УДК 621.317.7

Владимир Николаевич Костюков, доктор технических наук, профессор, генеральный директор ООО НПЦ «Динамика», Омск,
Алексей Евгеньевич Цурпаль, научный сотрудник ООО НПЦ «Динамика», Омск,
Андрей Валерьевич Зайцев, научный сотрудник ООО НПЦ «Динамика», Омск

УСТАНОВКА ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВИБРАЦИИ УЗЛОВ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА В ЭКСПЛУАТАЦИИ

Vladimir Nikolayevich Kostyukov, DSc in Engineering, Professor, General Director of LLC NPC «Dinamika», Omsk,
Alexey Evgenyevich Tsurpal, Research Officer, LLC NPC «Dinamika», Omsk,
Andrey Valeryevich Zaytsev, Research Officer, LLC NPC «Dinamika», Omsk

A device for experimental studies of vibration of rolling stock components during operation

Аннотация

Представлены результаты разработки экспериментальной установки, применяемой в рамках комплексной программы исследования виброакустических процессов для получения данных о вибрации узлов механической части подвижного состава, работающего в реальных условиях эксплуатации. Установка обеспечивает возможность длительной непрерывной потоковой записи сигналов с первичных преобразователей, в частности с вибродатчиков, в полосе до 900 кГц.

Результаты анализа данных, полученных с помощью экспериментальной установки, положены в основу алгоритмов диагностирования агрегатов подвижного состава, реализованных в бортовых системах мониторинга технического состояния КОМПАКС®-ЭКСПРЕСС-3, которыми оснащается современный подвижной состав.

Ключевые слова: электропоезд, вибрация, мониторинг состояния, спектр.

Summary

The paper presents the results of development of an experimental device used within the framework of an integrated program of research of vibroacoustic processes to obtain data on vibration of mechanical components of rolling stock working in real operating conditions. The device enables prolonged continuous stream recording of signals from transmitters, in particular, from vibration sensors in the band to 900 kHz.

Results of the analysis of data obtained using the experimental device have been used as a basis for train component diagnosis algorithms, implemented in on-board condition monitoring systems COMPACS®-EXPRESS-3, installed on modern rolling stock.

Keywords: train, vibration, condition monitoring, spectrum.

Повышение безопасности и надежности транспортных систем, в том числе железнодорожного транспорта, все чаще ассоциируется с проведением периодического или непрерывного диагностирования технического состояния наиболее важных с этой точки зрения узлов подвижного состава. Понятие «непрерывное диагностирование» в современной литературе получило название «мониторинг технического состояния» [1].

Организация мониторинга технического состояния подвижного состава на практике далеко не тривиальная задача, но требующая обязательного решения. Например, для достижения динамической ошибки пропуска опасного состояния оборудования на уровне 1 % необходимо выполнять диагностирование с интервалом не более 2 ч, тогда как для ответственного оборудования подвижного состава приемлемый уровень ошибки составляет всего лишь 0,1 %, что требует постановки диагноза с интервалом 11 мин [2, 3].

Наибольшие трудности при организации такого мониторинга представляет автоматическое достоверное распознавание в реальном времени неисправного состояния узла подвижного состава на фоне сильных помех, которые непрерывно сопровождают процесс эксплуатации.

Наличие таких факторов, как переменные скоростные и нагрузочные режимы, периодические стыки и случайные неровности пути, стало основанием для формирования мнения о том, что объективная виброакустическая диагностика технического состояния роторного механического оборудования подвижного состава в процессе эксплуатации труднодостижима, а подчас и невозможна [4].

Цель настоящей работы — установить возможность достоверной оценки технического состояния узлов роторных агрегатов механической части подвижного состава в процессе эксплуатации при приемлемой стоимости единичного акта диагностирования. Для достижения этой цели требуется разработать программу экспериментальных исследований виброакустических

e-mail: post@dynamics.ru
Дата поступления: 10.04.2014

процессов, а также создать экспериментальную установку для измерения сигналов.

Один из важнейших элементов такой программы — получение сигналов вибрации с узлов подвижного состава в процессе эксплуатации с высокими точностными характеристиками, позволяющими охватить широкий спектр частот и амплитуд сигналов, порождаемых элементами узлов и агрегатов и их взаимодействием с железнодорожным полотном.

Для этого была разработана экспериментальная измерительная установка, отвечающая таким, в целом весьма противоречивым требованиям, как:

надежность работы при перепадах температуры, повышенной вибрации, неустойчивости питающего напряжения;

устойчивость первичных преобразователей (датчиков вибрации), устанавливаемых непосредственно на исследуемые узлы, к высоким динамическим нагрузкам, превышающим 100*g*;

высокие метрологические характеристики;

минимальное вмешательство в конструкцию подвижного состава;

автономная запись сигналов с первичных преобразователей, а также частоты вращения и параметров режима ведения поезда.

В основу установки заложен уникальный измерительный модуль 3541, разработанный и серийно выпускаемый НПЦ «Динамика» [5]. Он предназначен для измерения и аналого-цифровой обработки сигналов, в том числе виброакустических и акустоэмиссионных, передачи цифровых данных в систему их сбора по интерфейсу Ethernet. Модуль имеет 8 каналов аналого-цифрового преобразования с результирующей разрядностью 16 бит и полосой пропускания до 900 кГц.

Создание подобного класса устройств стало возможным в сравнительно недавнее время — после появления новейших коммерчески доступных программируемых логических интегральных схем (ПЛИС) без встроенных процессорных ядер и трансиверов. Использование таких ПЛИС наложило некоторые ограничения, обусловленные необходимостью выделения большого объема логических ячеек на реализацию интерфейсов связи с управляющими устройствами и интерфейсов подключения внешней памяти.

Однако творческая инженерная мысль не стоит на месте, и наиболее перспективным направлением в создании высокоэффективных измерительных устройств стало совместное применение ПЛИС и сигнальных процессоров, например 16-разрядного Blackfin, явившегося результатом усилий фирм Analog Devices и Intel по разработке новой архитектуры Micro Signal Architecture ADI. Особенность этой архитектуры — сочетание в одном микропроцессоре возможностей цифровой обработки сигналов и RISC-подобного (неполного) набора команд.

Распределение функций между ПЛИС (FPGA) и сигнальным процессором (Blackfin) позволило создать многоканальные высокопроизводительные измерительные устройства (рис. 1), в которых на ПЛИС возлагаются функции управления аналого-цифровыми преобразователями (ADC) и предварительной обработки получаемых данных: цифровая фильтрация, выделение вибрационных или акустических импульсов и расчет их параметров, организация потока данных для приема по каналу DMA (прямого доступа к памяти) и пр. На долю процессора возложена реализация функций связи с управляющими устройствами по интерфейсу Ethernet, поддержка web-интерфейса, хранение полученных от ПЛИС данных во внешней памяти, окончательная обработка данных.

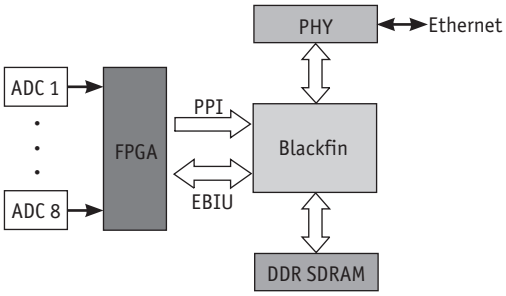

Рис. 1. **Упрощенная структурная схема измерительного устройства на базе ПЛИС и микропроцессора Blackfin:**
ADC1… ADC8 — блоки аналого-цифровых преобразователей; FPGA — программируемая логическая интегральная схема (ПЛИС); Blackfin — цифровой процессор обработки сигналов (сигнальный процессор); DDR SDRAM — память хранения временной реализации сигналов; PHY — физический уровень интерфейса Ethernet; PPI — параллельный интерфейс; EBIU — интерфейс внешней шины

Отличительной особенностью разработанного в соответствии с вышеописанной архитектурой измерительного модуля 3541, внешний вид которого приведен на рис. 2, является возможность непрерывной равномерной (без пропусков данных) регистрации сигналов.

Примененные в модуле 24-разрядные аналого-цифровые преобразователи производства Analog Devices позволяют получать временную реализацию с разрешением в 16 «чистых» разрядов частотой дискретизации до 2 МГц.

Рис. 2. **Измерительный модуль 3541**

Основные технические характеристики модуля 3541 приведены в табл. 1.

Для записи сигналов вибрации с узлов подвижного состава в процессе движения на вагоне электропоезда была смонтирована экспериментальная установка (рис. 3). При размещении на вагоне измерительный модуль 3541 (5) проводным каналом связи Ethernet подключается к малогабаритному персональному компьютеру промышленного исполнения (ПЭВМ) (4). Для измерения вибрации в качестве датчиков используются пьезоэлектрические виброакселерометры (1), имеющие высокую резонансную частоту, которые устанавливаются на буксовые узлы колесных пар и подшипниковые щиты тяговых электродвигателей (ТЭД) [6]. Для измерения частоты вращения колесных пар применяются вихретоковые датчики (2), работающие с магнитными метками, закрепленными на оси колесной

пары. Измерение напряжения на проводах цепей управления с помощью соответствующего блока (3) позволяет в процессе анализа сигналов определять режимы ведения электропоезда в каждый момент времени.

Таблица 1

Технические характеристики измерительного модуля 3541

Характеристика	Значение
Количество измерительных каналов	8
Тип входа	Дифференциальный
Разрядность АЦП (результирующая), бит	16
Диапазон частот дискретизации АЦП по всем каналам одновременно, кГц	1–2000
Полоса пропускания при максимальной частоте дискретизации (по уровню –3 дБ), кГц	0–900
Динамический диапазон, дБ, не менее	82
Диапазон входного сигнала: канала измерения напряжения, мВ канала измерения тока, мА	 От –1000 до +1000 От –5 до +5
Относительная основная погрешность: канала измерения напряжения, %, не более канала измерения тока, %, не более	 0,05 0,1
Напряжение питания модуля, В	10–18
Потребляемая мощность, Вт, не более	12
Интерфейс	Ethernet, 100 Мбит/с

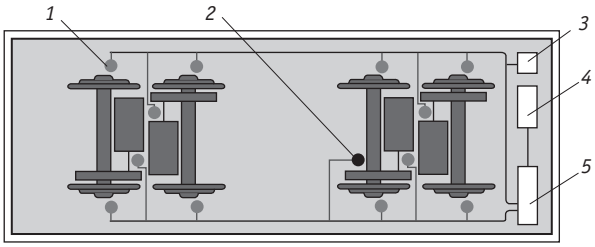

***Рис. 3*. Схема размещения установки на моторном вагоне электропоезда:**
1 — датчик вибрации; *2* — датчик частоты вращения; *3* — блок определения режимов ведения поезда; *4* — ПЭВМ; *5* — измерительный модуль 3541

С помощью смонтированной экспериментальной установки в течение нескольких месяцев эксплуатации периодически в автоматическом режиме осуществлялась параллельная запись сигналов вибрации со всех узлов. Эксперимент проводили на электропоездах, эксплуатируемых на разных участках дороги.

В процессе работы по сбору экспериментального материала на основе анализа полученных данных были выявлены узлы, имевшие существенно большие уровни вибрации. Такие узлы были приняты за условно неисправные.

На рис. 4 в качестве примера представлены спектрограммы сигналов виброускорения длительностью 300 с с отображением по шкале частоты до 18 кГц, разбитой на 5 октавных полос. Сигналы получены с исправного и условно неисправного узлов — тяговых электродвигателей 1 и 4 соответственно.

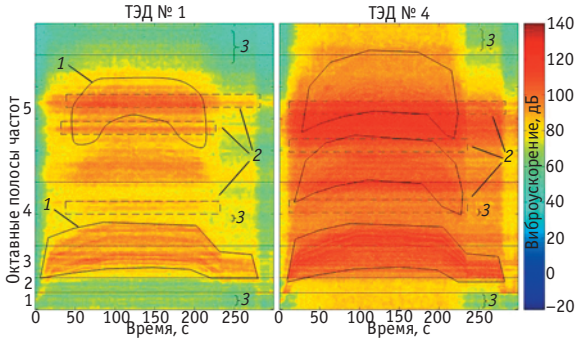

***Рис. 4*. Спектрограммы сигналов виброускорения, полученных с ТЭД**

Как видно из рис. 4, сигналы виброускорения в различных октавных полосах имеют схожий характер, однако амплитуды дискретных и шумовых частотных составляющих при этом существенно отличаются. Так, можно выделить несколько областей:

1 — с частотными составляющими, частоты которых пропорциональны частоте вращения агрегата;

2 — с частотными составляющими, амплитуды которых зависят от частоты вращения агрегата;

3 — области, заполняющие все оставшееся пространство, с частотными составляющими, амплитуды и частоты которых не зависят от частоты вращения агрегата (шумовая компонента).

Из рис. 4 также видно, что для тяговых электродвигателей с различным техническим состоянием уровень вибрации в частотных полосах 3, 4, 5 существенно отличается. Следует отметить, что на уровень вибрации большое влияние оказывают скорость движения и режимы работы подвижного состава, причем для узлов с разным техническим состоянием характер этого влияния различен.

Анализ данных с помощью специализированных программных средств позволил установить возможность выделения из сигналов вибрации, полученных в условиях реальной эксплуатации подвижного состава, дискретных частотных составляющих, соответствующих конкретным видам дефектов подшипников, зубчатых передач и др.

Выделение указанных составляющих осуществляется по спектру огибающей сигнала в определенной полосе частот. Так, на рис. 5 приведены спектрограммы огибающей сигнала вибрации тех же тяговых двигателей, что и на рис. 4, для третьей полосы частот.

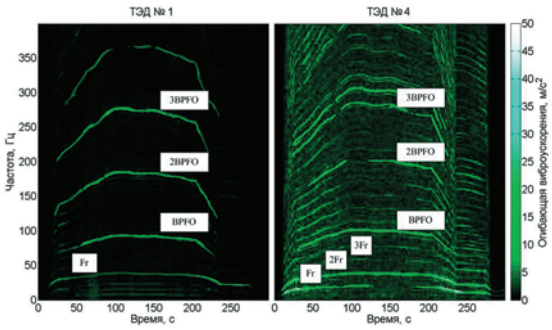

***Рис. 5*. Спектрограммы огибающей сигнала вибрации ТЭД для третьей полосы частот**

Из рис. 5 видно, что в огибающей сигнала вибрации проявляются дискретные составляющие, связанные с соответствующими частотами дефектов, в данном случае — с частотой дефекта внешней обоймы подшипника (BPFO) тягового электродвигателя с редукторной стороны и частотой вращения агрегата (Fr). Дискретные составляющие спектра огибающей сигнала вибрации, соответствующие частотам проявления дефектов, проявляются в различных скоростных режимах.

ВЫВОДЫ

1. Результаты проведенных исследований показали возможность выделения частотных составляющих в сигналах вибрации, соответствующих различным неисправностям узлов, на фоне сильных помех от взаимодействия экипажной части подвижного состава с рельсовой колеей в условиях переменных скоростных и нагрузочных режимов работы подвижного состава.

2. Установлены зависимости значений амплитуд частотных составляющих от скоростей и режимов движения, закономерности проявления дефектов в спектре огибающей в различных частотных полосах, влияния воздействий от стыка и неровностей рельсовой колеи на амплитудно-частотный состав сигналов вибрации. Полученные результаты [7] положены в основу базы знаний, реализованной в автоматической экспертной системе бортовых систем мониторинга технического состояния оборудования КОМПАКС®-ЭКСПРЕСС-3, которыми оснащаются современные электропоезда [8].

3. Автоматическая экспертная система позволяет достоверно распознавать дефекты на основе вектора ортогональных диагностических признаков [9] и своевременно, в темпе измерения признаков, информировать персонал, эксплуатирующий подвижной состав, о зарождающихся и развивающихся неисправностях, создавая, таким образом, существенный запас времени (3–6 месяцев) для принятия взвешенного решения о нормализации состояния узла.

4. Результаты исследований и опыт эксплуатации бортовых систем мониторинга на электропоездах однозначно подтверждают высокую эффективность автоматической оценки технического состояния узлов подвижного состава в процессе эксплуатации с помощью методов виброакустической диагностики, возможность выявления дефектов на ранней стадии развития и наблюдения за процессом деградации состояния узла от момента зарождения дефекта до стадии максимальной выработки ресурса узла при сохранении ремонтопригодности.

Литература

1. Костюков В. Н. Мониторинг безопасности производства. М. : Машиностроение, 2002. 204 с.
2. Безопасная ресурсосберегающая эксплуатация МВПС на основе мониторинга в реальном времени / В. Н. Костюков, С. В. Сизов, В. П. Аристов, Ан. В. Костюков // Наука и транспорт, 2008. С. 8–13.
3. Непрерывный мониторинг состояния моторвагонного подвижного состава / В. Н. Костюков, С. В. Сизов, В. П. Аристов, Ал. В. Костюков // Железнодорожный транспорт. 2008. № 6. С. 41–42. ISSN 0044-4448.
4. Азовцев А. Ю. Опыт вибрационной диагностики подвижного состава ОАО «РЖД» [Электронный ресурс] // Ассоциация ВАСТ : [сайт]. 2010. URL: http://www.vibrotek.ru/russian/UsersFiles/File/statiy/Diagnostika%20podvizhnogo%20sostava.pdf (дата обращения: 16.02.2011).
5. Модуль 3541 [Электронный ресурс]. URL: http://www.dynamics.ru/products/controllers-moduls-sensors/modul-3541/ (дата обращения: 10.02.2014).
6. Пат. 2138793 Российская Федерация, МПК G 01 M 15/00, 13/04. Устройство для крепления вибропреобразователя / Костюков В. Н., Горшечников О. П., Мелинг А. Я. № 97121755 ; заявл. 24.12.97; опубл. 27.09.99, Бюл. № 28п.
7. Анализ вибрационной активности тяговых электродвигателей электропоездов для целей диагностики / В. Н. Костюков, А. Е. Цурпаль, В. В. Басакин и др. // Повышение эффективности эксплуатации коллекторных электромеханических преобразователей энергии : матер. IX междунар. науч.-техн. конф. Омск : ОмГУПС, 2013. С. 214–221.
8. Автоматизированная система управления безопасной ресурсосберегающей эксплуатацией и ремонтом оборудования подвижного состава пригородного пассажирского комплекса / В. Н. Костюков, Ал. В. Костюков, А. В. Щелканов, Д. В. Казарин // Техника железных дорог. 2013. № 1. С. 62–66.
9. Костюков В. Н., Костюков Ал. В. Ортогональность параметров виброускорения, виброскорости и виброперемещения в задачах вибродиагностики // Контроль. Диагностика. 2008. № 11. С. 6–15.

References

1. Kostyukov V. N. Monitoring bezopasnosti proizvodstva [Industrial safety monitoring]. M. : Mashinostroenie, 2002. 204 p.
2. Bezopasnaya resursosberegayuschaya ekspluatatsiya MVPS na osnove monitoringa v realnom vremeni [Safe resource-saving operation of multiple-unit train rolling stock based on real-time monitoring] / V. N. Kostyukov, S. V. Sizov, V. P. Aristov, An. V. Kostyukov // Nauka i transport, 2008. P. 8–13.
3. Nepreryvnyy monitoring sostoyaniya motorvagonnogo podvizhnogo sostava [Continuous condition monitoring of multiple unit rolling stock] / V. N. Kostyukov, S. V. Sizov, V. P. Aristov, Al. V. Kostyukov // Zheleznodorozhnyy transport. 2008. № 6. P. 41–42. ISSN 0044-4448.
4. Azovtsev A. Yu. Opyt vibratsionnoy diagnostiki podvizhnogo sostava OAO «RZhD» [JSC Russian Railways' experience of rolling stock vibration diagnosis]. [Electronic resource] // Assotsiatsiya VAST : [sayt]. 2010. URL: http://www.vibrotek.ru/russian/UsersFiles/File/statiy/Diagnostika%20podvizhnogo%20sostava.pdf (date accessed: 16.02.2011).
5. Modul 3541 [Module 3541]. [Electronic resource]. URL: http://www.dynamics.ru/products/controllers-moduls-sensors/modul-3541/ (date accessed: 10.02.2014).
6. Pat. 2138793 Rossiyskaya Federatsiya, MPK G 01 M 15/00, 13/04. Ustroystvo dlya krepleniya vibropreobrazovatelya [An apparatus for mounting vibration transducer] / Kostyukov V. N., Gorshechnikov O. P., Meling A. Ya. № 97121755 ; zayavl. 24.12.97 ; opubl. 27.09.99, Byul. № 28p.
7. Analiz vibratsionnoy aktivnosti tyagovykh elektrodvigateley elektropoezdov dlya tseley diagnostiki [Analysis of vibratory activity of electric traction motors for diagnostic purposes] / V. N. Kostyukov, A. E. Tsurpal, V. V. Basakin i dr. // Povyshenie effektivnosti ekspluatatsii kollektornykh elektromekhanicheskikh preobrazovateley energii : mater. IX mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. Omsk : OmGUPS, 2013. P. 214–221.
8. Avtomatizirovannaya sistema upravleniya bezopasnoy resursosberegayuschey ekspluatatsiey i remontom oborudovaniya podvizhnogo sostava prigorodnogo passazhirskogo kompleksa [Automated control system for safe resource-saving operation and maintenance of commuter complex rolling stock] / V. N. Kostyukov, Al. V. Kostyukov, A. V. Schelkanov, D. V. Kazarin // Tekhnika zheleznykh dorog. 2013. № 1. P. 62–66.
9. Kostyukov V. N., Kostyukov Al. V. Ortogonalnost parametrov vibrouskoreniya, vibroskorosti i vibroperemescheniya v zadachakh vibrodiagnostiki [Orthogonality of vibration acceleration, vibration speed and vibration displacement parameters in vibration diagnostics problems] // Kontrol. Diagnostika. 2008. № 11. P. 6–15.

№ 2 (41) / 2014 апрель–июнь

ISSN 1815-9400

ТРАНСПОРТ УРАЛА

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ИНТЕРАКТИВНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЕКТИРУЕМЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ

МОДЕЛЬ ТЕРМОНАГРУЖЕННОСТИ ВАГОНА-ТЕРМОСА ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ ГОРЯЧИХ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ЗАГОТОВОК

О ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ СТАНЦИОННЫХ ГОРЛОВИН

РАЦИОНАЛЬНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СИЛОВОЙ СТРУКТУРЫ ГИБРИДНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА

ОБОБЩЕННАЯ МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И ТЕПЛОВЫХ ПОЛЕЙ В ПАЗОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ЛОКОМОТИВОВ

TRANSPORT OF THE URALS
SCIENTIFIC JOURNAL

#2 (41) / 2014 April – June

TRANSPORT OF THE URALS

SCIENTIFIC JOURNAL

МЕЖДУНАРОДНЫЙ РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

1. Александр Ефимов, профессор, главный редактор журнала «Транспорт Урала», Екатеринбург, Россия
2. Александер Сладковски, д-р техн. наук, профессор, Силезский технический университет, Польша
3. Эдуард Горкунов, д-р техн. наук, профессор, академик РАН, Екатеринбург, Россия
4. Аксель Шмидер, д-р, «Сименс АГ», отраслевой сектор, департамент транспорта «Железнодорожное строительство», Эрланген, Германия
5. Эрки Хамалайнен, д-р экон. наук, университет Аалто, Школа экономики, Финляндия
6. Валерий Доманский, д-р техн. наук, профессор, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, Украина

INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD

1. Alexander Efimov, professor, editor-in-chief of the journal “Transport of the Urals”, Ekaterinburg, Russia
2. Alexander Sladkowski, professor, Silesian University of Technology, Poland
3. Eduard Gorkunov, DSc, professor, academician of Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia
4. Axel Schmieder, DSc, Siemens AG, Industry Sector, Mobility Division, Transportation Engineering, Erlangen, Germany
5. Erkki Hamalainen, DSc, Aalto University School of Economics, Finland
6. Valeriy Domansky, DSc, professor of National technical University “Kharkiv politechnical institute”, Kharkiv, Ukraine

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

1. Александров Александр Эрнстович, д-р техн. наук, профессор, научный редактор, Екатеринбург
2. Боровских Александр Михайлович, канд. техн. наук, профессор, Екатеринбург
3. Галиев Ильхам Исламович, д-р техн. наук, профессор, Омск
4. Грицык Валерий Иванович, д-р техн. наук, профессор, Ростов
5. Козлов Петр Алексеевич, д-р техн. наук, профессор, Москва
6. Комаров Константин Леонидович, д-р техн. наук, профессор, Новосибирск
7. Лапшин Василий Федорович, д-р техн. наук, профессор, Екатеринбург
8. Ларин Олег Николаевич, д-р техн. наук, профессор, Москва
9. Ледяев Александр Петрович, д-р техн. наук, профессор, Санкт-Петербург
10. Резник Леонид Григорьевич, д-р техн. наук, профессор, Тюмень
11. Румянцев Сергей Алексеевич, д-р техн. наук, с.н.с., Екатеринбург
12. Сай Василий Михайлович, д-р техн. наук, профессор, зам. главного редактора, Екатеринбург
13. Смольянинов Александр Васильевич, д-р техн. наук, профессор, Екатеринбург
14. Туранов Хабибулла Туранович, д-р техн. наук, профессор, Екатеринбург
15. Умняшкин Владимир Алексеевич, д-р техн. наук, профессор, Ижевск
16. Хоменко Андрей Павлович, д-р техн. наук, профессор, Иркутск

EDITORIAL BOARD

1. Alexandrov Alexander Ernstovich, DSc, professor, science editor, Ekaterinburg
2. Borovskikh Alexander Mikhaylovich, PhD, professor, Ekaterinburg
3. Galiev Ilkham Islamovich, DSc, professor, Omsk
4. Gritsyk Valeriy Ivanovich, DSc, professor, Rostov
5. Kozlov Petr Alexeyevich, DSc, professor, Moscow
6. Komarov Konstantin Leonidovich, DSc, professor, Novosibirsk
7. Lapshin Vasily Fedorovich, DSc, professor, Ekaterinburg
8. Larin Oleg Nikolayevich, DSc, professor, Moscow
9. Ledyaev Alexander Petrovich, DSc, professor, Saint-Petersburg
10. Reznik Leonid Grigorievich, DSc, professor, Tumen
11. Rumyantsev Sergey Alexeyevich, DSc, senior staff scientist, Ekaterinburg
12. Say Vasily Mikhaylovich, DSc, professor, deputy editor-in-chief, Ekaterinburg
13. Smolyaninov Alexander Vasiliyevich, DSc, professor, Ekaterinburg
14. Turanov Khabibulla Turanovich, DSc, professor, Ekaterinburg
15. Umnyashkin Vladimir Alexeyevich, DSc, professor, Izhevsk
16. Khomenko Andrey Pavlovich, DSc, professor, Irkutsk

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ТРАНСПОРТА

А. С. Мишарин, Н. В. Кащеева. **Интерактивное исследование проектируемых железнодорожных станций** 3

Е. Н. Тимухина, Н. Е. Окулов. **Повышение устойчивости взаимодействия производства и транспорта** 7

О. Д. Покровская, В. М. Самуйлов. **Обоснование целевой функции параметров терминальной сети региона** 12

О. В. Москвичев, Е. Е. Москвичева, Ю. С. Никонов. **К вопросу консолидации и доставки одиночных и групповых контейнерных отправок в составе контейнерных поездов** 15

Е. Э. Червотенко, А. Р. Калинина. **Применение методов адаптаций в проектах развития технических станций железнодорожных узлов Дальнего Востока** 19

А. А. Жаркова. **Эффективность управления вагонами операторских компаний в рамках единой информационной базы** 24

ВАГОНЫ И ВАГОННОЕ ХОЗЯЙСТВО

А. Б. Левин, А. Э. Павлюков, А. В. Смольянинов. **Оценка демпфирующих свойств буксового подвешивания многоосных тележек грузовых вагонов** 27

А. В. Намятов, А. Г. Охотников, В. Ф. Лапшин. **Модель термонагруженности вагона-термоса для транспортировки горячих металлургических заготовок** 33

В. Н. Филиппов, И. В. Козлов, А. В. Смольянинов, Я. Д. Подлесников. **К вопросу обеспечения безопасности движения вагонов с увеличенной высотой центра тяжести** 39

А. В. Бородин, Ю. А. Иванова, Д. Б. Гриц. **Эксплуатационные особенности букс грузовых вагонов** 44

ГРУЗОВЫЕ И ПАССАЖИРСКИЕ ПЕРЕВОЗКИ

П. А. Козлов, Е. Н. Тимухина, В. Ю. Пермикин, Н. Е. Окулов. **О пропускной способности станционных горловин** 47

В. А. Алпысова, Н. С. Бушуев, Д. О. Миненко. **Моделирование и прогнозирование пассажиропотока высокоскоростной магистрали на примере поездов «Сапсан» направления Санкт-Петербург — Москва** 50

И. А. Ковалев, В. С. Колокольников. **Влияние отказов технических средств на выполнение графика движения поездов** 54

ПУТЬ И ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

И. Л. Парахненко, С. Г. Аккерман. **Эффективность управления трением в контакте «колесо — рельс»** 58

С. М. Скоробогатов. **Иерархия трещинообразования бетона в изгибаемых железобетонных элементах** 62

А. В. Шипуля, С. М. Скоробогатов. **Основы методики исследования влияния бортовой балки на напряженно-деформированное состояние железобетонной плиты перекрытия** 67

ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ И ТЯГА

И. В. Харитонов, Б. С. Сергеев, А. Д. Волосников. **Анализ освещенности кабины машиниста маневрового тепловоза** 73

В. Н. Костюков, А. Е. Цурпаль, А. В. Зайцев. **Установка для экспериментальных исследований вибрации узлов подвижного состава в эксплуатации** 77

Д. Я. Носырев, А. А. Свечников, А. А. Котышев. **Влияние электротермической обработки воздуха и топлива на эффективность работы дизеля** 81

АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ

Е. Р. Магарил, Р. З. Магарил. **Повышение экологической безопасности и эффективности эксплуатации автотранспорта применением присадки к топливам** 84

М. Р. Якимов. **Показатели качества организации дорожного движения в городах и методы их оценки** 90

ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ

Б. А. Аржанников, В. Ф. Григорьев, А. В. Бондаренко. **Исследование гармонических составляющих токов в трансформаторном агрегате с вольтодобавочным трансформатором** 93

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ТЯГА

А. Я. Калиниченко, А. Н. Грачев. **Рациональные принципы построения силовой структуры гибридного электрического транспорта** 98

М. Г. Дурандин, И. А. Кузьминых. **Обобщенная методика расчета электрических и тепловых полей в пазовой изоляции тяговых электродвигателей локомотивов** 102

АСПИРАНТСКАЯ ТЕТРАДЬ

Ю. В. Могильников. **Влияние тяжеловесных поездов на работу рельсовых цепей и аппаратуры АЛСН** 109

GENERAL TRANSPORT PROBLEMS

A. S. Misharin, N. V. Kascheeva. **Interactive study of designed railway stations** 3

E. N. Timukhina, N. E. Okulov. **Improving stability of interaction of production facilities and transport** 7

O. D. Pokrovskaya, V. M. Samuylov. **Substantiation of efficiency function of regional terminal network parameters** 12

O. V. Moskvichev, E. E. Moskvicheva, Yu. S. Nikonov. **Regarding the issue of consolidation and delivery of single and group container shipments in container trains** 15

E. E. Chervotenko, A. R. Kalinina. **The use of adaptation methods in development projects of train stations of Far East railway junctions** 19

A. A. Zharkova. **Efficiency of managing operating companies' cars within a common database** 24

RAILWAY CARS AND CARRIAGE EQUIPMENT

A. B. Levin, A. E. Pavlyukov, A. V. Smolyaninov. **Evaluation of damping properties of axle-box suspension in multiaxial freight car bogies** 27

A. V. Namyatov, A. G. Okhotnikov, V. F. Lapshin. **Thermal loading model of an insulated railcar for transportation of hot steel workpieces** 33

V. N. Filippov, I. V. Kozlov, A. V. Smolyaninov, Ya. D. Podlesnikov. **Regarding the issue of safe operation of cars with increased height of center of gravity** 39

A. V. Borodin, Yu. A. Ivanova, D. B. Grits. **Performance specifics of freight car axle boxes** 44

CARGO AND PASSENGER TRANSPORTATION

P. A. Kozlov, E. N. Timukhina, V. Yu. Permikin, N. E. Okulov. **Station neck capacity** 47

V. A. Alpysova, N. S. Bushuev, D. O. Minenko. **Modeling and forecasting high-speed route passenger traffic on the example of Sapsan trains on the route Petersburg — Moscow** 50

I. A. Kovalev, V. S. Kolokolnikov. **Effect of equipment failure on fulfillment of train schedule** 54

RAILWAY CONSTRUCTION AND RAILWAY TRACK

I. L. Parakhnenko, S. G. Akkerman. **Friction control effectiveness in «wheel — rail» contact** 58

S. M. Skorobogatov. **Hierarchy of concrete cracking in curving concrete elements** 62

A. V. Shipulya, S. M. Skorobogatov. **Basic research methods to study the influence of edge beam on stress-strain state reinforced concrete floor slab** 67

ROLLING STOCK AND TRACTION

I. V. Kharitonov, B. S. Sergeev, A. D. Volosnikov. **Analysis of driver's cab lighting in a shunting locomotive** 73

V. N. Kostyukov, A. E. Tsurpal, A. V. Zaytsev. **A device for experimental studies of vibration of rolling stock components during operation** 77

D. Ya. Nosyrev, A. A. Svechnikov, A. A. Kotyshev. **Influence of electrothermal air and fuel treatment on diesel engine performance** 81

MOTOR TRANSPORT

E. R. Magaril, R. Z. Magaril. **Improving environmental safety and efficient operation of motor vehicles by using fuel additive** 84

M. R. Yakimov. **Urban road traffic organization quality and evaluation methods** 90

ELECTRIC SUPPLY

B. A. Arzhannikov, V. F. Grigoryev, A. V. Bondarenko. **Study of harmonic current components in transformer unit with booster transformer** 93

ELECTRIC TRACTION

A. Ya. Kalinichenko, A. N. Grachev. **Rational principles for construction of power structure of hybrid electric transport** 98

M. G. Durandin, I. A. Kuzminykh. **Generalized method for calculating the electric and thermal fields in slot insulation of locomotive traction motors** 102

RESEARCH OF YOUNG SCIENTISTS

Yu. V. Mogilnikov. **Impact of heavy trains on operation of track circuits and continuous automatic locomotive signaling (CALS) equipment** 109

Научно-технический журнал «Транспорт Урала»

№ 2 (41), 2014 год

Издается с июня 2004 г.

Выходит 1 раз в квартал

Подписной индекс: 46463

Издание зарегистрировано в Министерстве Российской Федерации
по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций
27 мая 2004 г. Свидетельство ПИ № 77-18098

Адрес редакции:
620034, Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66.
Тел. (343) 221-24-90
http://www.transporturala.usurt.ru
e-mail: EPupova@usurt.ru

Учредитель:
Уральский государственный университет путей сообщения (УрГУПС)

Главный редактор:
Александр Васильевич Ефимов

Научный редактор:
Александр Эрнстович Александров

Выпускающий редактор и корректор:
Елена Семеновна Пупова,
тел. (343) 221-24-90, 8-912-61-07-229,
e-mail: EPupova@usurt.ru

Дизайн:
Антон Леонидович Курносов

Верстка:
Андрей Викторович Трубин

Перевод:
Анна Викторовна Вакалюк
(департамент международных связей УрГУПС), тел. (343) 221-24-86

Автор фотографии на обложке:
Наталия Викторовна Ладейщикова

С 1 января 2007 г. журнал включен ВАКом в перечень периодических,
научных и научно-технических изданий, выпускаемых в Российской Федерации,
в которых рекомендуется публикация основных результатов диссертаций
на соискание ученой степени доктора наук.

Подписано в печать 24.06.14

Тираж 250 экз. Формат 60×90/8

Отпечатано в типографии ООО «Велар»,
620075, Екатеринбург, ул. Тургенева, 22, п. 4, оф. 6, тел./факс: (343) 350-00-83

Заказ №

© Уральский государственный университет путей сообщения, 2014