

Круглый стол «Вопросы науки и образования – 2021» был посвящен

вопросам: законодательства, регулирующего деятельность аспирантуры, о программах дополнительного профессионального образования. Заведующий аспирантурой АО «ВНИИЖТ» В.П. Колесникович выступил по теме «Новое в законо-



дательстве об аспирантуре». Тема актуальна в настоящее время, поскольку Министерством науки и высшего образования Российской Федерации принят ряд законодательных документов, регулирующих организацию учебного процесса в аспирантуре и порядка выхода аспирантов на защиту кандидатских диссертаций.

Реализация программ дополнительного образования во ВНИИЖТ была освещена в докладе А.А. Пархеева, заместителя генерального директора АО «ВНИИЖТ» по управлению персоналом и социальным вопросам.



Руководитель НОК О.Н. Римская

О возможностях дополнительного профессионального образования в АО «ВНИИЖТ» рассказала Н.А. Хомова – ведущий сотрудник научного центра «Цифровые модели перевозок и технологии энергосбережения» (НЦ ЦМПЭ) АО «ВНИИЖТ» и куратор новой программы профессиональной переподготовки «Транспортная логистика». Центр ЦМПЭ в лице директора М.И. Мехедова подарил лучшим аспирантам аспирантуры АО «ВНИИЖТ» три сертификата на бесплатное обучение по программе «Транспортная логистика».

В конце вебинара Центр дополнительного профессионального образования АО «ВНИИЖТ» пригласил всех желающих пройти программы повышения квалификации и личного образовательного уровня.



Участники вебинара

Научная конференция
молодых учёных и аспирантов

«ПРОБЛЕМЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА»

28 апреля 2022 г.

Москва,
3-я Мытищинская ул., д. 10



Экономика железнодорожного транспорта



Управление процессами перевозок



Подвижной состав железных дорог



Тяга поездов и электроснабжение



Железнодорожный путь



Транспортное материаловедение и металловедение

Форма участия в работе конференции – выступление с докладом на секции продолжительностью 5-10 минут в очном или заочном (видеоконференция) формате. По материалам конференции предполагается издание сборника статей конференции. Отбор работ для опубликования в сборнике проводится Оргкомитетом конференции по результатам выступлений



ПОРЯДОК РАБОТЫ КОНФЕРЕНЦИИ

8:30	—	9:20	Регистрация участников конференции
9:30	—	10:00	Пленарное заседание
10:10	—	12:00	Работа секций конференции
12:00	—	12:30	Перерыв на обед
12:30	—	14:00	Продолжение работы секций конференции



Контактное лицо

Алексеева Арина
тел. +7 (499) 260-41-11 доб. 3-02-48
e-mail: alekseeva.arina@vniizht.ru