

ISSN 1818-5509

РОСЖЕЛДОР
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Ростовский государственный университет путей сообщения»
(ФГБОУ ВО РГУПС)

**ТРУДЫ
РОСТОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА
ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ**

Научно-технический журнал

**№ 4 (69)
2024**

Ростов-на-Дону

ТРУДЫ
Ростовского государственного университета
путей сообщения

2024
№ 4 (69)

Научный журнал.
Регистрационный номер
ПИ № ФС77-79264 от 16 октября 2020 г.
Федеральной службы по надзору
в сфере связи, информационных
технологий и массовых коммуникаций.
Издается с ноября 2005 г.

В журнале размещены материалы, рекомендованные к публикации оргкомитетом по результатам 16-й Международной научно-практической конференции «Перспективы развития локомотиво-, вагоностроения и технологии обслуживания подвижного состава», посвященной 95-летию Ростовского государственного университета путей сообщения, 95-летию факультета «Электромеханический» и 95-летия со дня рождения Заслуженного работника транспорта России, доктора технических наук, профессора Балона Л. В.

Учредитель
Ростовский государственный университет путей сообщения

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Главный редактор журнала

Владимир Иванович Колесников, академик Российской академии наук,
доктор технических наук, профессор, РГУПС, г. Ростов-на-Дону

Владимир Дмитриевич Верескун, д-р техн. наук, профессор, РГУПС, г. Ростов-на-Дону

Александр Николаевич Гуда, д-р техн. наук, профессор, заместитель главного редактора,
РГУПС, г. Ростов-на-Дону

Виктор Федорович Асминин, д-р техн. наук, профессор, ВГЛТУ, г. Воронеж

Олег Андреевич Ворон, д-р техн. наук, доцент, РГУПС, г. Ростов-на-Дону

Артем Евгеньевич Литвинов, д-р техн. наук, доцент, КубГТУ, г. Краснодар

Николай Николаевич Новиков, д-р техн. наук, профессор, НАЦОТ, г. Москва

Александр Дмитриевич Петрушин, д-р техн. наук, профессор, РГУПС, г. Ростов-на-Дону

Рустам Вячеславович Рахимов, д-р техн. наук, профессор, ТГТУ, г. Ташкент

Владимир Александрович Соломин, д-р техн. наук, профессор, РГУПС, г. Ростов-на-Дону

Виктор Анатольевич Финоченко, д-р техн. наук, профессор, РГУПС, г. Ростов-на-Дону

Татьяна Анатольевна Финоченко, канд. техн. наук, доцент, РГУПС, г. Ростов-на-Дону

Александр Николаевич Чукарин, д-р техн. наук, профессор, ДГТУ, г. Ростов-на-Дону

Александр Евгеньевич Шашурин, д-р техн. наук, профессор, БГТУ «ВОЕНМЕХ»
им. Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург

Иван Анатольевич Яицков, д-р техн. наук, профессор, РГУПС, г. Ростов-на-Дону

Ангелина Олеговна Полунина (ответственный секретарь)

Trudy
Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putej Soobseniya
Scientific Journal

The scientific journal encompasses papers and materials recommended for publication by the organizing committee based on the results of the 16th International Scientific and Practical Conference “Prospects for the development of locomotive and carriage designing and rolling stock maintenance technology”, dedicated to the 95th anniversary of the Rostov State Transport University, the 95th anniversary of the Electromechanical Faculty and the 95th anniversary of the birth of the Honored Transport Worker of Russia, Doctor of Technical Sciences, Professor Balon L. V.

EDITORIAL BOARD

Editor-in-chief

V. I. Kolesnikov, Academician of Russian Academy of Sciences, Doctor of Engineering Sciences, Professor, RSTU, Rostov-on-Don

V. D. Vereskun, Doctor of Engineering Sciences, Professor, RSTU, Rostov-on-Don

A. N. Guda, Doctor of Engineering Sciences, Professor, RSTU, Rostov-on-Don (deputy editor-in-chief)

V. F. Asminin, Doctor of Engineering Sciences, Professor, VSUFT, Voronezh

O. A. Voron, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, RSTU, Rostov-on-Don

A. E. Litvinov, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, KubSTU, Krasnodar

N. N. Novikov, Doctor of Engineering Sciences, Professor, NAOSC, Moscow

A. D. Petrushin, Doctor of Engineering Sciences, Professor, RSTU, Rostov-on-Don

R. V. Rakhimov, Doctor of Engineering Sciences, Professor, TSTU, Tashkent

V. A. Solomin, Doctor of Engineering Sciences, Professor, RSTU, Rostov-on-Don

V. A. Finochenko, Doctor of Engineering Sciences, Professor, RSTU, Rostov-on-Don

T. A. Finochenko, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, RSTU, Rostov-on-Don

A. N. Chukarin, Doctor of Engineering Sciences, Professor, DSTU, Rostov-on-Don

A. E. Shashurin, Doctor of Engineering Sciences, Professor, D. F. Ustinov BSTU «VOENMEH», Saint Petersburg

I. A. Yaitkov, Doctor of Engineering Sciences, Professor, RSTU, Rostov-on-Don

A. O. Polunina, executive secretary, RSTU, Rostov-on-Don

*95-летию со дня рождения Заслуженного работника транспорта России,
академика Академии транспорта Российской Федерации,
доктора технических наук, профессора
Леонида Вениаминовича Балона
посвящается*



Леонид Вениаминович Балон (родился 7 июня 1929 года в г. Ростове-на-Дону) – известный советский и российский ученый в области создания и совершенствования тормозных систем железнодорожного подвижного состава, доктор технических наук, профессор, академик Академии транспорта Российской Федерации. В 1952 году окончил «Ростовский институт инженеров железнодорожного транспорта». С 1952 по 1962 гг. работал в Кузбассе на разных руководящих должностях, связанных с эксплуатацией железнодорожного транспорта. Прошел путь от мастера локомотивного депо до главного инженера отделения дороги. С 1962 года работал в Ростовском государственном университете путей сообщения.

Л. В. Балон являлся членом Европейского координационного совета по созданию скоростного подвижного состава, членом научно-технического совета Ассоциации производителей и потребителей тормозного оборудования для подвижного состава ж.-д. транспорта Российской Федерации, председателем общественного совета докторов РГУПС, членом специализированных диссертационных советов по защите кандидатских и докторских диссертаций.

Профессор Л. В. Балон вел большую работу по подготовке кадров высшей квалификации, отдавая много сил и энергии работе с аспирантами.

За плодотворный труд на поприще науки и высшего образования Советского Союза и Российской Федерации он был награжден знаками: «Изобретатель СССР», «Заслуженный работник транспорта Российской Федерации», «Почетному железнодорожнику», «Лауреат премии имени Мельникова».

СОДЕРЖАНИЕ

БЕЗОПАСНОСТЬ ТРУДА

<i>Алтынов Д. С., Смирнов В. В., Гусев Д. Ю., Ашин И. В.</i> Некоторые конструктивные решения по строительству водопропускных сооружений автодублера БАМа	9
<i>Богословский Р. А., Королева А. М., Небылицина А. А.</i> Актуальность совершенствования охраны труда в области лазерной безопасности на предприятиях железнодорожного транспорта	15
<i>Гричишин М. В.</i> Экспериментальные исследования уровней звукового давления сверлильно-фрезерно-расточных станков	21
<i>Завьялов А. Б., Глухих Т. В.</i> Расхождение в нормативно-правовых актах, регулирующих требования по охране труда на железнодорожном транспорте в России и за рубежом	25
<i>Рыжов С. П., Солдатов А. Г., Харламов О. Г., Финоченко Т. А.</i> Экспериментальные исследования спектрального состава вибраций зубообрабатывающих станков	31
<i>Смычок И. А., Щерба Е. М., Чукарин А. Н.</i> Источники шума безцентровошлифовальных и алмазно-отрезных станков	37
<i>Фирсов В. А., Чубарь Е. П.</i> Формирование ноксологической компетентности у студентов направления техносферная безопасность	44
<i>Хвостиков А. Г.</i> Обеспечение безопасности работников при обращении с опасными отходами в производственной среде.....	50

ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ,
ТЯГА ПОЕЗДОВ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ

<i>Зарифьян А.А., А. Ш. Мустафин</i> Повышение энергетической эффективности грузовых электровозов семейства «Ермак» за счет комплекса инновационных технических решений при заводском ремонте.....	56
<i>Иноятон К. Х., Абдуллаев Б. А., Рахматов Х. А.</i> Выбор и научное обоснование новых технических решений тепловой защиты пассажирских вагонов.....	60
<i>Ковалёва И. Н., Сычев А. П., Шубитидзе В. В., Пигунов А. В., Подгорная В. В.</i> Перспективы развития биоразлагаемых смазочных материалов на основе растительных и животных жиров для железнодорожного транспорта.....	71
<i>Колесников И. В., Политыко К. Н.</i> Исследование ионно-плазменных покрытий ...	76
<i>Коришунов С. Д., Ромашов Д. А., Смирнов А. А., Гончаров Д. И.</i> Комплексная оценка прочности несущей конструкции двухэтажного пассажирского вагона поезда «Аврора».....	85
<i>Кротов С. В.</i> Моделирование смещения груза в STARK_ES	91
<i>Маклаков С. Ф., Мишин В. А.</i> Выбор рациональных параметров конструктивно-силовой схемы шатуна с помощью ANSYS.....	97
<i>Оленцевич В. А., Старожилова А. В.</i> Модернизация оборудования вагонного парка, как фактор повышения качества обслуживания пассажиров	103
<i>Портной А. Ю., Мельниченко О. В., Линьков А. О., Коновалов А. В., Кахаев С. А.</i> Оптимизация конструкции окон остовов тягового электродвигателя НБ-514 электровозов серии «Ермак» методом конечных элементов	109

Сергеев И. К., Пищик А. В. О перспективных направлениях совершенствования конструкции автосцепного устройства длиннобазных вагонов-платформ	117
Сергеев П. Б., Ключа В. П., Мосол С. А. Взаимодействие тормозящегося колеса и рельса с учетом проскальзывания в пятне контакта	123
Тычков А. С., Строганова А. А. Перспективы реализации магнитной технологии на железнодорожном транспорте в условиях вечной мерзлоты	128
Шантаренко С. Г., Кузнецов В. Ф., Бакланов А. А. Исследование интенсивности изнашивания бандажей колесных пар электровозов ЭП2К	133

CONTENTS

LABOUR SAFETY

Altynov D. S., Smirnov V. V., Gusev D. Yu., Ashin I. V. Some Design Solutions for the Construction of Culverts for the BAM Highway Backup	9
Bogoslovsky R. A., Koroleva A. M., Nebylitsina A. A. The Relevance of Improving Occupational Safety in the Field of Laser Safety at Railway Transport Enterprises	15
Grichishin, M. V. Experimental Studies of Sound Pressure Levels of Drilling-Milling-Boring Machines	21
Zavyalov A. B., Glukhikh T. V. Discrepancies in Regulatory Legal Acts Governing Labor Protection Requirements in Railway Transport in Russia and Abroad	25
Ryzhov S. P., Soldatov A. G., Kharlamov O. G., Finochenko T. A. Experimental Studies of the Spectral Composition of Vibrations of Goothing Machines	31
Smychok I. A., Shcherba E. M., Chukarin A. N. Noise Sources of Centerless Grinding and Diamond Cutting Machines	37
Firsov V. A., Chubar E. P. Formation of Noxological Competence Among Students of the Technosphere Safety Direction	44
Khvostikov A. G. Ensuring the Safety of Workers When Handling Hazardous Waste in an Industrial Environment.....	50

RAILWAY ROLLING STOCK, TRAIN TRACTION AND ELECTRIFICATION

Zarifian A. A., A. Sh. Mustafin Improving the Energy Efficiency of Freight Electric Locomotives «Ermak» Through a Set of Innovative Technical Solutions During Factory Repairs	56
Inotyatov K. X., Abdullaev B. A., Rakhmatov Kh. A. New Technical Solutions for Thermal Protection of Passenger Cars	60
Kovaleva I. N., Sichev A. P., Shubitidze V. V., Pigunov A. V., Podgornaya V. V. Development Prospects of Biodegradable Lubricants Based on Vegetable and Animal Fats for Railway Transport.....	71
Kolesnikov I. V., Polityko K. N. Investigation of Ion-Plasma Coatings	76
Korshunov S. D., Romashov D. A., Smirnov A. A., Goncharov D. I. Comprehensive Assessment of the Strength of the Load-Bearing Structure of the Double-Decker Passenger Car of the Aurora Train.....	85
Krotov S. V. Load Shifting Modeling in STARK_ES.....	91
Maklakov S. F., Mishin V. A. Selection of Rational Parameters of the Structural-Power Scheme of the Connecting Rod Using Ansys.....	97
Olentsevich V. A., Starozhilova A. V. Modernization of the Equipment of the Carriage Fleet as a Factor in Improving the Quality of Passenger Service	103
Portnoy A. Yu., Melnichenko O. V., Lin'kov A. O., Konovalov A. V., Kahaev S. A. Optimization of the Design of the Windows of the Hulls of the Traction Motor NB-514 of the Electric Locomotives of the «Ermak»Series by the Finite Element Method.....	109
I. K. Sergeev, A. V. Pishchik About Promising Directions for Improving the Design of Automatic Couple Devices for Long-Base Platform Cars	117
Sergeev P. B., Kluka V. P., Mosol S. A. Interaction of a Braking Wheel and Rail with Consideration of Sliding in the Contact Spot	123

Tychkov A. S., Stroganova A. A. The Possibilities of Implementing Magnetic Suspension Technology in Railway Transport in Difficult Climatic Conditions	128
Shantarenko S. G., Kuznetsov V. F., Baklanov A. A. Wear Intensity Study Wheel Sets of Electric Locomotives EP2K	133

БЕЗОПАСНОСТЬ ТРУДА

УДК 656.2

*Д. С. Алтынов, В. В. Смирнов, Д. Ю. Гусев, И. В. Ашин***НЕКОТОРЫЕ КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ ВОДОПРОПУСКНЫХ СООРУЖЕНИЙ АВТОДУБЛЕРА БАМА**

Аннотация. Важнейшими вопросами оптимальной организации технологического процесса строительства объектов железнодорожной инфраструктуры являются с одной стороны: снижение производственных и эксплуатационных затрат, в том числе транспортных расходов, с другой стороны: повышение качества и эксплуатационной надежности возведенных сооружений. Снижения расходов на доставку ресурсов к объектам строительства возможно достичь в том числе за счет увеличения пропускной способности имеющихся притрассовых автомобильных дорог.

Ключевые слова: водопропускные сооружения, автодублер БАМ, железнодорожные войска притрассовые автомобильные дороги, металлические гофрированные трубы, мерзлые грунты.

Для цитирования: Алтынов, Д. С. Некоторые конструктивные решения по строительству водопропускных сооружений автодублера БАМа / Д. С. Алтынов, В. В. Смирнов, Д. Ю. Гусев, И. В. Ашин // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2024. – № 4. – С. 9 – 14.

В условиях сурового климата и сложного рельефа Восточной Сибири строительство автодублера Байкало-Амурской магистрали (БАМ) представляет собой масштабную и амбициозную задачу. Одной из ключевых составляющих успеха данного проекта является разработка эффективных и надежных решений по строительству водопропускных сооружений. Они играют важнейшую роль в обеспечении безопасности и долговечности автодороги, позволяя предотвратить размыты, эрозию и разрушение дорожного полотна при воздействии природных водных потоков. Притрассовые автомобильные дороги играют ключевую роль в реализации проекта по строительству вторых путей и развязок на Байкало-Амурской магистрали. Они обеспечивают доставку личного состава, техники, материалов на объекты производства работ, доступ к карьерам, выгрузочным станциям, технологическим площадкам и др.

После запуска работы Байкало-Амурской магистрали (БАМ) многие участки автодорог, предназначенных в качестве альтернативного пути сообщения с восточными регионами России, остались неиспользуемыми. Неблагоприятные климатические условия, в том числе вечная мерзлота и сильные морозы, а также заброшенность и протекание времени, привели к разрушению земляного полотна и неисправности искусственных объектов, что ухудшило уровень комфорта и безопасности людей, автодорога заросла лесом на многие десятки километров так, что проехать по ней без специальной техники не представлялось никакой возможности.

В описательной части Основных проектных решений по реконструкции участка «разъезд Мирошниченко – Дугда ДВЖД» указано: «...слева от железной дороги в 20 – 40 метрах проходит автомобильная дорога «автодублер БАМа», земляное полотно как таковое отсутствует, гравийное покрытие сохранено лишь на отдельных небольших участках, ширина проезжей части составляет около 4 метров. По всему участку наблюдается колейность верха насыпи. Обочины и откосы заросли кустарником. Ремонт дороги не производился с времен строительства БАМа. Проезд по маршруту автодублера через весь участок невозможен из-за отсутствия мостов и деформации дороги почти на всем протяжении» [1]. Поэтому, с началом производства работ по строительству вторых путей и разъездов, восстановительные работы на участках автодублёра БАМа получили новый импульс. В соответствии с рабочей документацией, наряду с восстановлением автодороги, производится ее расширение, в том числе усиление насыпи, реконструкция имеющихся и строительство новых временных мостов и водопропускных труб [2].

Водопропускные трубы являются одним из самых распространенных видов искусственных сооружений на дорогах. Они используются как поперечные водостоки для облегчения осушения канав на обочинах, так и для отвода воды под дорожным полотном в местах естественного дренажа и при пересечении ручьев.

Количество и расчет таких труб зависят преимущественно от климатических условий, рельефа местности и гидрологических свойств грунта. Обычно в среднем составляет от 0,4 до 1 трубы на 1 км дороги. Сегодня, ввиду относительного недорогого производства, наиболее распространенными водоотводными сооружениями являются железобетонные водопропускные трубы. Но цельная железобетонная конструкция требует изготовления ее элементов разных типоразмеров массой от 9,2 до 12 т при этом, доставка их на значительные расстояния может увеличивать их стоимость в несколько раз. Между тем, в линейке типоразмеров водопропускных конструкций, имеются металлические гофрированные трубы (МГТ), конструкции которых в 40-60 раз легче, а трудозатраты на производство и монтаж в 2-4 раза меньше, чем бетонных и железобетонных сооружений [3].

Тело такой трубы представляет гибкую безфундаментную конструкцию диаметром от 1,5 до 3 м, особенностью которой, является их совместная работа с окружающим грунтом. Вертикальная нагрузка воспринимается металлом конструкции и через ее боковые поверхности передается грунту, расположенному вокруг нее.

МГТ начали широко применяться в связи с развитием промышленности на Севере и Востоке страны, в основном в связи со строительством БАМа. В начале строительства первых участков БАМа проектные организации не имели типовых проектов для использования МГТ в суровых климатических условиях. Тогда действовавшие нормы на проектирование мостов и труб на железных и автомобильных дорогах (СН 200-62) не содержали инструкций по использованию металлических труб. Однако, на основе опыта строительства и эксплуатации первых участков БАМа, а также научных исследований, была разработана Инструкция по проектированию и строительству металлических гофрированных водопропускных труб (ВСН 176-78) Всесоюзным научно-исследовательским институтом транспортного строительства (ЦНИИС). Первоначальные положения этой инструкции были использованы Ленгипротрансмостом при разработке нового типового проекта серии 3.501.3-133 «Трубы водопропускные круглые, отверстиями 1,5-3,0 м из гофрированного металла для железных и автомобильных дорог».

Учитывая сложные климатические и сейсмические условия, рельеф местности, участки с вечномерзлыми грунтами, Применялись МГТ северного исполнения с расчетной температурой воздуха в зоне строительства минус 40°C и ниже. Основными отличиями труб северного исполнения от обычного являются: марка стали, применяемая при их изготовлении; материал защитного покрытия и лотка; конструкция основания трубы.

Эти особенности способствуют повышенной надежности и долговечности труб в условиях холодного климата, обеспечивая их эффективность и безопасность в эксплуатации.

В рамках проекта БАМ 2.0 на порученном Екатеринбургскому соединению Железнодорожных войск участке ПК28816 + 43,31 – ПК28820 + 22,83 перегона ст. Тангомен – ст. Дугда ДВЖД предусмотрено устройство автомобильной дороги с обходом проектируемого комплекса зданий и сооружений инфраструктуры железнодорожного транспорта категории VB, протяженностью 380,82 м с расчетной скоростью движения 30 км/ч с шириной проезжей части 4,50 м. На ПК0+83 автомобильной дороги предусмотрено устройство водопропускной трубы из гофрированного металла, отв. 2х1,50 м для пропуска ливневых вод, собираемых с прилегающей территории, для пропуска воды под земляным полотном из кюветов и понижений рельефа (рисунок 1).

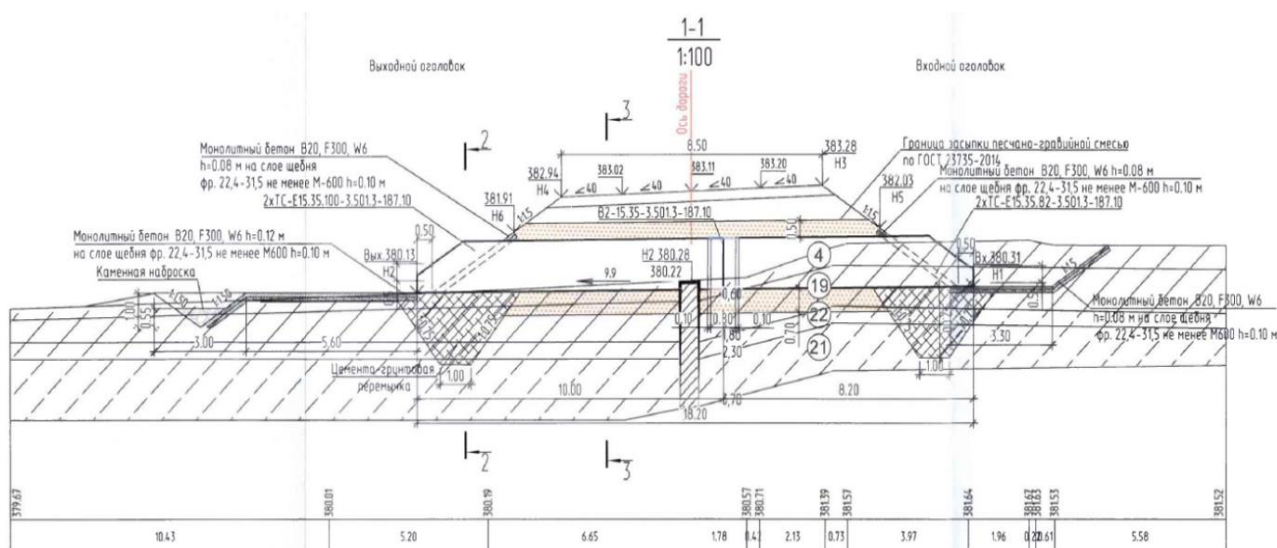


Рис. 1. Разрез по оси трубы на ПК0+83.00

Труба запроектирована по типовому проекту серии 3.501.3-187.10 «Трубы водопропускные круглые отв. 0,5 – 2,5 м спиральновитые из гофрированного металла с гофром 68х13 мм и 125х26мм». Режим протекания воды в трубе – безнапорный. Проектной документацией предусмотрено применение оголовков типа 2 – торцы труб, срезанные по откосу насыпи.



Рис. 2. Разработка котлована под укладку трубы



Рис. 3. Уплотнение замененного основания под МГТ

Основной трудностью в устройстве водопропускной трубы явилось устройство ее оснований и противофильтрационных экранов на пучинистых мерзлых грунтах. Для

стабилизации оснований была произведена замена грунта на скальный фракции 0-500 на глубину ниже промерзания (на 25 см ниже проектного) под всем телом трубы. В результате объем земляных работ для данной конструкции увеличился до 300 куб.м (рисунок 2).

Труба уложена на песчано-гравийную подушку с размером частиц не более 50 мм. Смесь содержит 10% частиц размером менее 0,1 мм, в том числе более 2% глинистых частиц размером меньше 0,005 мм, коэффициент уплотнения не ниже 0,95 (рисунок 3).

Устройство песчано-гравийной подушки осуществлялось в два этапа. На первом – отсыпали нижнюю часть основания до уровня лотка трубы, а на втором – придали ее поверхности очертание по кривой строительного подъема. При этом большое внимание уделялось поддержанию песчано-гравийной смеси в сухом состоянии, иначе обеспечить должную стабилизацию основания невозможно (рисунок 4, 5).



Рис. 4. Разработка основания (экрана) под оголовки МГТ



Рис. 5. Готовый котлован под оголовки МГТ

Засыпка трубы производилась песчано-гравийной смесью по ГОСТ 23735-2014 (рисунок 6) [4]. Укрепление откосов у русла и оголовков труб выполнялось из монолитного бетона В20 F300 W6 по слою щебня марки М600 по ГОСТ 32703-2014, фракцией 8-11,2 мм толщиной 0,10 м с разделением на отдельные участки (карты) применительно к типовому проекту шифр 2337 «Укрепления русел, конусов и откосов насыпи у малых и средних мостов и водопропускных труб» ОАО «Трансмост» 2012 г. Армирование укрепления производилось металлической сеткой с ячейками 200х200 мм из арматуры диаметром 6 мм класса А240 (А-I) по ГОСТ 5781-82 марки Ст3сп по ГОСТ 380-2005 (рисунок 7).



Рис.6. Засыпка и уплотнение насыпи над МГТ



Рис. 7. Готовая МГТ под насыпью автобублера БАМ

Таким образом, обширный выбор типоразмеров МГТ позволяет подобрать оптимальное решение для конкретных задач, условий эксплуатации и предполагаемой нагрузки на систему водоотвода. Это разнообразие дает возможность инженерам и проектировщикам выбрать подходящие трубы, соответствующие специфическим требованиям каждого проекта, что особенно важно для обеспечения надежности и долговечности системы в различных климатических и эксплуатационных условиях, возводимых (реконструируемых) сооружений в том числе в условиях сложного рельефа местности, климата, вечномерзлых грунтов и высокой сейсмичности. Применение при строительстве водопропускных сооружений автодублера БАМа водопропускных труб из металлоффрированной стали обеспечивает высокую надежность сооружений, сокращение трудозатрат на транспортировку и входе технологического процесса строительства до 25 %.

Восстановление автодублера БАМа имеет важное значение не только для технологических процессов, связанных со строительством, но и для жителей близлежащих поселков. По завершении реконструкции порученного Железнодорожным войскам участка, автодублер БАМа будет доступен для движения, как специальной военной техники, так и гражданских автомобилей в полном объеме [5].

Библиографический список

1. Двухпутная вставка на перегоне Тангомен-Дугда с примыканием к разъезду Тангомен Дальневосточной железной дороги. Рабочая документация 5-941-12-16-Р Устройство автомобильной дороги с обходом проектируемого комплекса зданий и сооружений.
2. **Куштин, В. И.** Геоинформационные технологии для проектирования, строительства, мониторинга объектов инфраструктуры и путевого хозяйства ОАО РЖД / В. И. Куштин, А. А. Ревякин, П. Н. Щербак // Инженерный вестник Дона. – 2023. – № 11(107). – С. 686-694.
3. **Алтынов, Д. С.** Особенности организации строительства водопропускных труб и быстротоков на новом электрифицированном железнодорожном участке Журавка - Миллерово / Д. С. Алтынов, В. А. Рыбицкий // Транспорт: наука, образование, производство : сборник научных трудов, Ростов-на-Дону, 23–26 апреля 2019 года. Том 3. – Ростов-на-Дону: Ростовский государственный университет путей сообщения, 2019. – С. 15-19.
4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023681307 Российская Федерация. Программа для определения объема перевозимого насыпного груза автосамосвалами с учетом его влажности: № 2023680444: заявл. 03.10.2023: опубл. 12.10.2023 / Д. С. Алтынов, М. А. Баринов.
5. **Финоченко, Т. А.** Система управления факторами риска перевозочного процесса, обуславливающая его безопасность / Т. А. Финоченко, Л. В. Дергачева // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2022. – № 7. – С. 159-167. – DOI 10.24412/2071-6168-2022-7-159-167. – EDN DZKPUN.
6. **Алтынов, Д. С.** Анализ повышения транспортной безопасности и влияния на окружающую среду при реконструкции Байкало-Амурской железнодорожной магистрали / Д. С. Алтынов, Л. В. Дергачева, Т. А. Финоченко, И. А. Яицков // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2023. – № 4. – С. 198-216. – EDN NQHVMV.
7. **Алтынов, Д. С.** Особенности сооружения земляного полотна в районах вечной мерзлоты и других сложных условиях // Фундаментальные и прикладные научные исследования в области строительства и восстановления железных дорог: проблемы, идеи, перспективы. Санкт-Петербург: Санкт-Петербург: Межрегиональный центр инновационных технологий в образовании. 2020. С. 36-39. EDN: ROSMDE
8. **Finochenko, T. A.** Risk Management in Transportation Safety System / T. A. Finochenko, L. V. Dergacheva, I. A. Yaitskov // IOP Conference Series: Earth and

Environmental Science : 2020 International Science and Technology Conference on Earth Science, ISTCEarthScience 2020, Vladivostok, 06–09 октября 2020 года. Vol. 666. – IOP Publishing Ltd: IOP Publishing Ltd, 2021. – P. 022050. – DOI 10.1088/1755-1315/666/2/022050. – EDN JZEOEI.

D. S. Altynov, V. V. Smirnov, D. Yu. Gusev, I. V. Ashin

SOME DESIGN SOLUTIONS FOR THE CONSTRUCTION OF CULVERTS FOR THE BAM HIGHWAY BACKUP

Abstract. The most important issues of the optimal organization of the technological process of construction of railway infrastructure facilities are, on the one hand: reduction of production and operating costs, including transportation costs, and, on the other hand: improvement of the quality and operational reliability of the erected structures. Reduction of costs for the delivery of resources to construction sites can be achieved, including by increasing the capacity of existing roadside roads.

Keywords: culverts, BAM roadside road, railway troops roadside roads, metal corrugated pipes, frozen soils.

For citation: Altynov, D. S. Some Design Solutions for the Construction of Culverts for the BAM Highway Backup / D. S. Altynov, V. V. Smirnov, D. Yu. Gusev, I. V. Ashin // Trudy Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobseniya. – 2024. – №. 4. – P. 9 – 14.

Сведения об авторах

Алтынов Дмитрий Сергеевич

Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС),
Военный учебный центр, начальник цикла, кандидат экономических наук,
e-mail: altynov_prav@mail.ru

Смирнов Владимир Владимирович

Главное управление начальника Железнодорожных войск Министерства обороны Российской Федерации, заместитель начальника управления (организации производства),
e-mail: smirnoffff2010@yandex.ru

Гусев Дмитрий Юрьевич

Войсковая часть 61207, начальник части (производственной),
e-mail: dejemong@gmail.com

Ашин Иван Витальевич

Российский университет транспорта РУТ (МИИТ), студент,
e-mail: wqsa2002@mail.ru

Information about the authors

Altynov Dmitry Sergeevich

Rostov State Transport University (RSTU), Military Training Center, head of the cycle, Candidate of Economic Sciences,
e-mail: altynov_prav@mail.ru

Smirnov Vladimir Vladimirovich

The Main Directorate of the Chief of the Railway Troops of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Deputy Head of the Department (Production Organization),
e-mail: smirnoffff2010@yandex.ru

Gusev Dmitry Yurievich

Military Unit 61207, Head of the Unit (Production),
e-mail: dejemong@gmail.com

Ashin Ivan Vitalievich

Russian University of Transport RUT (MIIT), Student,
e-mail: wqsa2002@mail.ru

УДК 331.4

Р. А. Богословский, А. М. Королева, А. А. Небылицина

АКТУАЛЬНОСТЬ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ОХРАНЫ ТРУДА В ОБЛАСТИ ЛАЗЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Аннотация. Статья посвящена различным аспектам применения технологии обработки рабочей поверхности лазерным лучом в транспортном машиностроении. Проведен анализ вредных и опасных производственных факторов технологического процесса и рассмотрены пути совершенствования методов защиты сотрудников.

Ключевые слова: производственный фактор, лазерная обработка, охрана труда, транспортное машиностроение.

Для цитирования: Богословский, Р. А. Актуальность совершенствования охраны труда в области лазерной безопасности на предприятиях железнодорожного транспорта/ Р. А. Богословский, А. М. Королева, А. А. Небылицина // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2024. – № 4. – С. 15 – 20.

Необходимость совершенствования системы охраны труда как системы мер по сохранению жизни и здоровья работников в процессе выполнения ими трудовой деятельности определяется постоянно меняющимися условиями жизнедеятельности в техносфере, в частности на железнодорожном транспорте.

На предприятиях железнодорожного транспорта продолжается технологическая реформа, которая призвана сократить издержки на обслуживание и ремонт подвижного состава, а также повысить коэффициент готовности локомотивов. Для полноценного использования передовых технологий, связанных с возможным появлением новых опасных и вредных производственных факторов, требуется разработка и внедрение соответствующих современным условиям стандартов охраны труда, которые включают в себя:

- изменение действующих и внедрение новых инструкций по охране труда;
- обучение сотрудников методам безопасной работы с новым оборудованием и технологиями;
- совершенствование и переоборудование индивидуальных и коллективных средств защиты под новые вредные и опасные производственные факторы.

Решение каждой из этих задач требует внимательного и системного подхода, который позволит учесть особенности технологического процесса, его воздействие на работников и предложить необходимые мероприятия, направленные на повышение безопасности персонала в новых условиях [1, 2, 3].

Одной из актуальных задач, стоящих перед машиностроением, является увеличение надежности и долговечности функционирования пар трения в подвижном составе. Рассмотрим процесс изнашивания на примере рабочей поверхности втулки дизельного двигателя, где осуществляется взаимодействие поршня и «зеркала» втулки. Износ рабочей поверхности втулки («зеркала») происходит неравномерно. По высоте, в первую очередь, износу подвержена камера сгорания. Это происходит из-за условий работы первого компрессионного кольца. Из-за газов, которые проникают между кольцом и ручьем поршня,

на стенку зеркала оказывается излишнее давление. Неравномерный износ по окружности происходит из-за влияния нормальной силы поршня на стенку втулки. Наибольшему износу подвержена область, перпендикулярная оси коленчатого вала.

Скорость изнашивания рабочей поверхности втулок зависит от:

- температуры поверхностей трения,
- режимов работы дизеля,
- эффективности охлаждения,
- качества масла и топлива,
- запыленности атмосферного воздуха,
- состояния топливной аппаратуры.

Суммарное воздействие износа по высоте и окружности вызывает конусность и овальность поверхности, из-за чего в рабочую камеру могут попадать примеси и нежелательные включения, изменяющие режим работы всего двигателя, в результате увеличивается износ рабочих поверхностей, уменьшается ресурс техники. Изношенную рабочую поверхность можно восстановить при проведении текущего ремонта локомотива в объеме ТР-3 с использованием хромирования или напыления. Для повышения долговечности деталей из чугуна, к которым относится втулка цилиндра, существуют различные способы. Рассматриваемая деталь изготавливается из никелевого низколегированного коррозионно стойкого в газовых средах чугуна ЧНХМД. Сравнительная характеристика различных методов повышения долговечности детали представлена в таблице.

Таблица

Сравнение методов повышения износостойкости

	Применение новых материалов	Диффузионное покрытие	Изотермическая закалка	Изотермическая закалка	Изотермическая закалка
Достоинства	Создание материалов с новыми свойствами	Сравнительная простота технологии	Повышение прочностных характеристик	Позволяет получить высокие показатели твердости	Улучшение задиростойкости втулок в 1.8 раз Увеличение твердости
Недостатки	Необходимость затратных НИОКР, невысокая твердость	Наличие ядовитых веществ и паров	Большие энергозатраты, длительность процесса	Образование твердых нитридов и нитратов (~1100 Трудоемкая обработка	Ограниченная зона воздействия лазерного пятна

Перспективным и эффективным методом повышения надежности работы пар трения является лазерная термическая поверхностная закалка. Энергия, передаваемая лазерным лучом, с помощью оптической системы направляется на закаливаемую поверхность. Особенностью лазерной закалки является высокая концентрация энергии в тонком (около 1 мм) поверхностном слое. Этот слой быстро нагревается до температуры, значительно превышающей температуру закалки, а основной объем детали остаётся холодным. В ходе многочисленных исследований было доказано, что лазерное упрочнение чугунных изделий приводит к повышению микротвердости в 2-2,5 раза. Кроме того, обработанные

лазером поверхности способны эффективно ингибировать появление и распространение трещин.

При использовании лазерных установок на производстве возникают следующие опасные и вредные факторы:

- непосредственно лазерное излучение (которое может быть прямым, отраженным или рассеянным);
- вторичное (сопутствующее излучение), которое может быть ультрафиолетовым, инфракрасным, видимым или излучением от источников накачки лазерной среды;
- электрическое напряжение питающих линий установки;
- шум;
- вибрация;
- электромагнитное излучение;
- воздействие продуктов реакции лазерного излучения и обрабатываемого материала;
- высокая температура в месте закалки;
- опасность взрыва системы накачки лазера;
- опасность утечки вспомогательного (защитного) газа [5].

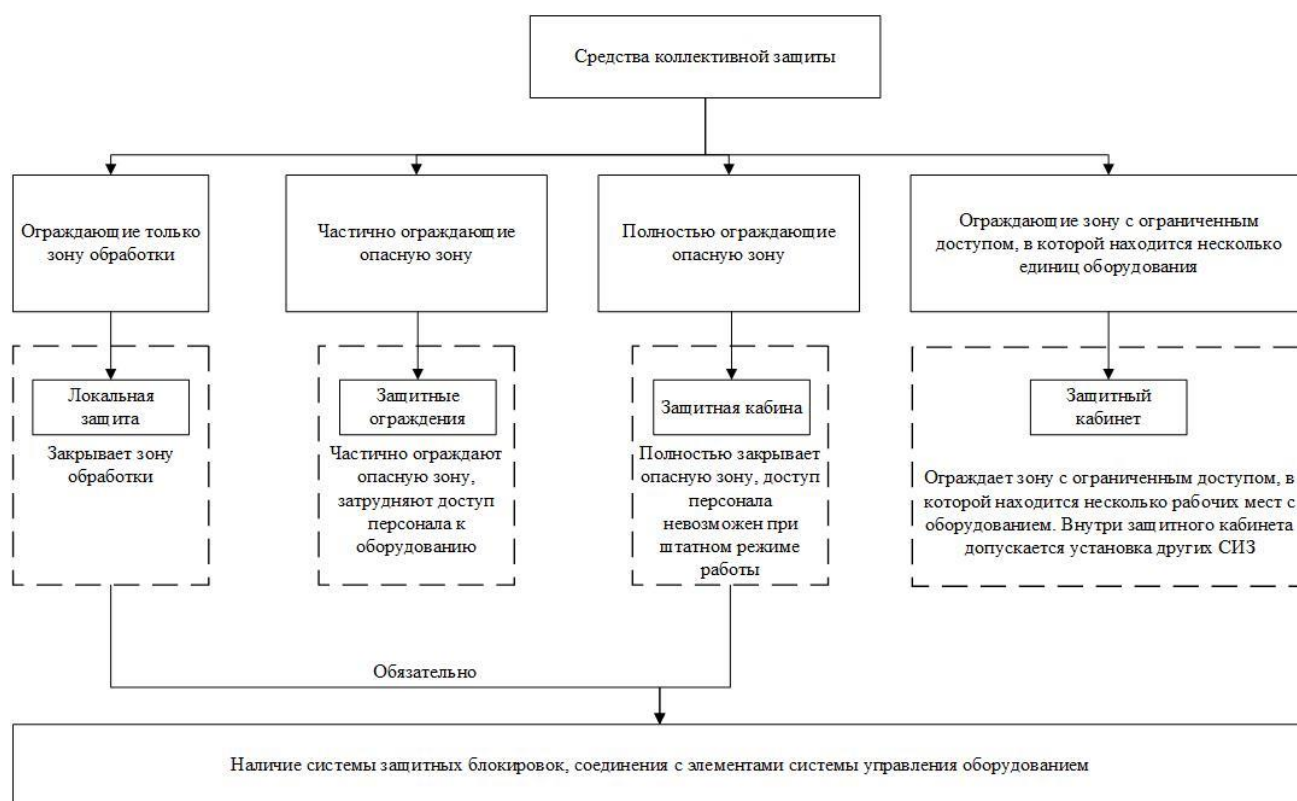


Рис. 1. Классификация средств коллективной защиты

Для определения опасностей, исходящих от лазерных технологических установок, необходимо их классифицировать по технологическим параметрам. Принято использовать следующие критерии:

- мощность лазера;
- длина волны;
- продолжительность воздействия;
- площадь лазерного пучка в точке фокуса.

От мощности лазера зависит возможность проводить различные технологические операции. Например, для резки металла и изделий из ДСП требуется совершенно разная мощность. Во многом данный параметр зависит от теплопроводности материала обработки. С

увеличением мощности увеличивается и тяжесть возможных травм: маломощные установки при воздействии на человеческий глаз могут вызвать временную слепоту или образование «слепого пятна», а источники мощностью в несколько кВт могут за считанные секунды лишить оператора зрения.

От длины волны зависит возможность определения оператором наличия угрозы для своей жизни и здоровья. Лазеры с длиной волны из невидимого для человека спектра возможно контролировать только с помощью специального оборудования.

От продолжительности воздействия зависит количество энергии, которое лазерный луч будет способен перенести на область своего воздействия. В случае непродолжительного воздействия на кожу лазера средней мощности может возникнуть покраснение и воспаление, как в случае термического ожога, когда под длительным воздействием луча той же мощности на кожном покрове могут возникнуть открытые раны.

В мировой практике все лазерные технологические установки принято делить на 4 основных класса: I, II, IIIa, IIIb, IVa.

Лазеры I класса не несут непосредственной опасности для оператора: их мощность составляет меньше 0,39 мВт, а сам луч во время работы не доступен для наблюдения.

Лазеры II класса обладают видимым лучом мощностью меньше 0,1 мВт. Они безопасны для непрямого воздействия и не представляют опасности для кожи и легко воспламеняемых материалов.

Лазеры IIIa класса оснащены видимым лучом мощностью от 1 до 4,99 мВт. Не несут опасности для глаз при непрямом воздействии, а также безопасны для кожи и легко воспламеняемых материалов.

Лазеры IIIb класса обладают видимым лучом мощностью от 5 до 499,9 мВт и опасны для глаз при прямом и косвенном воздействии.

Лазеры IVa класса обладают видимым лучом мощностью более 500 мВт. Особо опасны для глаз при любом воздействии, а также могут вызывать серьезные ожоги на коже.

Основными нормативными документами в области обеспечения лазерной безопасности являются:

- ГОСТ 31581-2012. Межгосударственный стандарт. «Лазерная безопасность. Общие требования безопасности при разработке и эксплуатации лазерных изделий»;
- правила пожарной безопасности по нормам 12.1.004-91;
- СНиП 3.05.06-85 - безопасность применения электрического оборудования;
- Р ИСО 14175-2010 - безопасное хранение, перемещение газов и оборудования по стандарту;
- ГОСТ 12.1.040-83 «ССБТ. Лазерная безопасность. Общие положения»;
- ГОСТ Р 12.1.031.2010 «ССБТ. Лазеры. Методы дозиметрического контроля лазерного излучения».

В большинстве своем существующие стандарты регламентируют вопросы безопасного применения лазерного оборудования на производстве на момент развития отрасли по состоянию на 2010-2015 года. За время после вступления в силу упомянутых стандартов произошли качественные и количественные изменения в технологии:

- появились новые типы лазеров (волоконные, твердотельные с YAG-подкачкой), мощности технологических лазеров выросли в тысячи раз, появились новые настраиваемые параметры для установок;

- появилось качественно новое измерительное оборудование для фиксации отраженного лазерного излучения;

- в медицине, особенно в офтальмологии, накопилась объемная база по различным заболеваниям, вызванных лазерным излучением, которую необходимо проанализировать и внести коррективы в существующие нормы СанПин.

Таким образом, активное развитие лазерных технологий должно происходить параллельно с совершенствованием системы безопасности. Следует не только обновить

устаревшие на данный момент ГОСТ и СанПин, но и разработать отдельные стандарты по современным технологиям, используемым на производстве, таким как резка, наплавка, закалка и др.

Библиографический список

1. **Королева, А. М.** Оценка риска возникновения профессиональных заболеваний у работника / А. М. Королева, Е. Ю. Нарусова, О. В. Плицына // Актуальные проблемы техносферной безопасности: Сборник научных статей национальной научно-практической конференции, Москва, 06–12 марта 2019 года. – Москва: Российский университет транспорта, 2019. – С. 18-19. – EDN JSQPHN.
2. **Макатерчикова, К. А.** Совершенствование обучения в области охраны труда и пожарной безопасности на основе системного подхода / К. А. Макатерчикова, Е. Ю. Нарусова, Н. Б. Фомина // Актуальные проблемы обеспечения пожарной безопасности и охраны труда: Сборник трудов секции №9 XXXII Международной научно-практической конференции, Химки, 01 марта 2022 года. – Химки: Академия гражданской защиты Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, 2022. – С. 145-150. – EDN ORANJW.
3. Совершенствование методов переобучения работников транспортного комплекса с учетом человеческого фактора / Е. Л. Кольцова, Е. Ю. Нарусова, И. С. Прокопчук, З. А. Ханикян // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2022. – Т. 11, № 4(60). – С. 158-164. – DOI 10.46548/21vek-2022-1160-0025. – EDNCMDTBQ.
4. **Нарусова, Е. Ю.** Повышение безопасности труда с учетом срока эксплуатации перегрузочной техники / Е. Ю. Нарусова, К. С. Никулин, В. Г. Стручалин // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12, № 1(61). – С. 85-89. – EDNDHYRSA.
5. **Богословский, Р. А.** Идентификация производственных факторов, воздействующих на работника при технологической операции поверхностной лазерной закалки детали / Р. А. Богословский, Г. А. Филиппов, А. М. Королева // Современные проблемы охраны труда и окружающей среды: Сборник трудов XXXIV Международной научно-практической конференции, Химки, 01 марта 2024 года. – Химки: Академия гражданской защиты МЧС России им. генерал-лейтенанта Д.И. Михайлика, 2024. – С. 14-17. – EDNSDEKEW.

R. A. Bogoslovsky, A. M. Koroleva, A. A. Nebylitsyna

THE RELEVANCE OF IMPROVING OCCUPATIONAL SAFETY IN THE FIELD OF LASER SAFETY AT RAILWAY TRANSPORT COMPANIES

Abstract. The article is devoted to various aspects of the application of laser beam working surface treatment technology in transport engineering. The analysis of harmful and dangerous production factors of the technological process is carried out and ways to improve methods of employee protection are considered.

Keywords: production factor, laser processing, occupational safety, transport engineering.

For citation: Bogoslovsky, R. A. The Relevance of Improving Occupational Safety in the Field of Laser Safety at Railway Transport Enterprises /

R. A. Bogoslovsky, A. M. Koroleva, A. A. Nebylitsina // Trudy Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobseniya. – 2024. – № 4. – P. 15 – 20.

Сведения об авторах**Богословский Роман Андреевич**

Российский Университет Транспорта РУТ
(МИИТ),
ассистент,
e-mail: r.bogoslovskij@yandex.ru

Королева Анна Михайловна

Российский Университет Транспорта РУТ
(МИИТ),
кандидат технических наук, доцент
e-mail: annakoroleva@list.ru

Небылицина Ангелина Александровна

Российский Университет Транспорта РУТ
(МИИТ),
студент,
e-mail: a.nebilichina@yandex.ru

Information about the authors**Bogoslovsky Roman Andreevich**

Russian University of Transport
RUT (MIIT),
Assistant,
e-mail: r.bogoslovskij@yandex.ru

Koroleva Anna Mikhailovna

Russian University of Transport
RUT (MIIT),
Candidate of Technical Sciences, Associate
Professor,
e-mail: annakoroleva@list.ru

Nebylitsina Angelina Alexandrovna

Russian University of Transport
RUT (MIIT)
Student,
e-mail: a.nebilichina@yandex.ru

М. В. Гричишин

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УРОВНЕЙ ЗВУКОВОГО ДАВЛЕНИЯ СВЕРЛИЛЬНО-ФРЕЗЕРНО-РАСТОЧНЫХ СТАНКОВ

Аннотация. В статье рассматриваются этапы экспериментальных исследований спектров шума и вибраций, сверлильно-фрезерно-расточных станков, проведенные в условиях их промышленной эксплуатации при различных технологических нагрузках. Экспериментальные исследования спектрального состава уровней звукового давления при фрезеровании, сверлении и растачивании для всех моделей вышеуказанных станков показали идентичность в закономерности распределения интенсивности звукового излучения по октавам. Полученные данные определили необходимость применения систем снижения уровней шума. Следует отметить, что системы снижения шума должны быть рассчитаны и спроектированы на условия наиболее шумных вариантов реализации технологического процесса.

Ключевые слова: сверлильно-фрезерно-расточные станки, технические характеристики, акустические факторы, экспериментальные исследования.

Для цитирования: Гричишин, М. В. Экспериментальные исследования уровней звукового давления сверлильно-фрезерно-расточных станков / М. В. Гричишин // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2024. – № 4. – С. 21 – 24.

Исследования уровней звукового давления сверлильно-фрезерно-расточных станков представляют собой важную дисциплину в области промышленной акустики. В современных металлообрабатывающих цехах, где функциональная эффективность машин имеет решающее значение для производительности, приоритетом становится изучение акустических характеристик используемого оборудования. Цель исследования - оценить и оптимизировать уровни звукового давления, возникающие при работе сверлильно-фрезерно-расточных станков (рисунок 1). Для этого были выбраны несколько моделей станков, широко распространённых в различных производственных предприятиях. На первом этапе исследования осуществлялось измерение уровней звукового давления на различных режимах работы машин. Основное внимание уделялось операциям сверления и расточки, так как именно они вызывают наибольшие акустические возмущения.

Экспериментальные исследования спектрального состава уровней звукового давления при фрезеровании, сверлении и растачивании для всех моделей вышеуказанных станков показали идентичность в закономерности распределения интенсивности звукового излучения по октавам. Различия наблюдаются только в уровнях звукового давления пропорциональных мощности привода главного движения.

Одним из главных аспектов исследования является измерение уровней звукового давления в различных режимах работы станков. Современные методики позволяют детально анализировать спектры шумов, начиная от низких частот, характерных для колебаний основных узлов, до высокочастотных составляющих, порождаемых трением и резанием материалов. Анализ этих данных даёт возможность выявить закономерности в изменении

параметров звука при смене скорости вращения шпинделя, подачи инструмента и обработки разных видов заготовок.

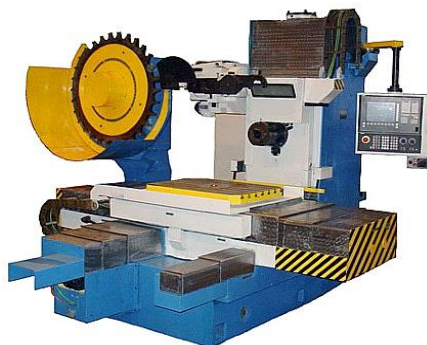


Рис. 1. Сверлильно-фрезерно-расточный станок

Второй важный аспект экспериментов – это диагностика вибраций, которые существенно влияют на качество обрабатываемой поверхности. Эти вибрации могут быть вызваны высоким уровнем динамической нагрузки, неравномерностью материала или недостаточной жесткостью конструкции станка. Использование виброакустических сенсоров позволяет эффективно визуализировать распределение вибраций по станку и выявлять критические узлы. Собранные данные служат основой для построения математических моделей, помогающих в оптимизации конструкции и параметров работы.

Измерения проводили в реальном масштабе времени сверлильно-фрезерно-расточных станках различных моделей при выполнении операций сверления, фрезерования и растачивания заготовок, поскольку операции зенкерования, развертывания и нарезания резьбы выполняются при низких частотах вращения и не создают повышенных уровней шума. По данным измерениям построены гистограммы распределения уровней шума с шагом 2 дБА (рисунок 2).

Эти исследования имеют высокую актуальность не только для обеспечения комфорта операторов станков, но и для повышения общей экологической безопасности производственного процесса. Снижение акустического загрязнения и вибрационных нагрузок способствует длительному сохранению стабильности работы оборудования и ресурса его основных элементов. Таким образом, спектральный анализ уровней звукового давления и вибраций является важной составляющей современного подхода к разработке эффективных и надежных механизмов, обеспечивающих высокий стандарт качества в машиностроении. Тщательно проведенные исследования и их результаты открывают новые горизонты в области повышения производительности и безопасности станочной обработки.

Измеренные данные демонстрируют, что уровень звука у станков модели (см. рисунок 2) колеблется в диапазоне от 86 до 98 дБА. Превышение уровня звука над нормативом составляет от 8 до 14 дБА. В ходе фрезерования в 5% случаев уровень звука составляет 86-88 дБА, что на 8 дБА превышает допустимый предел. В 10% случаев наблюдается превышение в 10 дБА, в 15% случаев уровень превышен на 12 дБА, в 20 % – на 14 дБА, в 25 % – на 16 дБА, и в 20% – на 18 дБА. При сверлении уровень звука варьируется от 86 до 94 дБА. В 25% случаев уровень достигает 88 дБА, в 25 % – 90 дБА, в 30 % – 92 дБА, в 25 % – 94 дБА. Основная доля превышений уровней звука зафиксирована в 55 % ситуаций, причем 25 % соответствуют превышению до 12 дБА, а в 35% ситуаций – 14 дБА. На более существенное превышение приходится 25% ситуаций. В том числе в 15% превышение составляет до 16 дБА и в 10% - 16-18 дБА.

Полученные данные позволили выявить закономерности в изменении уровней шума в зависимости от таких факторов, как скорость вращения шпинделя, тип обрабатываемого материала и применяемые режущие инструменты. Следующим этапом исследования стало

развитие и внедрение мероприятий по снижению звукового давления. В первую очередь это касалось использования глушителей звука и виброизоляционных покрытий, а также проведения регулярного технического обслуживания для минимизации износа подвижных компонент. Существенно снизить уровни шума позволило также внедрение частотно-регулируемых приводов, которые обеспечивают более плавное изменение скорости вращения, уменьшение резонансных явлений и, как следствие, снижение акустического воздействия на оператора. Наряду с физическими методами снижения шума, активно разрабатываются и программные решения. Например, использование систем активного шумоподавления, которые с помощью встроенных микрофонов и динамиков создают антифазные звуковые волны. Эти системы позволяют эффективнее бороться с шумом даже в условиях изменяющейся нагрузки и поддерживать комфортную среду для работников.

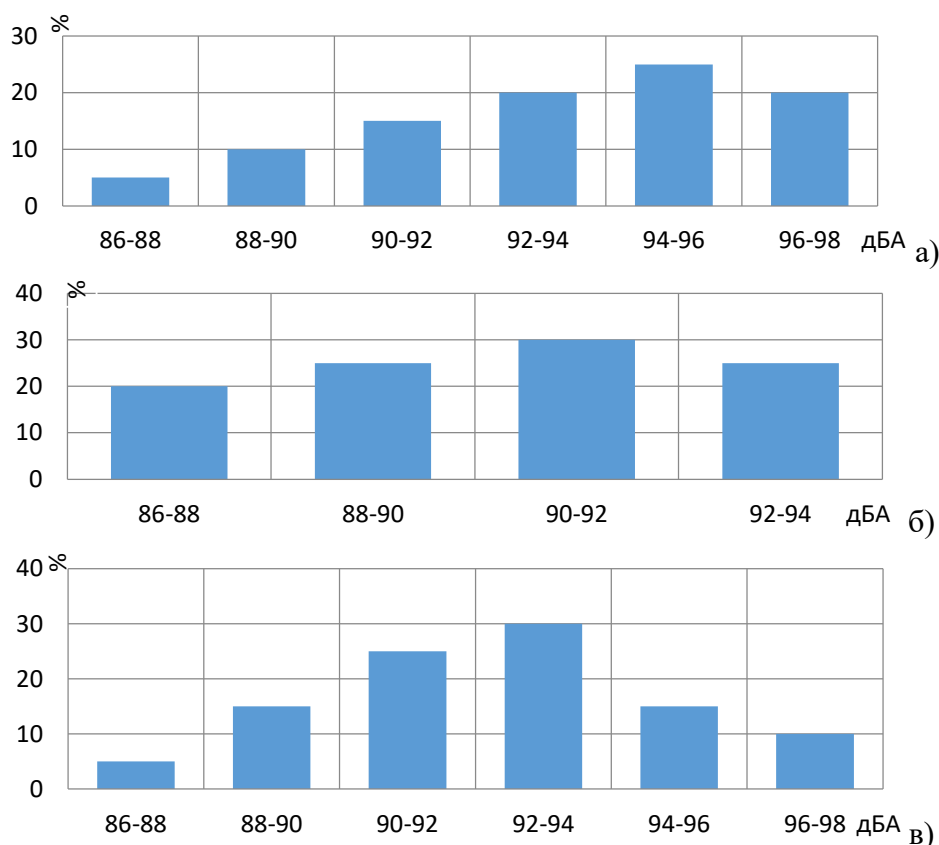


Рис. 2. Уровни звука сверлильно-фрезерно-расточных станков:
а) – при фрезеровании; б) – при сверлении, в) – при растачивании

В заключение стоит отметить, что снижение уровней звукового давления в металлообрабатывающей промышленности не только способствует улучшению условий труда, но и положительно сказывается на достижении более высоких стандартов качества изготовления изделий. Это направление исследований остается востребованным и перспективным, стимулируя разработку всё более совершенных технологий и методик в области акустики производственных процессов.

Библиографический список

1. **Финоченко, Т. А.** Влияние количественной оценки условий труда на величину производственного риска / Т. А. Финоченко, И. Г. Переверзев, В. А. Финоченко // Инженерный вестник Дона. – 2017. – № 4(47). – С. 139. – EDN YUQKXO.
2. **Баланова, М. В.** Методика и техническое обеспечение проведения экспериментальных исследований по определению шума на рабочих местах / М. В. Баланова,

Т. А. Финоченко, И. А. Яицков // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2019. – № 1. – С. 5-7. – EDN MKAIVJ.

3. Методические рекомендации по оценке условий труда для основных профессий ОАО РЖД / В. А. Финоченко, Т. А. Финоченко, В. А. Назимко [и др.]. – Ростов-на-Дону : Ростовский государственный университет путей сообщения, 2012. – 73 с. – EDN RJONZR.

4. **Морозов, С. А.** Экспериментальные исследования шума и вибрации при местном упрочнении деталей шарико-стержневым упрочнителем / С. А. Морозов, А. Н. Чукарин, Т. А. Финоченко // Мониторинг. Наука и технологии. – 2019. – № 1(39). – С. 65-69. – DOI 10.25714/MNT.2019.39.009 – EDN ZQYSLR.

5. Моделирование виброакустической динамической системы "обрабатываемые заготовки-ползуны" токарно-карусельных станков / А. Н. Чукарин, В. Ф. Безъязычный, П. В. Чумак. - Упрочняющие технологии и покрытия. 2021. Т. 17. № 12 (204). С. 531-536.

6. Характеристики шумового дискомфорта в рабочей зоне прутковых токарных станков / С. А. Раздорский, Т. А. Финоченко, А. Н. Чукарин, И. А. Яицков // Мониторинг. Наука и технологии. – 2018. – № 3(36). – С. 81-84. – EDN YCMIFF.

7. **Финоченко, Т. А.** Методика проведения экспериментальных исследований шума прутковых токарных автоматов / Т. А. Финоченко // Инновационные технологии в машиностроении и металлургии : Материалы IV Международной научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, 05–07 сентября 2012 года. – Ростов-на-Дону: Донской государственный технический университет, 2012. – С. 263-268. – EDN JDVMJB.

M. V. Grichishin

EXPERIMENTAL STUDIES OF SOUND PRESSURE LEVELS OF DRILLING-MILLING-BORING MACHINES

Abstract. The article considers the stages of experimental studies of noise and vibration spectra of drilling-milling-boring machines, carried out under the conditions of their industrial operation under various process loads. Experimental studies of the spectral composition of sound pressure levels during milling, drilling and boring for all models of the above-mentioned machines showed the identity in the pattern of distribution of the intensity of sound radiation by octaves. The obtained data determined the need to use noise reduction systems. It should be noted that noise reduction systems should be calculated and designed for the conditions of the noisiest options for implementing the technological process.

Keywords: drilling-milling-boring machines, technical characteristics, acoustic factors, experimental studies.

For citation: Grichishin, M. V. Experimental Studies of Sound Pressure Levels of Drilling-Milling-Boring Machines / M. V. Grichishin // Trudy Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobseniya. – 2024. – №. 4. – P. 21– 24.

Сведения об авторах

Гричишин Максим Владимирович
Ростовский филиал Академии
стандартизации, метрологии и
сертификации,
кафедра «Стандартизация, сертификация и
управление качеством»,
старший преподаватель

Information about the authors

Grichishin Maxim Vladimirovich
Rostov Branch of the Academy of
Standardization, Metrology and Certification,
Chair «Standardization, Certification and
Quality Management»,
Senior Lecturer

УДК 331.451

А. Б. Завьялов, Т. В. Глухих

РАСХОЖДЕНИЕ В НОРМАТИВНО-ПРАВОВЫХ АКТАХ, РЕГУЛИРУЮЩИХ ТРЕБОВАНИЯ ПО ОХРАНЕ ТРУДА НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ В РОССИИ И ЗА РУБЕЖОМ

Аннотация. В статье приведены результаты сравнения нормативно-правовых актов (НПА), регулирующие требования по охране труда на железнодорожном транспорте в РФ с соответствующими аналогичными регламентами и актами, принятыми в других странах. Кроме того, описываются НПА, регламентирующие охрану труда тех рабочих мест, на которых установлен вредный класс опасности, например, машинист поезда и монтер пути. В заключении приводится вывод, что установленные российским законодательством НПА в области ОТ не уступают зарубежным аналогам, однако не будет лишним модернизировать некоторые регламенты в РФ в соответствии с международным опытом для уменьшения показателей травматизма, профзаболеваний и увеличения работоспособности людей, занятых в железнодорожной отрасли.

Ключевые слова: законодательство, железнодорожный транспорт, охрана труда, регулирование, профессиональный риск.

Для цитирования: Завьялов, А. Б. Расхождение в нормативно-правовых актах, регулирующих требования по охране труда на железнодорожном транспорте в России и за рубежом / А. Б. Завьялов, Т. В. Глухих // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2024. – № 4. – С. 25 – 30.

Введение

Железнодорожный транспорт (далее ЖДТ) – один из главных двигателей экономики любой развитой страны, который обеспечивает перевозку пассажиров и грузов в промышленных масштабах. Однако стоит отметить тот факт, что работа на ЖДТ зависит от многих факторов профессионального риска (далее ПР), которые негативно влияют на работников, и поэтому имеется достаточно большое число рабочих мест, имеющих вредный класс опасности (3.1-3.4). К таким профессиям с вредными условиями труда можно отнести монтеров пути, машинистов тягового подвижного состава, осмотрщика вагонов, на которых воздействуют такие факторы производственной среды как шум, вибрация, психофизиологические нагрузки, тяжесть трудового процесса [1].

Перечисленные факторы отрицательно влияют не только на работников железнодорожного транспорта, но и на проживающее вблизи объектов железнодорожной инфраструктуры население. Для защиты охраны здоровья населения, подвергающемуся негативному воздействию производственных факторов железнодорожной отрасли, во многих странах мира разработаны и вступили в силу специальные программы, цель которых снизить ущерб, наносимый этими факторами. При этом, сравнивая данные программы, можно найти отличия в методиках контроля производственных факторов ЖДТ на людей и предотвращения их негативного воздействия.

Целью исследования является сравнительный анализ законодательной базы в области охраны труда для железнодорожной отрасли, принятой в РФ, с ее мировыми аналогами с использованием таких баз данных литературы как Scopus, Elibrary и Pubmed, применяя ключевые слова на английском и русском языках.

Шум

Основным актуальным международным документом, в котором указано допустимое воздействие шума на рабочих, является Стандарт ISO 1999:2013 «Акустика. Оценка потери слуха, вызванной действием шума», который последний раз пересматривался в 2018 году. В РФ действует стандарт ГОСТ Р ИСО 1999-2017 «Акустика. Оценка потери слуха в результате воздействия шума», в котором описывается методика оценки потери слуха для разных профессий с учетом возраста, профзаболеваний, а также содержатся данные статистических корреляций между сдвигом порога слышимости и действием шума [2].

Данные статистики в разных странах мира показывают, что около 38% взрослого населения, занятого на производстве, имеют профессиональную тугоухость, при этом большинство из них – это мужчины [3]. При этом заболевание развивается с очень слабыми симптомами или вообще без них. И хотя ученые мира занимаются этой проблемой, профсоюзы в разных странах не всегда акцентируют внимание на ней, считая тугоухость причиной возраста, а не воздействием производственного шума. При этом в тех исследованиях, которые занимались изучением тугоухости у работников на производстве, указано, что она больше всего распространена среди работников ЖДТ, в частности у машинистов и помощников машинистов [4].

Организацией, которая устанавливает гигиенические нормативы, контролирует и отвечает за вредное воздействие производственных факторов в Российской Федерации, является РосПотребНадзор. Для шума РосПотребНадзором был установлен предельно допустимый уровень (ПДУ) величиной 80 дБА, в том числе и для кабины локомотива. Однако во многих развитых странах шум в кабинах достигает 90-92 дБА, из-за чего в них необходимо применять защитные средства от поражения органов слуха машинистов. Для решения данной проблемы была предложена модернизация электродвигателей и дизелей локомотивов, например, изменена система подвески, звукоизоляции, подавлению шума [5].

В 2013 году норвежскими учеными провели исследование [6], в котором сравнили случаи потерь слуха машинистами с работниками других профессий и выявили, что у группы машинистов старше 45 лет наступает тугоухость чаще, чем у испытуемых групп представителей других профессий, снижение слуха больше всего выявлено на высоких частотах (3000-5000 Гц). Кроме того, отмечается зависимость потери слуха машинистами от типа двигателя, года его выпуска и ввода в эксплуатацию. Машинисты на дизельных локомотивах оказались в более опасной ситуации, чем их коллеги на электровозах.

В 2016 году в Канаде измеряли уровни шума в кабинах машинистах на разных маршрутах в разные периоды года [7] и выявили закономерность, что эквивалентный уровень шума летом был выше, чем зимой (89 дБА летом и 84 дБА зимой). В более половины проведенных опытах уровень шума превышал 85 дБА, а в 13% был выше 90 дБА. Кроме двигателей на создаваемый железнодорожным транспортом шум влияет рельеф местности, наличие туннелей и акустических экранов, располагаемых вдоль путей.

Стоит отметить, что наличие экранов не дает гарантии снижения шума для близлежащего населения, особенно в городской черте и наличии многоэтажных домов, а для машинистов они создают дополнительную шумовую нагрузку вследствие отраженного шума. Кроме того, не стоит забывать о действии инфразвука, долю которого в нарушении здоровья машинистов оценить затруднительно. В последнее время в ОАО «РЖД» происходит модернизация подвижного состава и применяемых на нем двигателей, однако из-за политической ситуации и введенных санкций процесс замедлился и далек от завершения.

Помимо этого, продолжается эксплуатация ретро поездов, которые модернизации не подлежат.

Вибрация

Основным международным документом, регулирующим действие вибрации на человека, является ISO 2631-1:1997; ратифицированный в РФ документ - ГОСТ 31191.1-2004 «Вибрация и удар. Измерение общей вибрации и оценка ее воздействия на тело человека». Но в данном стандарте не полностью учитывается общее воздействие вибрации при перемещении в пространстве. Стандартный предельно допустимый уровень вибрации для горизонтального перемещения 115 Дб, для вертикального – 112 Дб. При этом нужно учитывать, что кабины локомотивов старого образца могут не соответствовать данным нормативам, превышая ПДУ, что при содействии шума дает вредный класс опасности условий труда [8].

Исследование вибрации в кабинах локомотивов в разных странах остается на низком уровне, например, предложенное как способ снижения действия вибрации на машинистов специальное кресло с вибропоглощающими элементами не только не дало положительный эффект, основываясь на субъективное ощущение машинистами действия вибрации на тело, но и увеличило число жалоб от них на боли в пояснице, шее и ногах. При этом уровень вибрационной болезни оставалась на прежних показателях. Помимо этого, необходимо уделить внимание на состояние железнодорожных путей, частоты вращения двигателей, которые непосредственно влияют на уровни вибрации в кабине локомотива, длины поезда, типов вагонов и т.п.

Все эти факторы приводят к тому, что среди машинистов начинаются гормональные сбои (нехватка витамина D и тестостерона), что является дополнительным риском возникновения сердечно-сосудистых заболеваний из-за влияния на сократительную функцию сердца. Помимо этого, активируется симпатическая нервная система, приводящая к сонливости машинистов и, следовательно, увеличению риска возникновения аварийной ситуации [9]. Помимо машинистов нельзя не отметить, что вибрация влияет и на монтеров пути, которые находятся рядом с проезжающими мимо поездами. У них наблюдаются боли в ногах, а точнее в коленях, пояснице, также в шейном отделе позвоночника. Нормирование и оценка вибрации в РФ и в зарубежных странах происходит при стандартизированных условиях, что совсем корректно, потому что реальные условия производственной среды могут давать совершенно иные результаты. Кроме того, необходимо учитывать продолжительность воздействия вибрации при пересмотре и внесении изменений в эти стандарты – даже находясь в пределах ПДУ, продолжительное воздействие вибрации может привести к получению профзаболеваний.

Микроклимат. Освещенность. Химический фактор

Международными стандартами, регулирующими микроклимат на рабочих местах, в том числе на подвижном составе, являются стандарты ISO 19659-1:2017 «Системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха» и ISO 19659-2: 2020 «Системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха для подвижного состава». Нужно учитывать тот факт, что современные локомотивы проектируются с целью максимальной защиты от воздействия параметров микроклимата, а многие жалобы локомотивных бригад на некомфортные микроклиматические условия достаточно субъективны.

Для РФ основным регламентирующим документом для оценки воздействия на работника таких факторов как химический, микроклимат, освещенность, является СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания". Исследования отечественных ученых по воздействию параметров микроклимата на машинистов и помощников машинистов [10] не выявили отклонений от действующего регламента, однако следует помнить, что повышенная или пониженная температура увеличивает риск ухудшения здоровья

локомотивной бригады, а, следовательно, возрастает вероятность ошибки машиниста, снижается работоспособность, появляется необходимость в медицинской реабилитации.

Следует отметить, что отечественная законодательная база устанавливает нормы микроклимата в кабинах локомотивов в большей степени, чем для пассажирских вагонов, в отличие от зарубежных аналогов, поэтому необходимы дальнейшие изучения в этой области для разработки новых подходов к нормированию микроклимата.

Нагрузка на зрительный анализатор машиниста зависит от: света объектов, расположенных непосредственно с железнодорожным полотном (светофоры, лампы сигнальные столбы); мерцания рельсов и шпал; мерцания объектов ЖДТ инфраструктуры; контраста условий в дневное и ночное время поездки; въезда, движения и выезда из тоннелей и последующим ослеплением на короткое время (особенно при наличии яркого солнечного света)

Перечисленные факторы создают дополнительную нагрузку на органы зрения и ведут к быстрому функциональному утомлению, однако законодательно эти факторы оценке не подлежат, ни в РФ, ни в международном законодательном поле; существуют лишь рекомендации по профилактике зрительного анализатора работникам, занятых на работах по обеспечению движения поездов.

Если говорить о влиянии на воздух рабочей зоны в кабине локомотива химического фактора, то с учетом наличия у современных электродвигателей систем очистки и фильтрации, полностью очистить воздух от вредных веществ (в первую очередь, от оксидов азота, углерода, серы) поступающих извне кабины внутрь не представляется возможным; помимо этого нужно помнить о закрытых помещениях, в которых работают люди, занятые обследованием технического состояния подвижного состава. Но измерения, проведенные и в западных странах, и у нас [11-12], показали, что концентрация вредных веществ оказалась ниже ПДК, а их суммарное воздействие и на работников ЖДТ, и на пассажиров остается незначительным.

Заключение

Факторы производственной среды, которые были рассмотрены в статье, воздействуют как на работников ЖДТ, в частности, машинистов, помощников машинистов, монтеров пути, так и на проживающее поблизости от объектов железнодорожной инфраструктуры население. Если проанализировать существующую нормативную базу по охране здоровья железнодорожников зарубежных стран и действующей в РФ, то можно сделать вывод о схожести этих баз – стандарты, принятые в РФ, в основном, соответствуют мировым аналогам. Основы унификации отечественного законодательства с зарубежным закреплены Федеральным законом от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ "О техническом регулировании".

При этом российское законодательство делает акцент на изучение факторов профессионального риска (ПР) и их негативное действие на организм работника, а зарубежное – на решение проблем со здоровьем работников путем технических инноваций.

Однако ряд вопросов остается нерешенным и требует дальнейшего изучения для регулирования законодательной базы:

1. Исследование факторов ПР проходит в стандартных условиях без учета особенностей эксплуатации подвижного состава – необходимо разработать методику или модель для корректного измерения и изучения этих факторов.

2. Оценка действия каждого фактора ПР проводится в относительных значениях, суммарное воздействие этих факторов остается неисследованным, также, как и оценка времени, когда действие того или иного фактора отсутствует; это время нигде не учитывается и не регламентируется.

3. Отсутствие оценки эффекта накопления действия различных факторов в случае, когда их значения оказываются в допустимых пределах.

Синхронизация российской и зарубежной законодательной базы по снижению суммарного воздействия факторов профессионального риска позволит сохранить длительную работоспособность и предотвратить профессиональные заболевания работников железнодорожного транспорта, а дальнейшие исследования и развитие (при отсутствии современных регламентов как в случае со зрительными нагрузками) позволят улучшить их здоровье и продлить активную трудовую жизнь.

Библиографический список:

1. **Плахотник, В. Н., Лахнова, Ж. В.** Взаимодействие железнодорожных объектов с окружающей средой // Окружающая экономика. – 2002. – № 4. С. 163–169.
2. **Терловая, Н. В., Ступак, А. А.** Технологические решения по минимизации шума и вибрации на железнодорожном транспорте. В сборнике: Проблемы и перспективы формирования инфраструктуры экономики знаний, сборник статей. Москва, 2018. – С.177-181.
3. **Канонин, Ю. Н., Харитonenko, А. Л., Чапурина, А. С.** Анализ изменения льгот и компенсаций работникам железнодорожного транспорта // Безопасность жизнедеятельности. – 2023. – Т.272. – №8. – С.16-23
4. **Завьялов, А. Б., Копытенкова, О. И., Евстафьев А. М.** Исследование смягчения вибрации и переизлученного шума в зданиях, создаваемых при движении железнодорожного транспорта // Известия Петербургского университета путей сообщения. - 2023. – Т.20. – № 2. – С. 433-440.
5. **Иванов, Н. И.** Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом // Учебник. Москва. – 2016.
6. **Lie, A., Skogstad, M., Johnsen, T.S., Engdahl, B., Tambs, K.** Hearing status among Norwegian train drivers and train conductors // Occup. Med. (Lond). - 2013. Volume 63. no. 8. pp. 544–548.
7. **Seshagiri, B.** Exposure to noise on board locomotives // AINA J. (Fairfax, Va). - 2003. – Volume 5. № 64. pp. 699–707.
8. **Акулова, Е. А.** Технология защиты зданий от вибрации// Инновационный потенциал развития общества: взгляд молодых ученых. Сборник научных статей II Всероссийской конференции перспективных разработок. Москва. -2021. – Т.5. – С192-194.
9. **Clark, C., Paunovic, K.** WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A Systematic Review on Environmental Noise and Cognition // Int. J. Environ. Res. Public. Health. -2018. - Volume 7. № 15 (2). pp. E285.
10. **Сериков В. В., Жидкова Е. А., Колягин В. Я., Закревская А. А., Богданова В.Е.** Социальные и психологические, организационные факторы, влияющие на профессиональную деятельность работников локомотивных бригад // Медицина труда и промышленная экология. – 2017. – № 7. – С.17-21.
11. **Seaton, A., Cherrie, J., Dennekamp, M., Donaldson, K., Hurley, J.F., Tran, C.L.** The London Underground: dust and hazards to health // Occup. Environ. Med. – 2005. – Volume 62. № 6. pp. 355–362.
12. **Каськов, Ю. Н., Подкорытов, Ю. И.** Актуальные проблемы обеспечения санитарно-эпидемиологической безопасности пассажирских и грузовых перевозок на российских железных дорогах // Медицина труда и экология человек. – 2016. – №.4. – С. 91–97.
13. **Воробинская, Л. И.** Специальная оценка условий труда как информационная база для внедрения риск-ориентированного подхода в сфере охраны труда / Л. И. Воробинская, В. А. Финоченко, Т. А. Финоченко // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2020. – № 2(51). – С. 18-21. – EDN OYYDZB.

14. Методические рекомендации по оценке условий труда для основных профессий ОАО РЖД / В. А. Финоченко, Т. А. Финоченко, В. А. Назимко [и др.]. – Ростов-на-Дону : Ростовский государственный университет путей сообщения, 2012. – 73 с. – EDN RJOHZIP.

A. B. Zavyalov, T. V. Glukhikh

DISCREPANCIES IN REGULATORY LEGAL ACTS GOVERNING LABOR PROTECTION REQUIREMENTS IN RAILWAY TRANSPORT IN RUSSIA AND ABROAD

Abstract. The article presents the results of comparison of regulatory and legal acts (RLA) regulating labor protection requirements for railway transport in the Russian Federation with the corresponding similar regulations and acts adopted in other countries. In addition, it describes the NLAs regulating labor protection of those jobs that have a harmful class of hazard, such as train driver and track fitter. The conclusion is made that the established by the Russian legislation NAPs in the field of OHS are not inferior to foreign analogues, but it will not be superfluous to modernize some regulations in the Russian Federation in accordance with international experience to reduce the rate of injuries, occupational diseases and increase the working capacity of people employed in the railway industry.

Keywords: legislation, railway transport, labor protection, regulation, occupational risk

For citation: Zavyalov, A. B. Discrepancies in Regulatory Legal Acts Governing Labor Protection Requirements in Railway Transport in Russia and Abroad / A. B. Zavyalov, T. V. Glukhikh //Trudy Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobseniya. – 2024. – №. 4. – P. 25 – 30.

Сведения об авторах

Завьялов Алексей Борисович

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I (ПГУПС),
кафедра «Техносферная и экологическая безопасность»,
ассистент
e-mail: zenitpiter91@inbox.ru

Глухих Татьяна Владимировна

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I (ПГУПС),
кафедра «Техносферная и экологическая безопасность»,
студент
e-mail: gluhih_tv@mail.ru

Information about the authors

Zavyalov Alexey Borisovich

Alexander I St. Petersburg State Transport University (PSTU),
Chair «Technosphere and Environmental Safety»,
Assistant,
e-mail: zenitpiter91@inbox.ru

Glukhikh Tatyana Vladimirovna

Alexander I St. Petersburg State Transport University (PSTU),
Chair «Technosphere and Environmental Safety»,
Student,
e-mail: gluhih_tv@mail.ru

УДК 658.345 + 06

С. П. Рыжов, А. Г. Солдатов, О. Г. Харламов, Т. А. Финоченко

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА ВИБРАЦИЙ ЗУБООБРАБАТЫВАЮЩИХ СТАНКОВ

Аннотация. В статье рассматриваются результаты экспериментальных исследований спектров вибраций зубообрабатывающих станков, проведенные в условиях их промышленной эксплуатации при различных технологических нагрузках и производящих обработку зубчатых колес методом обкатки. В ходе экспериментальных исследований были зафиксированы спектры вибраций для различных режимов обработки. Анализ полученных данных показал, что амплитуды вибраций существенно зависят от технологических параметров, таких как скорость резания, подача и глубина врезания инструмента. Наибольшие уровни вибраций наблюдались при обработке заготовок с высокой твердостью и при использовании изношенного инструмента. При этом спектры вибраций характеризовались наличием гармоник, связанных с частотой вращения шпинделя и зубчатой передачей станка.

Ключевые слова: зубообрабатывающих станки, вибрация, спектральный состав вибраций.

Для цитирования: Рыжов, С. П. Экспериментальные исследования спектрального состава вибраций зубообрабатывающих станков/ С. П. Рыжов, А. Г. Солдатов, О. Г. Харламов, Т. А. Финоченко // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2024. – № 4. – С.31 – 36.

Экспериментальные исследования спектрального состава вибраций зубообрабатывающих станков представляют собой важный этап в изучении динамических процессов, происходящих в данных типах оборудования. Вибрации, возникающие в процессе обработки зубчатых колес, оказывают существенное влияние на точность изготовления деталей, качество поверхности и долговечность инструмента. В связи с этим анализ спектрального состава вибраций позволяет выявить основные источники колебаний, определить их частотные характеристики и разработать меры по снижению их негативного воздействия. Для косвенной идентификации вклада основных источников измерялись уровни вибрации на режущем инструменте, зубчатых колесах. Несмотря на различие технологических процессов при методах обката и копирования теоретическое исследование процессов возбуждения вибраций может быть выполнено единым методологическим подходом[1].

Для проведения экспериментальных исследований использовались современные измерительные системы, включающие акселерометры, анализаторы спектра и специализированное программное обеспечение для обработки данных. Датчики крепились к измерительной поверхности с помощью специальных магнитов. Возможность проведения таких измерений объясняется тем, что режущий инструмент совершает возвратно-поступательное перемещения, а нарезаемые колеса вращаются с малой скоростью. Измерения проводились на различных режимах работы станков, включая изменение скорости резания, подачи и глубины обработки. Полученные данные позволили выделить

основные частотные составляющие вибраций, связанные как с работой механизмов станка, так и с процессами резания.

Результаты исследований показали, что спектральный состав вибраций зубообрабатывающих станков имеет сложную структуру, включающую гармонические составляющие, обусловленные вращением шпинделя, движением суппорта и взаимодействием режущего инструмента с заготовкой. Были выявлены также высокочастотные компоненты, связанные с ударными процессами при врезании инструмента в материал. Некоторые модели современных зубодолбежных и зубострогальных станков оснащены гидроприводом, совершающим возвратно-поступательное движение режущего инструмента. Однако на машиностроительных предприятиях интенсивно эксплуатируются зуборезные станки с кривошипным приводом главного движения режущего инструмента, у которых уровни выше, чем у гидрофицированных. На основе анализа спектров удалось установить, что значительная часть вибраций сосредоточена в диапазоне частот от 100 Гц до 2000 Гц, что соответствует основным динамическим процессам, происходящим в станке.

Важным аспектом исследования стало выявление резонансных явлений, возникающих при совпадении частот вынужденных колебаний с собственными частотами элементов конструкции станка. Это позволило предложить рекомендации по оптимизации режимов обработки и модернизации конструкции станков для снижения уровня вибраций. В частности, было предложено использование демпфирующих элементов и изменение геометрии режущего инструмента для уменьшения ударных нагрузок[2].

Уровни вибраций на зубодолбежном станке модели 5М150 с кривошипным приводом главного движения приведены на рисунке 1.

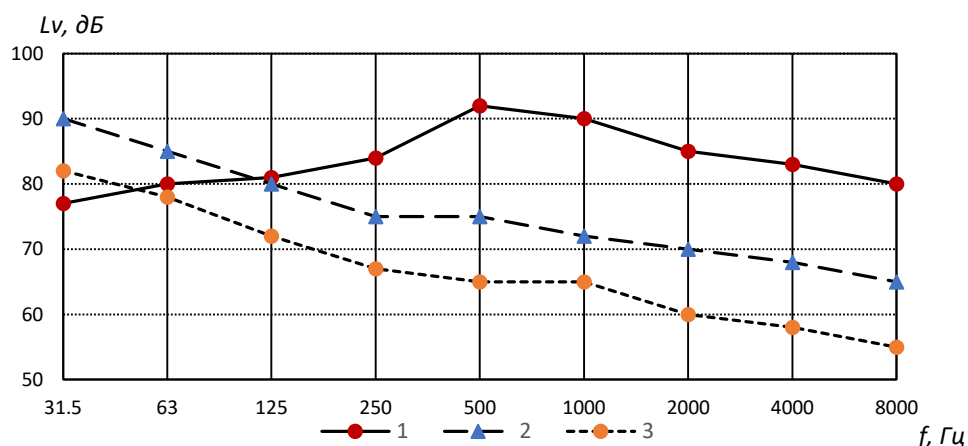


Рис. 1. Спектры вибраций на элементах зубодолбежного станка с кривошипным приводом:

1 – на долбяке; 2 – на зубчатом колесе; 3 – на корпусе привода главного движения;
4 – на станине

Максимальные уровни вибраций создаются на режущем инструменте и зубчатом колесе обусловлены динамическими нагрузками, возникающими в процессе обработки зубчатых колес. Эти нагрузки связаны с прерывистым характером резания, а также с взаимодействием долбяка и заготовки. При этом вибрационные колебания передаются через элементы конструкции станка, что приводит к их затуханию на опорных элементах. Это объясняется наличием демпфирующих свойств материалов станины и гидравлической системы, которые эффективно поглощают часть энергии колебаний. Уровни вибрации на несущей системе станка не превышают 75 дБ и не оказывают влияния на формирование звукового поля на рабочих местах станочников.

На станине зубодолбежного станка с гидрофицированным приводом главного движения (рисунок 2) уровни вибраций на долбяке и зубчатом колесе практически не отличаются. Однако на элементах несущей системы станка уровни вибраций 7 - 10 дБ ниже.

Анализ спектра вибрационных сигналов показывает, что основная доля энергии сосредоточена в диапазоне частот 200 - 800 Гц, что соответствует частотам, характерным для работы зубодолбежного станка, включая частоты вращения долбяка и зацепления зубьев. На более высоких частотах, свыше 1000 Гц, уровни вибрации существенно снижаются, что свидетельствует об отсутствии резонансных явлений в конструкции станка.

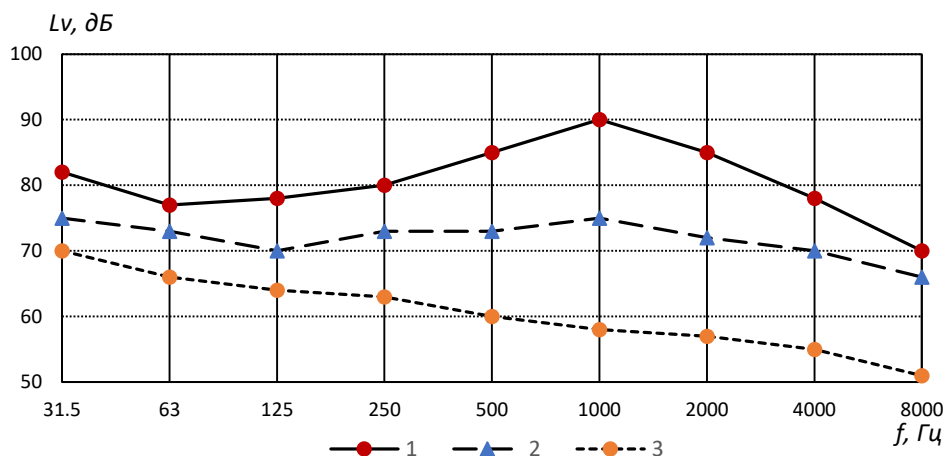


Рис. 2. Спектры вибраций на элементах станка с гидрофицированным приводом:

1 – на строгальных резцах; 2 – на зубчатом колесе;

3 – на корпусе привода главного движения; 4 – на станине станка

Уровни вибраций на элементах зубострогального станка модели 5С286П приведены на рисунке 3. Анализ данных позволяет выделить ключевые зоны, где наблюдаются максимальные амплитуды колебаний. В частности, повышенные уровни вибраций зафиксированы на строгальных резцах и на зубчатом колесе, что может быть связано с динамическими нагрузками, возникающими в процессе обработки зубчатых колес. Также заметны колебания на станине станка, которые, вероятно, обусловлены передачей вибраций от других элементов конструкции.

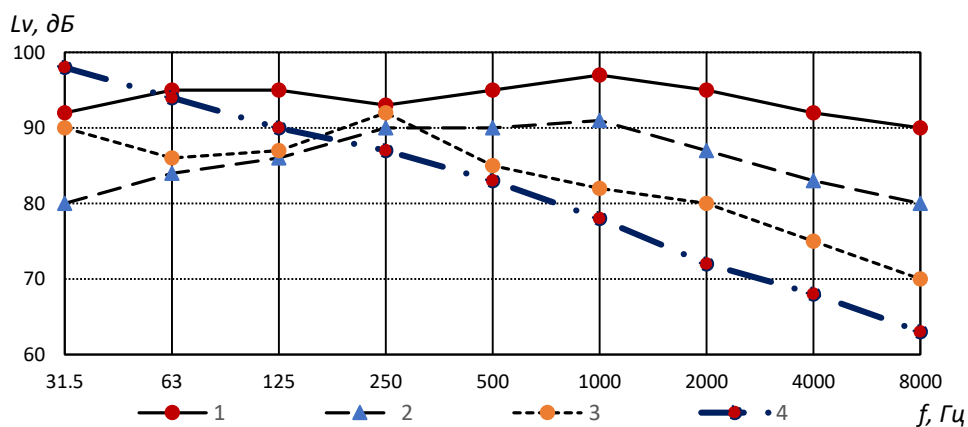


Рис. 3. Спектры вибраций на элементах зубострогального станка:

1 – на строгальных резцах; 2 – на зубчатом колесе;

3 – на корпусе привода главного движения; 4 – на станине

Поэтому для идентичных источников, создающих уровни звукового давления, превышающие санитарные нормы, измерялись уровни вибраций, как на заготовках, так и на элементах несущей системы.

Измеренные спектры вибраций на элементах зубофрезерного станка показали, что максимальные уровни вибраций зафиксированы на обрабатываемом зубчатом колесе и оправке зубчатого колеса и узла фрезерования. Результаты измерений приведены на

рисунке 4. Для всех станков основными источниками вибрации являются: обрабатываемые зубчатые колеса, оправки зубчатых колес, фрезы и оправки фрез [3,4].

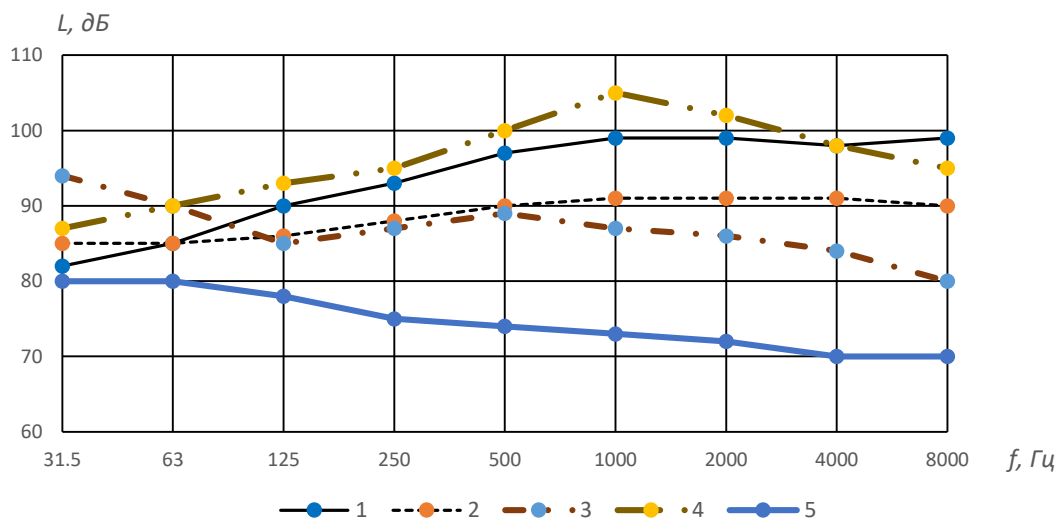


Рис. 4. Спектры вибраций на элементах зубофрезерного станка:

1 – на зубчатом колесе; 2 – на оправке; 3 – на узле резания;
4 – на корпусе фрезерной бабки; 5 – на станине

Измерения спектров вибраций зубошлифовальных станков проводились на зубчатых колесах, оправках, шлифовальной бабке, станине станков, работающих по методу обката [5,7]. Результаты измерений приведены на рисунке 5.

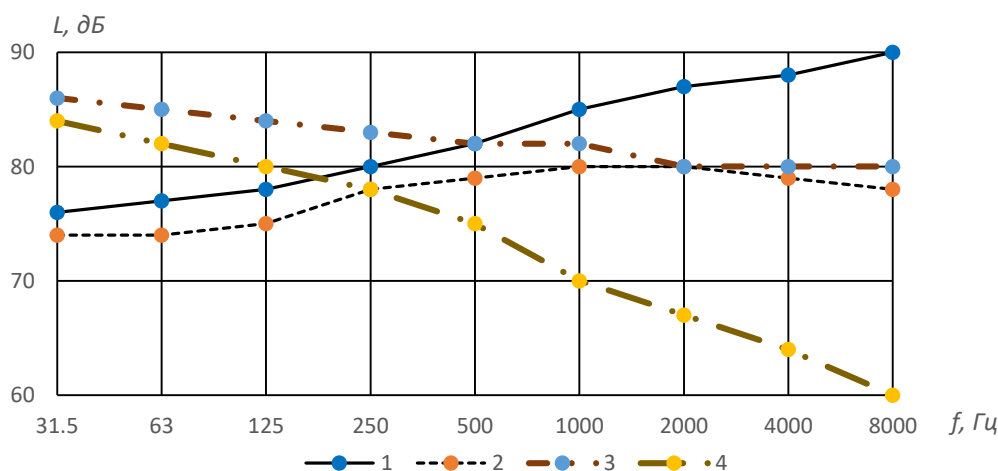


Рис. 5. Спектры вибраций на элементах зубошлифовального станка:

1 – на зубчатом колесе; 2 – на оправке; 3 – на шлифовальной бабке; 4 – на станине

Измерения вибраций на рабочих местах станочников показали, что их уровни значительно ниже санитарных норм и в данной работе не приведены.

Таким образом, экспериментальные исследования, проведенные в условиях реальной эксплуатации станков, подтвердили правильность теоретических выводов о закономерностях формирования спектрального состава шума, как с точки зрения доминирующих источников, так и подхода к построению моделей виброакустической динамики зубообрабатывающего оборудования. Результаты имеют практическое значение для повышения точности и производительности станков, снижения износа инструмента и увеличения срока службы оборудования [8,9].

Полученные данные также указывают на необходимость регулярного технического обслуживания станка, включающего проверку затяжки крепежных элементов и смазку подвижных частей, что позволит не только снизить уровни вибраций, но и продлить срок службы оборудования. В случае сохранения высоких амплитуд колебаний после проведения указанных мероприятий, рекомендуется провести более детальный анализ с использованием специализированного оборудования для выявления скрытых дефектов. Дальнейшие исследования могут быть направлены на изучение влияния различных материалов заготовок и инструментов на спектральный состав вибраций, а также на разработку адаптивных систем управления, способных минимизировать колебания в реальном времени.

Библиографический список

1. **Солдатов, А. Г.** Идентификация факторов производственного процесса при работе на зубообрабатывающих станках / А. Г. Солдатов, О. Г. Харламов, Т. А. Финоченко // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2021. – № 2(55). – С. 118-121. – EDN YTGDDT.
2. **Ryzhov S. P.** Model validation of the acoustic systems "tooth wheels-mandrels" of the vertical gear generator and gear shaping machines / S. Ryzhov, T. Finochenko, A. Chukarin, I. Yaitskov // Akustika. – 2021. – Vol. 41. – P. 90-93. – DOI 10.36336/akustika20214190. – EDN UTYWXV.
3. **Харламов, О. Г.** Результаты исследований спектров вибраций зубофрезерных станков / О. Г. Харламов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2023. – № 1. – С. 495-499. – DOI 10.24412/2071-6168-2023-1-495-499. – EDN WXQIEJ.
4. **Kharlamov, O. G.** Theoretical analysis of the vibration inducing processes of the "workpiece-mandrel" assemblies during gear-tooth milling / O. G. Kharlamov, T. A. Finochenko, A. N. Chukarin // E3S Web of Conferences: International Scientific Conference Transport Technologies in the 21st Century (TT21C-2023) «Actual problems of Decarbonization of Transport and Power Engineering: Ways of Their Innovative Solution» – Rostov-on-Don, Russia: EDP Sciences, 2023. Vol. 383– P. 04037. – DOI 10.1051/e3sconf/202338304037. – EDNNABKTJ.
5. **Солдатов, А. Г.** Анализ спектрального состава вибраций при работе зубошлифовальных станков / А. Г. Солдатов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2023. – № 1. – С. 477-480. – DOI 10.24412/2071-6168-2023-1-477-480. – EDN QZNRYS.
6. **Морозов С. А., Чукарин А. Н., Финоченко Т. А.** Экспериментальные исследования шума и вибрации при местном упрочнении деталей шарико-стержневым упрочнителем // Мониторинг. Наука и технологии. 2019. – № 1 (39). – С. 65-69.
7. **Месхи, Б. Ч.** Исследование виброакустических характеристик малошумного механизма поддержки прутка / Б. Ч. Месхи, Т. А. Финоченко // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2009. – № 4(36). – С. 27-30. – EDN MIPLGR.
8. Методические рекомендации по оценке условий труда для основных профессий ОАО РЖД / В. А. Финоченко, Т. А. Финоченко, В. А. Назимко [и др.]. – Ростов-на-Дону : Ростовский государственный университет путей сообщения, 2012. – 73 с. – EDN RJONZR.
9. **Яицкова, Н. М.** Снижение шума металлорежущих станков / Н. М. Яицкова, Т. А. Финоченко, И. Г. Переверзев // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2020. – № 2(51). – С. 112-115. – EDN BIWPKX.

S. P. Ryzhov, A. G. Soldatov, O. G. Kharlamov, T. A. Finochenko

EXPERIMENTAL STUDIES OF THE SPECTRAL COMPOSITION OF VIBRATIONS OF GOOTHING MACHINES

Abstract. The article discusses the results of experimental studies of the vibration spectra of gear-processing machines, carried out under conditions of their industrial operation under various technological loads and processing gears by the rolling-in method. During experimental studies, vibration spectra were recorded for various processing modes. Analysis of the obtained data showed that vibration amplitudes significantly depend on technological parameters, such as cutting speed, feed and tool penetration depth. The highest levels of vibration were observed when processing workpieces with high hardness and when using worn tools. In this case, the vibration spectra were characterized by the presence of harmonics associated with the spindle speed and gear transmission of the machine.

Keywords: gear-processing machines, vibration, spectral composition of vibrations

For citation: Ryzhov, S.P. Experimental Studies of the Spectral Composition of Vibrations of Goothing Machines / S. P. Ryzhov, A. G. Soldatov, O. G. Kharlamov, T. A. Finochenko // Trudy Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobseniya. – 2024. – №. 4. – P. 31 – 36.

Сведения об авторах

Рыжов Сергей Петрович

Ростовский государственный университет
путей сообщения (РГУПС),
Научно-производственный центр «Охрана
труда»,
ведущий инженер,
e-mail: ryzhov_2014@mail.ru

Солдатов Александр Григорьевич

Ростовский государственный университет
путей сообщения (РГУПС),
кафедра «Безопасность жизнедеятельности»,
кандидат технических наук, доцент,
e-mail: smspal@mail.ru

Харламов Олег Геннадьевич

Ростовский государственный университет
путей сообщения (РГУПС),
кафедра «Безопасность жизнедеятельности»,
кандидат технических наук, доцент,
e-mail: smspal@mail.ru

Финоченко Татьяна Анатольевна

Ростовский государственный университет
путей сообщения (РГУПС),
кафедра «Безопасность жизнедеятельности»,
кандидат технических наук, заведующий
кафедрой, доцент,
e-mail: fta09@bk.ru

Information about the authors

Ryzhov Sergei Petrovich

Rostov State Transport University (RSTU),
Research and Production Center
«Occupational Safety»,
Leading Engineer,
e-mail: ryzhov_2014@mail.ru

Soldatov Alexander Grigorievich

Rostov State Transport University (RSTU),
Chair «Life Safety»,
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
e-mail: smspal@mail.ru

Kharlamov Oleg Gennadievich

Rostov State Transport University (RSTU),
Chair «Life Safety»,
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
e-mail: smspal@mail.ru

Finochenko Tatyana Anatolyevna

Rostov State Transport University (RSTU),
Chair «Life Safety»,
Candidate of Technical Sciences, Head of
the Chair, Associate Professor,
e-mail: fta09@bk.ru

УДК621.9 + 06

И. А. Смычок, Е. М. Щерба, А. Н. Чукарин

ИСТОЧНИКИ ШУМА БЕЗЦЕНТРОВОШЛИФОВАЛЬНЫХ И АЛМАЗНО-ОТРЕЗНЫХ СТАНКОВ

Аннотация. Металлообрабатывающее оборудование содержит ряд независимых источников генерации шума. Следует отметить, что абразивные и дисково-отрезные станки-автоматы интенсивно эксплуатируются практически на всех предприятиях машиностроительной отрасли и создают уровни звука до 95 дБ (безцентровошлифовальные) и до 100 дБ (алмазно-отрезные), что на 15–20 дБ превышает допустимые величины. Известно, что такое воздействие шума негативно влияет на здоровье работающих, снижает производительность труда и увеличивает брак при выпуске продукции. Снижение уровня шума вышеуказанных станков позволяет существенно улучшить условия их эксплуатации. Несмотря на различие технологических процессов, реализуемых на данных станках, анализ их компоновок показал на идентичность моделирования процессов, формирующих спектральный состав шума, в особенности, узлов резания.

Ключевые слова: шум; безцентровошлифовальные станки; алмазно-отрезные станки; моделирование источников шума; акустические модели

Для цитирования: Смычок И. А. Источники шума безцентровошлифовальных и алмазно-отрезных станков / И. А. Смычок, Е. М. Щерба, А. Н. Чукарин // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2024. – № 4. – С.37 – 43.

Современное оборудование является травмоопасным, и одной из основных причин является наличие вредных и опасных производственных факторов, появляющихся в ходе его эксплуатации. Шум, возникающий при работе безцентровошлифовальных и алмазно-отрезных станков, является одной из ключевых проблем, влияющих на условия труда операторов и окружающую среду. Основные источники шума можно разделить на несколько категорий, каждая из которых имеет свои особенности и требует индивидуального подхода для минимизации воздействия.

Механические источники шума:

- Вибрации, возникающие при вращении шлифовальных кругов и отрезных дисков, передаются на корпус станка и окружающие конструкции, создавая низкочастотный шум.
- Ударные нагрузки, связанные с процессом резания или шлифования, особенно при обработке твердых материалов, вызывают импульсный шум.
- Неравномерность износа инструмента или его дисбаланс приводят к дополнительным вибрациям и шуму.

Аэродинамические источники шума:

- Вращение инструмента на высоких скоростях создает турбулентные потоки воздуха, которые генерируют высокочастотный шум.

– Системы охлаждения и подачи СОЖ (смазочно-охлаждающей жидкости) также могут быть источником шума, особенно при неправильной настройке или износе компонентов.

Электрические и электромагнитные источники:

– Двигатели и приводы станков, особенно при работе на высоких оборотах, создают шум, связанный с вибрациями обмоток и магнитными полями.

– Неисправности в электрической системе, такие как искрение или перегрузка, могут усиливать уровень шума.

Шум от взаимодействия инструмента и заготовки:

– Процесс резания или шлифования сопровождается трением и деформацией материала, что приводит к генерации шума на частотах, зависящих от свойств обрабатываемого материала и параметров обработки.

– Использование алмазных отрезных дисков, особенно при резке твердых сплавов, создает характерный высокочастотный свист.

Понимание природы источников шума и их устранение не только улучшает условия труда, но и повышает точность и качество обработки, что делает этот вопрос важным аспектом в эксплуатации безцентровошлифовальных и алмазно-отрезных станков.

Важность проведения исследований связана с тем, что шум является одним из комплексных показателей качества оборудования, так как пребывание в условиях шумового дискомфорта в течение длительного времени ведет к нарушениям здоровья работающих и снижению работоспособности. Наиболее эффективным способом обеспечения качественной работы технологического оборудования является оптимизация виброакустических параметров при проектировании такого оборудования с использованием методов и средств защита от шума, а также мониторинг и диагностика технического состояния станков.

Основными источниками шума безцентровошлифовальных станков являются шлифующий и ведущий круги, а у алмазно-отрезных абразивные круги и пильные диски, а также оправки на которых они закрепляются. Станки шлифовальной группы включают алмазно-отрезные и бесцентрово-шлифовальные. Общие виды станков приведены на рисунке 1.

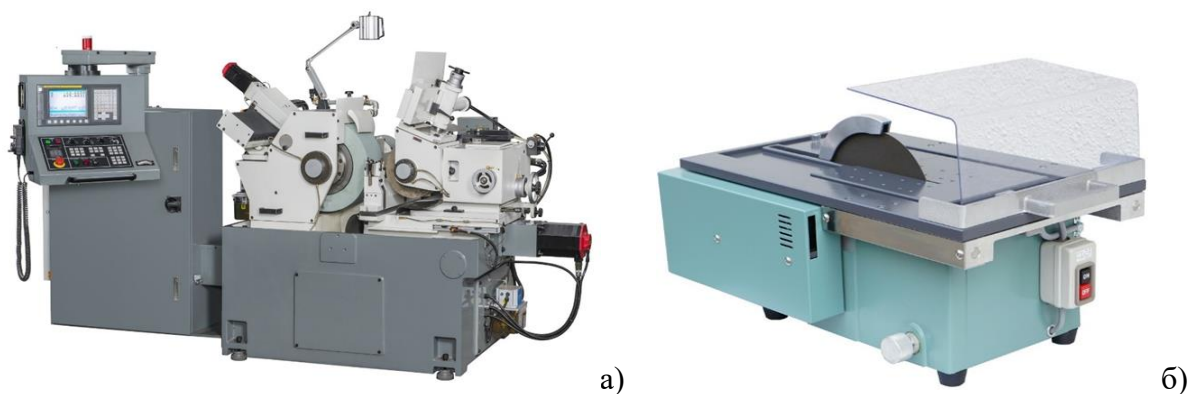


Рис. 1. Общий вид станка:

а) – безцентровошлифовальный; б) – абразивно-отрезной

В качестве акустических моделей шлифовальных кругов и пильных дисков принята круглая пластина, закрепленная в центре, а для оправки – цилиндр ограниченной длины с различными способами закрепления – консольным, шарнирно-опертым.

Моделирование источников шума

Выражения звукового давления (P) звуковой мощности (N) и их уровней (L_P и L_N) с учетом данных работ [1-3] приведены следующему виду:

для шлифовальных кругов и пильных дисков

$$P = \frac{R^2 2\pi f_k \rho_0 V_k}{2r} = \frac{0.95 D^2 f_k V_k}{r}$$

$$L_P = 20 \lg \frac{0.95 D^2 f_k V_k}{2 \cdot 10^{-5} r} = 20 \lg \frac{f_k V_k}{r} + 40 \lg D + 94, \text{ дБ}$$

$$N = \frac{\pi R^2 \rho_0 (2\pi f_k R)^2 V_k^2}{2C_0} = 10^{-2} D^4 (f_k V_k)^2$$

$$L_N = 20 \lg \frac{10^{-2} D^4 (f_k V_k)^2}{10^{-12}} = 20 \lg f_k V_k + 40 \lg D + 100, \text{ дБ}$$

где R и D – радиус и диаметр круга, м;

f_k – собственные частоты колебаний, Гц;

ρ_0 – плотность воздуха, кг/м³;

V_k – скорость колебаний круга, м/с;

r – расстояние от источника шума до источника шума, м

Собственные частоты колебаний пильных дисков и шлифовальных кругов определяются по формуле, приведенной к виду:

$$f_k = \frac{kh}{D} \sqrt{\frac{E}{3\rho}} = \frac{0,58kh}{D} \sqrt{\frac{E}{\rho}};$$

где k – коэффициент, определяющий собственные частоты колебаний;

h – высота диска или круга, м;

E – модуль упругости, Па;

ρ – плотность, кг/м³.

для пильного диска, как стальной круглой пластины

$$f_k = 3 \cdot 10^3 \frac{kh}{D};$$

для шлифовальных кругов с вулканической связкой

$$f_k = (0,58 \div 0,98) \cdot 10^3 \frac{kh}{D};$$

для шлифовальных кругов с баккелитовой связкой

$$f_k = (1 \div 1,6) \cdot 10^3 \frac{kh}{D};$$

для шлифовальных кругов с керамической связкой

$$f_k = (2,8 \div 3) \cdot 10^3 \frac{kh}{D}.$$

для оправки как цилиндрической стальной детали:

$$P = \frac{R^2 2\pi f_k \rho_0 V_k}{\sqrt{2\pi \cdot 2\pi f_k r}} = \frac{11 D^2 V_k \sqrt{f}}{\sqrt{r}}$$

$$L_P = 20 \lg D V_k + 10 \lg \frac{f_k}{r} + 107, \text{ дБ}$$

$$N = \frac{\pi R^2 \rho_0 C_0 2\pi f_k R V_k^2}{2} = 86(V_k R)^2 l f_k$$

$$L_N = 20 \lg V_k R + 10 \lg f_k + 135, \text{ дБ.}$$

Собственные частоты колебаний оправки как стальной детали цилиндрической формы определяются по формуле:

$$f_{\text{ко}} = 2 \cdot 10^3 d_0 \left(\frac{k}{l_0} \right)^2.$$

Для отрезаемых деталей из прутков, квадратов, уголка, швеллера в качестве модели источника шума принят линейный излучатель, акустические характеристики которого определяются как:

$$P = \frac{R^2 2\pi f_k \rho_0 V_k \sqrt{C_0}}{2\pi \sqrt{f_k r}} = \frac{22 \alpha V_k \sqrt{f_k}}{\sqrt{r}};$$

$$L_P = 20 \lg \frac{22 \alpha V_k \sqrt{f_k}}{2 \cdot 10^{-5} \sqrt{r}} = 20 \lg \alpha V_k + 10 \lg \frac{f_k}{r} + 120, \text{ дБ}$$

$$N = \frac{\pi^2 \alpha \rho_0 \cdot 2\pi f_k \alpha V_k^2}{2} = 34(\alpha V_k)^2 l f_k$$

$$L_N = 10 \lg \alpha V_k + 10 \lg l f_k + 135, \text{ дБ.}$$

где α – максимальный размер поперечного сечения заготовки, м;
 l – длина заготовки, м.

Отрезаемые заготовки рассматриваются как системы с распределенной массой и их собственные частоты колебаний определяется с использованием функций А.Н. Крылова [1,4]. Прогиб заготовки представлен в виде многочлена:

$$y = AK_1(dx) + BK_2(dx) + CK_3(dx) + DK_4(dx),$$

где

$$K_1(dx) = \frac{1}{2} \left(\frac{l^{dx} + l^{-dx}}{2} + \cos dx \right);$$

$$K_2(dx) = \frac{1}{2} \left(\frac{l^{dx} + l^{-dx}}{2} + \sin dx \right);$$

$$K_{13}(dx) = \frac{1}{2} \left(\frac{l^{dx} + l^{-dx}}{2} - \cos dx \right);$$

$$K_4(dx) = \frac{1}{2} \left(\frac{l^{dx} + l^{-dx}}{2} - \sin dx \right).$$

$$\alpha = P^2 \frac{m_0}{EJ},$$

где $P = 2\pi f_k$ – собственные частоты колебаний заготовки, 1/с.

Собственные частоты колебаний заготовки для условий заготовки для условий закрепления, представленная на рисунке 2, определяются следующим образом. В данном случае заготовка имеет два участка и при расчете должны быть учтены промежуточные опоры. Исходя из компоновки заготовки следует, что на опоре А прогибы должны быть равны и

справа и слева от опоры, то есть $Y_{пр} = Y_{лев}$, а также углы поворота касательной $\left. \frac{dy}{dx} \right|_{пр} = \left. \frac{dy}{dx} \right|_{лев}$, а также изгибающие моменты, определялись соотношением $\left. \frac{d^2y}{dx^2} \right|_{пр} = Y_{лев,лев}$.

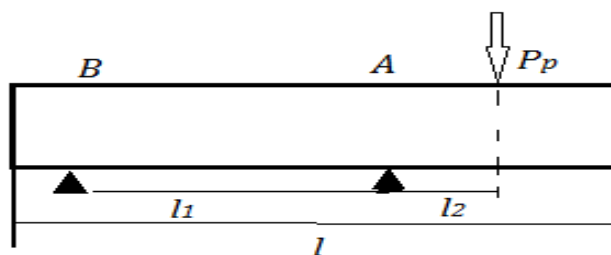


Рис. 2. Расчетная схема собственных частот колебаний отрезаемых заготовок

Разница в поперечных силах справа и слева от опоры A отличается на величину реакции, то есть

$$EJ \left. \frac{d^3y}{dx^3} \right|_{пр} = EJ \left. \frac{d^3y}{dx^3} \right|_{лев} + R_A$$

Расположив начало координат на левом конце заготовки, получено следующее выражение функции прогибов

$$Y_{пр} = Y_{лев} + K_4 \left[\alpha(x - l_1) \cdot \frac{R}{\alpha^3 EJ} \right]$$

Поскольку левый конец балки имеет опору, то при соответствующих краевых условиях $Y_{лев} = 0$ и $\left. \frac{d^2y}{dx^2} \right|_{лев} = 0$, то $A = C = 0$.

Для левого участка в этом случае при $x > l_1$

$$Y_{лев} = BK_2(dx) + DK_4(dx) + MK_4[\alpha(x - l_1)].$$

Величины B , D и $\frac{R}{\alpha^3 EJ}$ определяются исходя из следующих условий:

при $x = l_1$ $y = 0$;

при $x = l$ (на консольном конце)

$$\frac{d^2y}{dx^2} = 0 \quad \text{и} \quad \frac{d^3y}{dx^3} = 0.$$

Тогда собственные частоты колебаний находятся из равенства нулю системы уравнений, то есть

$$\begin{aligned} BK_2(\alpha l_1) + DK_4(\alpha l_1) &= 0 \\ BK_4(\alpha l) + DK_2(\alpha l) + \frac{R}{\alpha^3 EJ} K_2[\alpha(l - l_1)] &= 0 \\ BK_3(\alpha l) + DK_1(\alpha l) + \frac{R}{\alpha^3 EJ} K_1[\alpha(l - l_1)] &= 0 \\ \Delta(\alpha l) &= \begin{vmatrix} K_2(\alpha l_1) & K_4(\alpha l_1) & 0 \\ K_4(\alpha l) & K_2(\alpha l) & K_2[\alpha(l - l_1)] \\ K_3(\alpha l) & K_1(\alpha l) & K_1[\alpha(l - l_1)] \end{vmatrix} = 0 \end{aligned}$$

Разработанные математические модели виброакустической динамики позволяет получить расчетным путем ожидаемые уровни шума при эксплуатации безцентровшлифовальных и алмазно-отрезных станков [5,6]. Исходя из этого, оценить ожидаемое превышение предельно-допустимых уровней на рабочих местах обслуживающего персонала и на их основе обосновать параметры системы защиты от шума.

Разработанные математические модели учитывают основные источники шума, такие как вибрации шпинделя, взаимодействие абразивного круга с обрабатываемой деталью, а также аэродинамические эффекты, возникающие при высоких скоростях вращения. Эти модели позволяют не только оценить общий уровень шума, но и выделить вклад каждого источника в суммарный акустический фон. Это особенно важно для оптимизации конструкции станков и выбора наиболее эффективных методов снижения шума. Например, анализ вибрационных характеристик шпинделя позволяет определить критические частоты, на которых возникают резонансные явления, и предложить меры по их устранению.

На основе расчетных данных можно разработать рекомендации по модернизации существующих станков, включая установку виброизоляционных элементов, использование звукопоглощающих материалов и оптимизацию геометрии абразивных кругов. Кроме того, математические модели позволяют оценить эффективность различных систем шумозащиты, таких как акустические экраны, кожухи и глушители. Это дает возможность выбрать наиболее подходящие решения для конкретных условий эксплуатации, минимизируя затраты на их внедрение.

Важным аспектом является также прогнозирование шумовых характеристик станков на этапе их проектирования. Это позволяет заранее предусмотреть меры по снижению шума, что значительно упрощает процесс сертификации оборудования и обеспечивает соответствие требованиям санитарных норм. Кроме того, использование математических моделей позволяет сократить время и затраты на проведение натурных испытаний, так как большая часть расчетов выполняется на этапе компьютерного моделирования.

Полученные результаты могут быть использованы не только для оценки шумовых характеристик конкретных станков, но и для разработки общих рекомендаций по проектированию и эксплуатации оборудования в условиях повышенных акустических нагрузок. Это особенно актуально для предприятий, где одновременно эксплуатируется большое количество станков, что может приводить к кумулятивному эффекту и значительному превышению допустимых уровней шума. Таким образом, применение математических моделей виброакустической динамики является важным инструментом для обеспечения комфортных и безопасных условий труда на производстве.

Библиографический список

1. **Чукарин, А. Н.** Теория и метода акустических расчетов и проектирования технологических машин для механической обработки – Ростов н/Д, Издательский центр ДГТУ, 2004. – 152 с.
2. **Никифоров, А. С.** Акустическое проектирование судовых конструкций: Справочник. – Л: Судостроение, 200 с.
3. **Чукарин А. Н., Каганов В. С.** Звукоизлучение заготовки при токарной обработке // Борьбы с шумом и звуковой вибрацией. М., 1993. С. 21-24.
4. Расчеты на прочность в машиностроении / Под ред. С. Д. Пономарева. М.: Машгиз. 1959. 884 с.
5. Моделирование виброакустической динамики шпиндельных узлов универсальных фрезерных станков / Т. А. Финоченко, А. Е. Набоков, А. Н. Чукарин, И. А. Яицков // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2023. – № 4. – С. 41–47. – DOI 10.46973/0201–727X_2023_4_41.

6. Снижение шума металлорежущих станков / Т. А. Финоченко, Н. М. Яицкова, И. Г. Переверзев // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2020. – № 2 (51). – С. 112–117.

I. A. Smychok, A. N. Chukarin, E. M. Shcherba

NOISE SOURCES OF CENTERLESS GRINDING AND DIAMOND CUTTING MACHINES

Abstract. Metalworking equipment contains a number of independent sources of noise generation. It should be noted that abrasive and disc-cutting automatic machines are intensively used in almost all enterprises of the machine-building industry and create sound levels up to 95 dB (centerless grinding) and up to 100 dB (diamond-cutting), which is 15-20 dB higher than the permissible values. It is known that such noise exposure negatively affects the health of workers, reduces labor productivity and increases defects in production. Reducing the noise level of the above-mentioned machines can significantly improve their operating conditions. Despite the difference in the technological processes implemented on these machines, the analysis of their layouts showed the identity of modeling the processes that form the spectral composition of noise, especially cutting nodes.

Keywords: noise; centerless grinding machines; diamond cutting machines; modeling of noise sources

For citation: Smychok, I. A. Noise Sources of Centerless Grinding and Diamond Cutting Machines / I. A. Smychok, E. M. Shcherba, A. N. Chukarin // Trudy Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobseniya. – 2024. – № 4. – P. 37 – 43.

Сведения об авторах

Смычок Игорь Альбертович

Ростовский государственный университет
путей сообщения (РГУПС),
кафедра «Безопасность жизнедеятельности»,
аспирант,
e-mail: scowl@yandex.ru

Чукарин Александр Николаевич

Ростовский государственный университет
путей сообщения (РГУПС),
кафедра «Безопасность жизнедеятельности»,
доктор технических наук, профессор,
профессор

Щерба Евгений Михайлович

Донской государственный технический
университет (ДГТУ),
аспирант,
e-mail: em.shcherba@gmail.com

Information about the authors

Smychok Igor Albertovich

Rostov State Transport University (RSTU),
Chair «Life Safety»,
Graduate Student,
e-mail: scowl@yandex.ru

Chukarin Alexander Nikolaevich

Rostov State Transport University (RSTU),
Chair «Life Safety»,
Doctor of Technical Sciences, Professor,
Professor

Shcherba Evgeniy Michailovich

Don State Technical University (DSTU),
Graduate Student,
e-mail: em.shcherba@gmail.com

УДК 378.14.145

*В. А. Фирсов, Е. П. Чубарь***ФОРМИРОВАНИЕ НОКСОЛОГИЧЕСКОЙ КОМПЕТЕНТНОСТИ У СТУДЕНТОВ
НАПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

Аннотация. Рассмотрены общие принципы формирования ноксологической компетентности у студентов направления техносферная безопасность. Проанализированы основания внедрения дисциплины «Ноксология» в учебный процесс. Выдвинуто предложение о внедрении в учебный процесс системного подхода к преподаванию дисциплины для повышения качества и распространения в современной системе образования.

Ключевые слова: ноксология, обучение, компетентность, техносферная безопасность.

Для цитирования: Фирсов, В. А. Формирование ноксологической компетентности у студентов направления техносферная безопасность / В. А. Фирсов, Е. П. Чубарь // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2024. – № 4. – С. 44 – 49.

Введение

Последние десятилетия ознаменовались усилением внимания со стороны государства, научной общественности, производства и частных лиц к проблемам обеспечения безопасности, в частности, к вопросам обеспечения безопасности человека во всех сферах жизнедеятельности: на производстве, в быту, в окружающей среде. Потребность в безопасности, а соответственно и в высших профессиональных кадрах, обеспечивающих безопасность, обусловлена в том числе значительным количеством техногенных аварий и катастроф, произошедших в мире в XXI веке (авария на Саяно-Шушенской ГЭС, взрывы на шахтах Кузбасса, разлив нефти в Мексиканском заливе и т.д.). Социальный заказ на обеспечение безопасности человека в техносфере, как зоны, с одной стороны максимальной плотности населения, а, с другой стороны, наивысшей концентрации опасностей всех видов, спровоцировал научные исследования, посвященные теоретическим вопросам возникновения, становления, развития, действия опасностей, а также теоретическим основам обеспечения безопасности объекта защиты (прежде всего – человека). Актуальность исследования обусловлена принципиальными изменениями, происходящими в обществе за последние десятилетия. Непрерывно возрастающие высокие темпы развития информационно-образовательной среды, появление и развитие новых направлений в естественно-научных, социогуманитарных исследованиях часто граничат с неготовностью и страхом общества принять и внедрять новые знания в условия реальной деятельности. Неоднородность и противоречивость современной ситуации становится причиной высокой степени внутренней напряженности в обществе, подверженности людей влиянию различных факторов риска. Как следствие, это ведет к необратимым разрушительным последствиям, которые отражаются в кризисных явлениях в производстве, культуре общества, снижении уровня жизни людей, ухудшении их психологического и соматического статуса. В последние годы проблемами предупреждения отрицательных факторов риска занимается новое направление в науке – ноксология, которая изучает опасности и способы нейтрализации или минимизации их негативных последствий. Для усиления мотивации к будущей

профессиональной деятельности и введения систематизированного знания в области теоретических основ опасностей и принципов обеспечения безопасности впервые было введено понятие «ноксологическая компетентность», подходы к определению которой заложены С. В. Беловым и В. А. Девисиловым.

Основная часть

Вводимые в образовательную практику Российской Федерации новые ФГОС ВО, построены на компетентностной основе, что и вызывает необходимость введения и формирования ноксологической компетентности при подготовке будущих специалистов в области техносферной безопасности в процессе изучения дисциплины «Ноксология».

Внедрение дисциплины «Ноксология» в учебный процесс обусловлено рядом оснований (рис. 1).



Рис. 1. Основания для введения дисциплины «Ноксология»

Цивилизационные изменения, смена культурно-ценностных и научно-образовательных парадигм заключаются в том, что наша цивилизация стала техногенной. При этом сформировалось общество глобального риска, а ценностным идеалом такого общества является безопасность.

Гуманистические основания базируются на том, что:

- ✓ человек рассматривается как центральное звено всего космического бытия, вершина мироздания;
- ✓ идет объединение, взаимосвязь и взаимовлияние различных компонентов содержания образования в единую дидактическую систему;
- ✓ используются принципы природосообразности и безопасности;
- ✓ принимается принцип аксиологичности в отборе и ценностной интерпретации содержания образования.

Педагогические основания сводятся к изучению во многих дисциплинах опасностей и обеспечению безопасности жизни, повседневной и профессиональной деятельности.

Национальные основания предполагают ответственность личности за последствия

своих действий в рамках национального менталитета.

Прагматические основания подразумевают снижение рискогенности деятельности человека, сохранение жизни и здоровья человека.

Основанием, в целом, для образования в области безопасности - генерация рисков – мощный фактор изменения структуры общества, перестройки его по критерию степени подверженности рискам. Риски не воспринимаются органами чувств человека, а существуют лишь в форме знания о них. Поэтому специалисты, ответственные за определение степени рискогенности новых технологий приобретают ключевые социальные и политические позиции в обществе.

По мнению авторов, предложения о внедрении «Ноксологии» в перечень основных дисциплин подготовки по направлению «Техносферная безопасность» данная дисциплина призвана служить связующим звеном между «Экологией» и «Безопасностью жизнедеятельности» [1, 2]. Это наука об опасностях материального мира Вселенной. Она отражает и систематизирует научно-практические достижения последних лет в области человеко- и природоохранной деятельности. Понятие «опасность» для этой дисциплины - основное. Разработчики программы считают, что «Ноксология» в учебном плане должна следовать за «Экологией», располагалась в третьем - четвертом семестре, и, имея 2 зачетных единицы (другое предложение - 3), базироваться на лекциях и семинарах. В результате ее изучения студент должен знать источники и мир опасностей, виды и критерии оценки опасности, быть готовым к описанию полей опасности и к достижению безопасности природы, человека и техносферы.

Авторы первого подобного пособия [1, 2] отработывали его на занятиях для будущих инженеров в конце XX века в МГТУ им. Баумана и дали несколько другую концепцию. Они предложили дисциплину, которая начинается с изучения ноксосферы (мира опасностей), продолжается детальным изучением техногенных опасностей и опасностей при трудовой деятельности (с применением лабораторных установок), а заканчивается теоретическими основами защиты от опасностей для всех источников, всех направлений и любых интенсивностей. Здесь предлагается рассматривать и эколобоохранную технику, региональную защиту всех сфер, давать оценку ущербу и т.д. В такой постановке «Ноксология» во многом подменяет и безопасность жизнедеятельности, и промышленную экологию, защиту от электромагнитных полей, от радиационных воздействий. По всей видимости, разработчики программы дисциплины и авторы учебного пособия не сопоставили их с требованиями ФГОС. Это несколько странно, т.к. оба документа разрабатывали одни те же ученые, долгое время возглавлявшие подготовку новых стандартов.

На наш взгляд, «Ноксология», безусловно, должна опираться на «Экологию» (природные опасности) и теоретически готовить будущих бакалавров к изучению прикладных вопросов защиты от всевозможных опасностей. Тогда эта дисциплина будет, безусловно, полезна для специалистов по «Техносферной безопасности», даже при сравнительно небольшом числе зачетных единиц.

Независимо от видов профессиональной деятельности (проектно-конструкторской, сервисно-эксплуатационной, организационно-управленческой, экспертной, надзорной и инспекционно-аудиторской, а также научно-исследовательской) выпускник должен обладать общекультурными и профессиональными компетенциями, которые достаточно четко сформулированы в Стандарте. При этом непосредственное целенаправленное обучение вопросам безопасности в техносфере происходит в ходе изучения дисциплины математического и естественнонаучного цикла («Экология», «Ноксология») и профессионального цикла («Безопасность жизнедеятельности», «Медико-биологические основы безопасности», «Надежность технических систем и техногенный риск»). Из всех перечисленных дисциплин, формирующих знания о безопасности, лишь одна является новой - она отсутствовала в ФГОСах предыдущих поколений. Это - «Ноксология».

Понятие «ноксологическая компетентность» необходимо рассматривать как

интегральную характеристику личности специалиста в области техносферной безопасности, выраженной в знании теоретических основ мира опасностей и принципов обеспечения безопасности, в осознании приоритетов задач по сохранению жизни и здоровья человека, значимости дальнейшей профессиональной деятельности, в готовности реализовать эти знания в процессе жизнедеятельности.

Определение «компетенции» является понимание ее как способности индивида справляться с самыми различными задачами, как совокупность знаний, умений и навыков, которые необходимы для выполнения конкретной работы. При этом должны взаимодействовать когнитивные и аффективные навыки, наряду с мотивацией, эмоциональными аспектами и соответствующими ценностными установками. Слаженное взаимодействие этого множества частных аспектов приводит нас к комплексному пониманию компетенции, которое проявляется в контексте условий и требований, как внешних, так и внутренних.

В современной дидактике под «компетенцией» также понимаются общая способность и готовность личности к деятельности, основанные на знаниях и опыте, приобретенные благодаря обучению, ориентированные на самостоятельное участие личности в учебно-познавательном процессе, а также направленные на ее успешное включение в трудовую деятельность.

В масштабах государства, указанная проблема (рост техногенных аварий и катастроф, увеличение числа несчастных случаев) отражается в непосредственном снижении общей численности населения страны и высоком уровне смертности населения от внешних (вынужденных) причин: условий труда, не отвечающих санитарно-гигиеническим требованиям и требованиям безопасности, некачественной окружающей среды, чрезвычайных ситуаций различного характера (до 15 % от общей смертности), что значительно превышает аналогичный показатель европейских стран.

Целью науки «Ноксология» является изучение происхождения и совокупного действия опасностей, принципов их минимизации и основ защиты от них.

Предмет исследований – опасности и их разнообразные совокупности (поле опасностей), действующие в системах «объект защиты – источник опасности», а также многообразие средств и систем защиты от опасностей.

Задачи:

- изучение сущности категории «опасность», причин и условий возникновения опасностей, результаты действия опасностей, виды опасностей, таксономия опасностей, основные принципы действия опасностей (одновременность воздействия опасностей, совокупность воздействия опасностей, создаваемые избыточными потоками, энергии и информации и др.);

- освоение методов и средств защиты от опасностей на местном, региональном и глобальном уровнях, видов мониторинга опасностей, принципов реализации безопасного состояния, теоретические основы защиты;

- оценка негативного воздействия реализованных опасностей, пути дальнейшего совершенствования человеко- и природозащитной деятельности.

Задачи формирования ноксологической компетентности:

- осознание масштаба опасностей современного мира и их негативного влияния на человека и природу;

- формирование критериев и методов оценки опасностей, источников и зон их влияния;

- представления о путях и способах защиты человека и природы от опасностей.

Критерии сформированности ноксологической компетентности.

Мотивационный:

- сформированность профессионального мотива;

- понимание необходимости обеспечения безопасности, превентивности вопросов безопасности;

- сформированность учебного мотива

Когнитивный:

- объем, системность знаний в области теоретических основ опасностей и принципов обеспечения безопасности;

- устойчивость знаний;

- сформированность познавательной активности.

Деятельностный:

- готовность к практическому применению полученных знаний;

- способность к самостоятельному решению поставленных задач;

- творческий подход при решении поставленных задач.

Модернизация образования, социально-экономические изменения в обществе, расширение возможностей политического и социального выбора ставят перед системой образования задачи подготовки студента-будущего специалиста, способного предвидеть, предупредить или компенсировать отрицательное влияние факторов риска на процесс жизнедеятельности. Необходимо определить содержание ноксологических компетенций студента на современном этапе и определить условия формирования ноксологических компетенций будущих специалистов в информационно-образовательной среде вузов. [3]

Выводы

Основной задачей высшего образования является приобретение знаний для обеспечения коллективной безопасности и защиты окружающей среды.

В настоящее время формируется новая научная ноксосферная картина мира, интегративная система знаний о которой должна являться основой формирования нового, ноксологического мировоззрения и риск-ориентированного мышления.

Опыт же введения ноксологии, как дисциплины имеет низкое распространение из-за неразработанности организационно-педагогических основ образования, в том числе содержания, что в значительной степени сужает круг возможностей формирования профессиональной компетентности.

Необходим системный подход, с помощью которого можно обеспечить формирование подлинной ноксологической компетенции обучающихся. Этот подход подразумевает, в том числе связь обучения и производственной практики в различных организациях. Фундамент формирования профессиональных компетенций заложен, прежде всего, в практическом применении теоретических знаний в решении практических задач. [4]

Обеспечение условий формирования профессиональных компетенций в современном образовании позволит обозначить новые критерии будущего специалиста, востребованного на рынке труда и полностью отвечающего условиям социально-экономического развития страны.

Библиографический список

1. Совершенствование Российского высшего профессионального образования в области безопасности жизнедеятельности и защиты окружающей среды. Переход к направлению подготовки «Техносферная безопасность». Приложение к журналу «Безопасность жизнедеятельности», № 5, 2017, 32 с.

2. Белов С. В., Симакова Е. Н. Ноксология. Учебное пособие. Приложение к журналу «Безопасность жизнедеятельности» №№ 5-12. 2019.

3. Каюмова, Л. Р. Формирование ноксологических компетенций будущего педагога в информационно-образовательной среде вуза : специальность 13.00.01 "Общая педагогика, история педагогики и образования" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата педагогических наук / Каюмова Лейсан Рафисовна. – Казань, 2019. – 24 с. – EDN LIWKPM.

4. Беспалова, Е. Д. Системный подход при формировании компетенции студентов технических вузов / Е. Д. Беспалова, А. А. Снежко // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2017. – Т. 2, № 7. – С. 414-415. – EDN TAPGAT

V. A. Firsov, E. P. Chubar

FORMATION OF NOXOLOGICAL COMPETENCE AMONG STUDENTS OF THE TECHNOSPHERE SAFETY DIRECTION

Abstract. The general principles of the formation of noxological competence among students of the technosphere safety direction are considered. The reasons for the introduction of the discipline «Noxology» into the educational process are analyzed. A proposal has been put forward to introduce a systematic approach to teaching the discipline into the educational process in order to improve the quality and dissemination in the modern education system.

Keywords: noxology, training, competence, technospheric safety.

For citation: Firsov, V. A. Formation of Noxological Competence Among Students of the Technosphere Safety Direction / V. A. Firsov, E. P. Chubar // Trudy Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobseniya. – 2024. – № 4. – P. 44 – 49.

Сведения об авторах

Фирсов Виктор Анатольевич

Ростовский государственный университет
путей сообщения (РГУПС),
кафедра «Безопасность жизнедеятельности»,
доцент,
e-mail: vifir1959@rambler.ru

Чубарь Евгения Петровна

Ростовский государственный университет
путей сообщения (РГУПС),
кафедра «Безопасность жизнедеятельности»,
доцент,
e-mail: jeeeyn@mail.ru

Information about the authors

Firsov Victor Anatolyevich

Rostov State Transport University (RSTU),
Department of "Life Safety",
docent,
e-mail: vifir1959@rambler.ru

Chubar Evgeniya Petrovna

Rostov State Transport University (RSTU),
Department of "Life Safety",
docent,
e-mail: jeeeyn@mail.ru

УДК 504 + 06

А. Г. Хвостиков

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ РАБОТНИКОВ ПРИ ОБРАЩЕНИИ С ОПАСНЫМИ ОТХОДАМИ В ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СРЕДЕ

Аннотация. В статье рассматриваются причины накопления отходов и их последствия. В основе рассматриваемой проблемы находится увеличение численности населения на планете в экспоненциальной зависимости и научно-технический прогресс, позволяющий человеку создавать искусственные вещества, не встречающиеся в природе и поэтому не подвергающиеся естественной утилизации. Современные отходы в своем составе имеют кроме органических, синтетических компонентов, еще и компоненты, обладающие токсическими свойствами. На примере автомобильных покрышек, пришедших в негодность, дается попытка оценить опасность твердых отходов для экосистемы так и для человека. Ускоряющееся накопление отходов изменяет не только окружающую среду, уничтожая зеленые насаждения, но и увеличивая потребность человека в невозобновляемых ресурсах. Динамика процесса образования отходов – еще один недооцененный аспект их опасности, поскольку рост объема отходов уже на 20 % превышает способность экосистемы утилизировать их. Растущий объем отходов – это следствие неэкономичного расходования ограниченных ресурсов нашей планеты. Добыча и производства, которых так же сопровождается загрязнением природы. Трудовая деятельность человека в этих отраслях происходит во многих случаях во вредных условиях.

Ключевые слова: накопление отходов, опасность, автомобильные покрышки, экосистема, вредные условия труда, легковой автомобиль.

Для цитирования: Хвостиков, А. Г. Обеспечение безопасности работников при обращении с опасными отходами в производственной среде / А. Г. Хвостиков // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2024. – № 4. – С. 50 – 55.

С момента образования нашей планеты на ней постоянно происходили и происходят различные процессы. В результате протекавших миллиарды лет биологических процессов возникла биосфера и человек. С появлением человека появились и отходы. Люди существуют около 40 тысяч лет, и только в последние десятки лет они задумались о том, что делать с веществами и предметами, которые стали им не нужны – отходами. Опасность отходов все еще серьезно недооценена, поскольку не учитываются все аспекты их негативного влияния на окружающую среду и человека.

Проблема отходов возникла по нескольким причинам:

Первая. Рост численности населения на планете имеет экспоненциальный вид и представлен на рис.1 [1].

Прирост населения планеты за последние 20 лет составил почти 1651 млн человек, что сопоставимо с увеличением населения на 1725 млн человек за 927 лет (за период с 1000 года по 1927 год). Необходимость удовлетворения потребностей человека в продовольствии, энергии и других предметах стала толчком для развития науки и техники, создавших мощный промышленный потенциал на планете.

Вторая. Научные достижения позволили человеку создать искусственные вещества, не встречающиеся в природе. Одним из видов синтетических веществ являются полимеры, объем производства которых в мире в виде пластмасс и синтетического каучука составляет 335 млн тонн и 15 млн тонн в год соответственно [2, 3]. Такие материалы после использования не могут быть переработаны в экосистеме для получения пищи, воды или кислорода, необходимых для жизнедеятельности ее звеньев. Их накопление приводит к образованию все больших объемов отходов, поскольку находится в прямой зависимости от числа жителей планеты.

Население
планеты, млн. чел

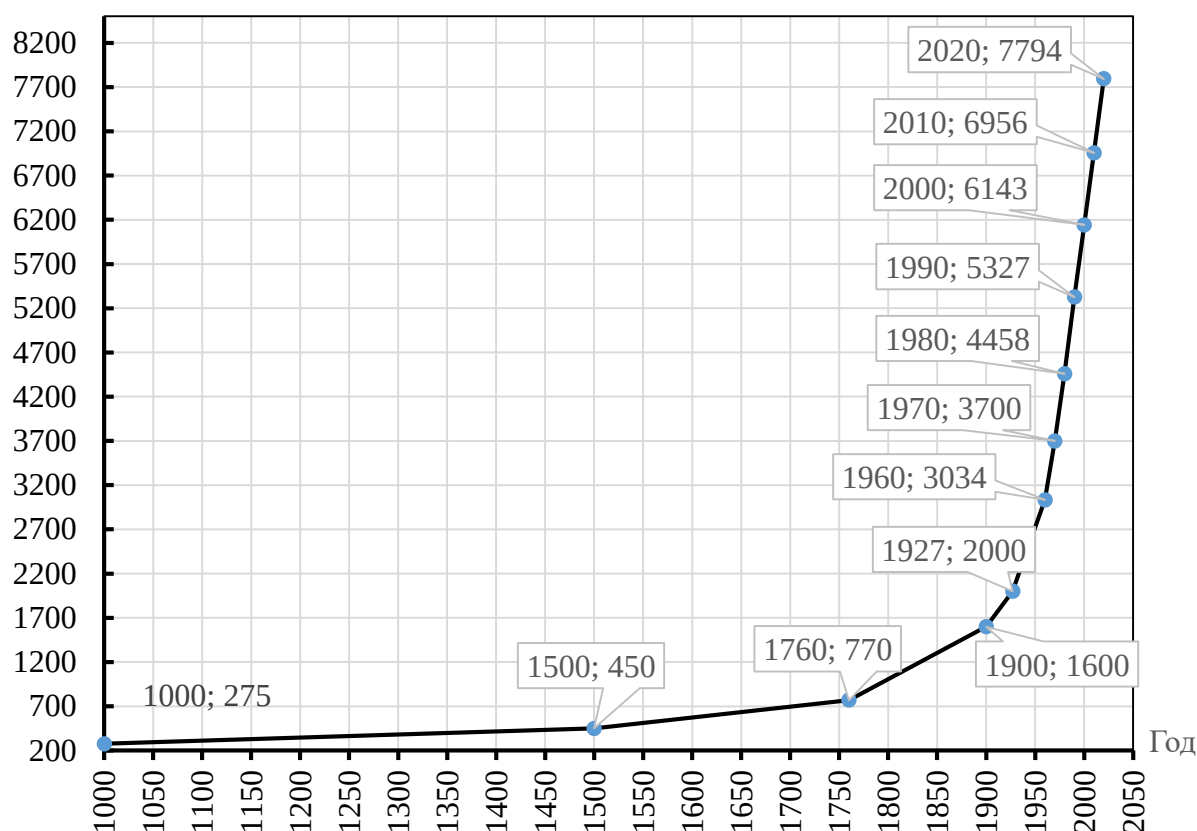


Рис. 1. Рост населения планеты

Человек почувствовал отрицательное воздействие отходов на свою жизнь задолго до появления полимеров. Тогда отходы в основном имели органический состав и их разложение приводило к загрязнению питьевой воды и размножению грызунов, переносящих смертельные инфекции. Но с этой проблемой человек справился путем регулярного сбора и захоронения отходов на полигонах. Органические отходы достаточно быстро возвращались в круговорот вещества в экосистеме [4, 5].

Современные отходы в своем составе имеют кроме органических, синтетических компонентов, еще и компоненты, обладающие токсическими свойствами. Например, тяжелые металлы, которые планета спрятала от человека в глубине своих недр, но мы добрались до них и используем в промышленности.

В настоящий момент, после нескольких экологических катастроф, человечество осознало, что отходы представляют реальную угрозу для существования нашей цивилизации. Одним из шагов по ее спасению было принятие в 1989 году Базельской конвенции о контроле

за трансграничной перевозкой опасных отходов и их удалением. В этом документе отходы рассматриваются не как вещества, не нужные человеку, а как вещества, представляющие опасность для него.

Попытка оценить опасность отходов была сделана Министерством природных ресурсов Российской Федерации в виде утверждения критериев и методики определения класса опасности отхода для окружающей среды (приказы Минприроды № 511 от 15.06.2001, № 536 от 4 декабря 2014 г.).

В этих документах опасность отхода оценивается по степени негативного воздействия на экосистему и делится на пять классов. Отнесение к классу опасности отхода расчетным методом основывается на определении показателя K , который является суммой показателей степени опасности отдельных компонентов отхода для экосистемы [3, 6]. Эти показатели рассчитываются по формуле

$$K_i = \frac{CO_i}{S_i},$$

где CO_i – концентрация i -го компонента в отходе (мг/кг);

S_i – коэффициент степени опасности i -го компонента отхода для окружающей среды (мг/кг).

Коэффициент степени опасности компонента отхода определяется по степени воздействия компонента на различные области биосферы: вода, воздух, почва и человек.

Другим документом на сегодняшний день, определяющим класс опасности отхода, является федеральный классификационный каталог отходов. В этом документе осуществлена систематизация отходов по совокупности приоритетных признаков, одним из которых является класс опасности.

Но эти способы оценки опасности отходов используют только явные критерии и не учитывают динамику процесса образования отходов и его влияние на экосистему.

Попытаемся рассмотреть все аспекты негативного воздействия отходов на природу на примере автомобильных покрышек с металлическим кордом, не пригодных к дальнейшей эксплуатации. Автомобильные покрышки должны подлежать переработке с целью извлечения полезных компонентов, а не выбрасываться как бытовой мусор, что регулируется федеральным и региональным законодательством.

Не меньший вред наносит природе автотранспорт, паркующийся на газоне, который так же уничтожает траву и кустарники. В результате постоянной парковки полностью уничтожается травяной покров на таком участке. Но в этом случае еще остаются шансы на появление растительности, экосистема наделена способностью самовосстановления. А если владелец автомобиля, заботясь о своем имуществе, преднамеренно изменяет экосистему земельного участка, засыпая его гравием или песком, то восстановление газона в первоначальном виде практически невозможно. Однако в законах федерального уровня нет ответственности за парковку на газоне.

Да и о какой экосистеме можно говорить применительно к городу. В городской среде отсутствует множество функций, которые должна выполнять экосистема:

- очищение воздуха и воды;
- поглощение и накопление воды;
- разложение, обезвреживание и связывание отходов;
- восстановление в почве питательных веществ, наращивание почвенного слоя;
- смягчение температурных перепадов и стабилизация климата;
- поддержание биоразнообразия [7, 8].

Поэтому отходы, попавшие в городскую среду, навряд ли смогут еще сильнее изменить природную среду, которую так кардинально изменил человек. Для описания среды, возникшей

в связи с преобразовательной деятельностью человечества (техникой), которая вышла за рамки и из-под контроля управления человеком, возник термин техносфера.

Динамика процесса образования отходов – еще один недооцененный аспект их опасности, поскольку рост объема отходов уже на 20 % превышает способность экосистемы утилизировать их. Растущий объем отходов – это следствие неэкономичного расходования ограниченных ресурсов нашей планеты.

Рассмотренные выше покрышки легковых автомобилей состоят из резины на 80 %, стальной проволоки – 14 % и текстиля – 3 %. В среднем покрышка эксплуатируется 3 года и затем ее необходимо менять. В 2020 году число автомобильной техники в России составило 52,9 млн штук. Легковых автомобилей среди них 84 %, или 44,5 млн. Допустим, что изнашивание всех четырех покрышек происходит одновременно. Тогда каждые 3 года образуется 178 млн покрышек-отходов, что составляет в год 59,33 млн. штук.

Масса одной покрышки легкового автомобиля в зависимости от типоразмера может меняться от 6 до 12 кг. Из этого следует, что ежегодно для производства новых покрышек необходимо использовать 332 тыс. тонн резины и 58 тыс. тонн стальной проволоки. Например, Красноярский завод синтетического каучука, занимающий площадь в 35 га и имеющий численность персонала 2,5 тыс. человек, ежегодно производит 46 тыс. тонн бутадиен-нитрильного каучука как сырья для производства резины. Только для производства новых покрышек должны работать 7 таких заводов [8].

Для производства одной тонны стали требуется семь тонн железной руды и кокса, а также 30 м³ воды. Существует несколько десятков металлургических производств, мощностей которых достаточно для производства проволоки для покрышек. Только Челябинский металлургический комбинат располагает мощностями для производства 4,6 млн тонн стали и на нем работают 18 тыс. человек.

По данным статистики как раз эти два вида промышленности (химическая и металлургическая) являются основными источниками выбросов парниковых газов. Металлургия производит 106,8 млн тонн CO₂-эквивалента в год (43,95 %), а химическая промышленность – 77,8 млн тонн (32 %) [9].

Неявным аспектом опасности отходов и их негативного воздействия на человека является трудовая деятельность человека при производстве материалов и изделий, которые потом становятся отходами. Из таблицы видно, что значительное количество людей работает в условиях, которые могут вызвать заболевания или привести к ухудшению здоровья.

В таблице представлены данные по числу работников отраслей, занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда в России в 2020 году [10 - 13].

Таблица

Удельный вес работников, занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда

Вид экономической деятельности	Занятые на работах с вредными и (или) опасными условиями труда в % от общей численности работников
Добыча угля	80,4
Добыча металлических руд	73,0
Производство химических веществ и химических продуктов	54,5
Производство металлургическое	70,1

По результатам анализа всех аспектов негативного воздействия отходов можно сделать следующий вывод. Негативное воздействие отходов на человека кроется не только в изменении характеристик экосистемы в худшую сторону, не только в уменьшении пригодной для жизни человека окружающей среды, но и в существовании устаревшей экономической модели промышленного производства. Производственные процессы с вредными и опасными условиями труда, за счет ограниченных ресурсов воспроизводящие вещества и предметы, которые впоследствии становятся все новыми отходами, являются основными источниками загрязнения окружающей среды и ухудшения здоровья человека.

Существующие методики не могут в полном объеме оценить опасное воздействие отходов на экосистему и нуждаются в совершенствовании.

Библиографический список

1. Population: [Электронный ресурс]. URL: <https://www.worldometers.info/population/>.
2. **Прудовская, О.** Обзор мировой полимерной индустрии:[Электронный ресурс]. URL: https://polyprofi.ru/blogs/Blog_Poly_and_Pro/obzor-mirovoy-polimernoy-industrii.php.
3. **Хвостиков, А. Г.** Об эффективности экологического сбора / Хвостиков А. Г., Фирсов В. А. // Транспорт: наука, образование, производство. Сборник научных трудов международной научно-практической конференции. Ростов-на-Дону, 2022. С. 71-74.
4. **Finochenko T. A., Borisova A. V., Finochenko V. A.** The Use of the Expert Method in Solving the Issues of Choosing the Instrumentation of the Procedure for Controlling Production Factors. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science; IOP Publishing ([Bristol, UK], England), Volume 666 № 2, 2021, DOI:10.1088/1755-1315/666/2/ 022022.
5. **Хвостиков, А. Г.** Оценка современности метода утилизации отходов / Хвостиков А. Г., Савкова Л. О. // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. 2021. № 1 (54). С. 70-73.
6. **Borisova A., Finochenko V., Finochenko T.** : Modern measurement systems in the system of environmental monitoring Academic Journal of Manufacturing Engineering 15(4), pp. 94-98. (2017).
7. **Finochenko, V. A.** Industrial ecology: Unit for cleaning gaseous emissions. Chemical and Petroleum Engineering 36 (7-8), с. 444-445 (2000).
8. **Finochenko T., Yizkov I, Dergacheva L.** Risk Management in Transportation Safety System. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science Volume 2, pp. 144-145 (2021).
9. **Хвостиков, А. Г.** Ресурсный аспект переработки отходов. Транспорт-2014. Международная научно-практическая конференция в 4-х частях. 2014. С. 62-63.
10. Охрана окружающей среды в России. 2020: Стат. сб. /Росстат. – М., 2020. – 113 с.
11. Российский статистический ежегодник. 2020: Стат.сб. / Росстат. – М., 2020 – 700 с.
12. **Khvostikov A., Firsov V., Savkova, L.** Indicator of the modernity of the waste utilization method of transport enterprises and municipal consumers Transportation Research Procedia Volume 63, 2022, Pages 1737-1742 DOI: 10.1016/j.trpro.2022.06.188.
13. **Хвостиков, А. Г.** Комплексная безопасность городской среды / Хвостиков А. Г., Фирсов В. А., Наumenко И. В., Козаченко А. А. // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. 2022. № 2 (59). С. 178-183.

A. G. Khvostikov

ENSURING THE SAFETY OF WORKERS WHEN HANDLING HAZARDOUS WASTE IN AN INDUSTRIAL ENVIRONMENT

Abstract. The article examines the causes of waste accumulation and their consequences. At the heart of the problem under consideration is an exponential increase in the population on the planet and scientific and technological progress that allows humans to create artificial substances that do not occur in nature and therefore are not subject to natural disposal. Modern waste in its composition has, in addition to organic, synthetic components, also components with toxic properties. Using the example of car tires that have fallen into disrepair, an attempt is made to assess the danger of solid waste to the ecosystem and to humans. The accelerating accumulation of waste is changing not only the environment, destroying green spaces, but also increasing human demand for non-renewable resources. The dynamics of the waste generation process is another underestimated aspect of their danger, since the increase in waste volume already exceeds the ecosystem's ability to dispose of it by 20%.

The growing volume of waste is a consequence of the uneconomical use of the limited resources of our planet. Mining and production, which is also accompanied by pollution of nature. Human labor activity in these industries occurs in many cases under harmful conditions.

Keywords: waste accumulation, danger, car tires, ecosystem, harmful working conditions, passenger car.

For citation: Khvostikov, A. G. Ensuring the Safety of Workers When Handling Hazardous Waste in an Industrial Environment/ A. G. Khvostikov // Trudy Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobseniya. – 2024. – № 4. – P. 50 – 55.

Сведения об авторах

Хвостиков Андрей Георгиевич
Ростовский государственный
университет путей сообщения (РГУПС),
кафедра «Безопасность жизнедеятельности»,
кандидат технических наук, доцент
e-mail: xvost72@mail.ru

Information about the authors

Khvostikov Andrey Georgievich
Rostov State Transport University (RSTU)
Chair «Life Safety»,
Candidate of Technical Sciences, Associate
Professor,
e-mail: xvost72@mail.ru

ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ, ТЯГА ПОЕЗДОВ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ

УДК 621.33 + 06

А. А. Зарифьян, А. Ш. Мустафин

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГРУЗОВЫХ ЭЛЕКТРОВОЗОВ СЕМЕЙСТВА «ЕРМАК» ЗА СЧЕТ КОМПЛЕКСА ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ ЗАВОДСКОМ РЕМОНТЕ

Аннотация. Представлен комплекс технических решений по модернизации многодвигательного тягового привода грузовых магистральных электровозов в ходе заводского ремонта. Показана возможность существенного повышения энергетической эффективности электровозов.

Ключевые слова: грузовой электровоз переменного тока, тяговая система, энергетическая эффективность, электромеханические процессы, потери мощности, компьютерное моделирование.

Для цитирования: Зарифьян, А. А. Повышение энергетической эффективности грузовых электровозов семейства «Ермак» за счет комплекса инновационных технических решений при заводском ремонте/ А. А. Зарифьян, А. Ш. Мустафин// Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2024. – № 4.– С. 56 – 60.

В «Стратегии развития холдинга "РЖД" на период до 2030 года» и других нормативных документах сказано, что снижение удельного расхода топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) относится к числу стратегических инициатив в локомотивном комплексе. Отмечено, что доля электроэнергии, затрачиваемой на тягу поездов, составляет около 90% от всей электрической энергии, потребляемой холдингом. Поэтому уровень эффективности использования электроэнергии на тягу оказывает ключевое влияние на величину затрат компании на закупку ТЭР, в силу чего предусматривается последовательное снижение удельного расхода электроэнергии на тягу: если уровень 2012 года принять за 100%, то к 2030 году он должен составить 94,1% [1, 2].

Разработаны новые высокоэффективные алгоритмы управления тяговым приводом (дискретно-адаптивное управление – алгоритм ДАУ[3]), которые в режиме реального времени приводят число работающих тяговых электродвигателей в соответствие с нагрузкой и тем самым поддерживают оптимальное значение КПД в любых условиях работы электровоза.

Алгоритмы ДАУ могут быть применены и на находящихся в эксплуатации двух-, трёх- и четырёх секционных грузовых электровозах 2(3,4)ЭС5К семейства «Ермак». Эти электровозы оснащены коллекторными тяговыми двигателями, что обуславливает ряд дополнительных требований при реализации алгоритма ДАУ. Для выполнения требований необходимо в ходе модернизации:

- 1) внести изменения в программное обеспечение системы управления электровоза;
- 2) принять меры по обеспечению надежной работы коллекторно-щеточного узла тех ТЭД, которые временно выводятся из тяги; и

- 3) применить регулируемый вспомогательный привод.

Обозначенные проблемы решались в комплексе, что позволило получить мультипликативный эффект и сформулировать актуальные практически значимые предложения.

1. Выполнен анализ процессов, протекающих в основных элементах тяговой системы электровоза. Построена компьютерная модель динамических электромеханических процессов, протекающих в силовых цепях (использовался пакет Simintech).

Модель состоит из следующих блоков: а) блок формирования напряжения; б) блок формирования момента полезной нагрузки; в) блок формирования выходных показателей (мощность, КПД и т.п.); г) блок М (субмодель ТЭД). Была получена зависимость КПД тягового двигателя НБ-514Е от потребляемой мощности P_1 (рис.1) при полном поле возбуждения. Как следует из рис.1, максимальное значение КПД достигается при $P_1 \geq 350$ кВт, то есть при значениях КИМ, превышающих 0,45 (принято, что мощность ТЭД в номинальном режиме равна его часовой мощности 820 кВт).

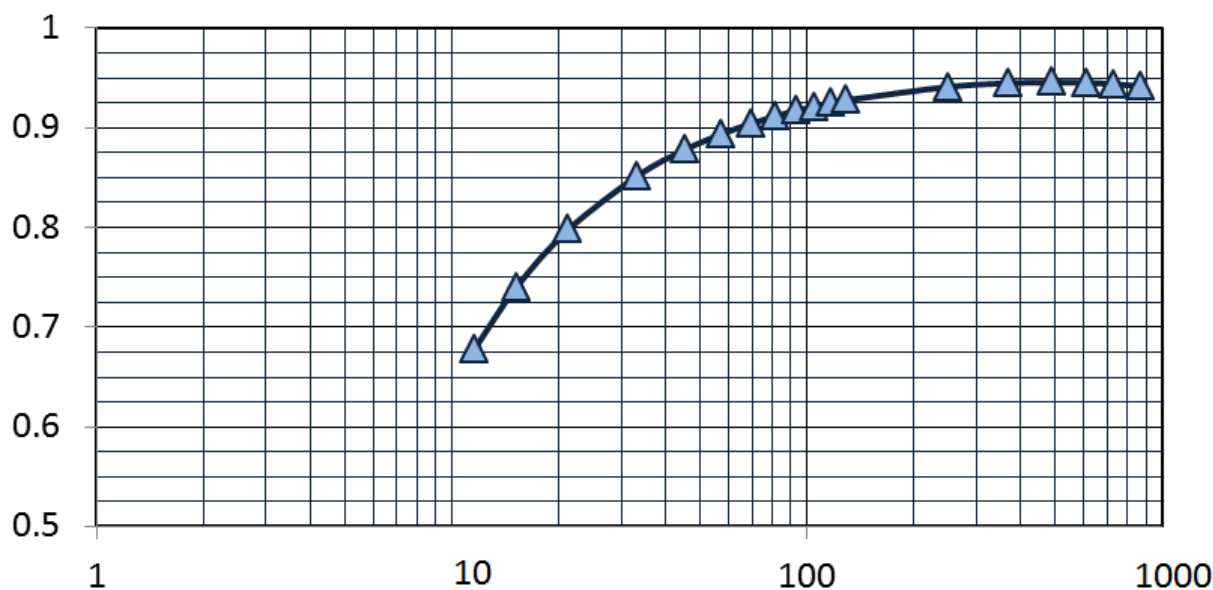


Рис. 1. Зависимость КПД двигателя от потребляемой мощности P_1 , кВт (логарифмическая шкала)

Суммарную мощность, потребляемую тяговыми двигателями электровоза, обозначим как

$$P_{1\Sigma} = N_{\text{тэд}} \cdot P_1, \quad (1)$$

где $N_{\text{тэд}}$ – число работающих ТЭД,

P_1 – электрическая мощность, потребляемая одним ТЭД.

В случае, когда электровоз работает с неполной нагрузкой, алгоритм ДАУ отключает один или несколько ТЭД (то есть уменьшает $N_{\text{тэд}}$), при этом P_1 возрастает, поскольку скорость и суммарная потребляемая мощность $P_{1\Sigma}$ должны оставаться постоянными во время переключения ТЭД. Процесс отключения продолжается до тех пор, пока значение КИМ каждого из оставшихся в тяге двигателей не превысит 0,45. Если же нагрузка возрастает, то отключенные ранее ТЭД возвращаются в тягу. В результате, независимо от величины нагрузки, тяговый привод электровоза будет работать с максимально возможной энергетической эффективностью.

На компьютерной модели, изучена степень использования установленной мощности грузовых электровозов в реальных условиях эксплуатации на Северо-Кавказской ж.д. Дана оценка энергопотребления при работе в штатном и энергоэффективном режимах груженых и порожних поездов на участке Лихая – Крымская в прямом и обратном направлении. После модернизации, для груженых поездов массой 6300 т, при работе в энергоэффективном режиме,

расчетный удельный расход электроэнергии уменьшается в среднем на 9,5%. Для порожних поездов 1750 т, при работе в энергоэффективном режиме, расчетный удельный расход электроэнергии сократится на 14%,

2. Для коллекторных ТЭД «слабым звеном» является скользящий контакт щетка – коллектор в силовой электрической цепи, через который проходит ток силой в сотни ампер. Более 30% отказов локомотивов приходится на тяговые электродвигатели, причем более 15% из них составляют отказы по скользящему контакту. Щётки требуют периодической замены, соответствующая операция является трудоемкой и социально малопривлекательной для технического персонала.

При работе ТЭД в режиме тяги, на поверхности коллектора образуется политура – контактная пленка из окиси меди с примесью частиц щеточного материала, которая имеет высокую электропроводность и низкий коэффициент трения. Если же ТЭД на длительное время выведен из тяги (когда контакт обесточен), то трение возрастает, политура разрушается, что приводит к перегреву с последующим выходом двигателя из строя. При работе в энергоэффективном режиме, ТЭД периодически отключаются, поэтому должны быть приняты особые меры по защите коллекторно-щеточного узла.

Одним из подходов, существенно улучшающих условия работы скользящего контакта, является применение электропроводящей смазки, которая закладывается в разрез щётки[4]. Изготовлена опытная партия электропроводящей смазки. Проведены испытания на заводском нагрузочном стенде, которые состояли из двух этапов:

1) на первом этапе ТЭД испытывался на холостом ходу без нагрузки и без обдува в течение 40 минут. Было установлено, что на коллекторе образовалась политура светло-орехового цвета. Это свидетельствует о формировании на рабочей поверхности коллектора электропроводящего слоя с низким коэффициентом трения. Засорения межламельных промежутков не обнаружено. Следовательно, применение электропроводящей смазки обеспечивает надежность и работоспособность КЩУ тягового двигателя без нагрузки на время до 40 минут;

2) на втором этапе, ТЭД испытывался под нагрузкой согласно заводской карте технологического процесса № РЭРЗ-07.50107.00006. Было установлено, что при номинальной силе тока 900 А и температуре якоря 85°C, замеренной пирометром TemPro 550 при температуре охлаждающего воздуха 23°C, искрение при коммутационных режимах испытаний отсутствовало. Осмотр коллектора после остановки двигателя показал наличие пленки (политуры) светло-орехового цвета и отсутствие засорения межламельных промежутков. Таким образом, при работе под полной нагрузкой надежность и работоспособность КЩУ тягового двигателя со щётками с заложенной смазкой также обеспечены.

По итогам испытаний сделан вывод о том, что предлагаемая смазка обеспечивает нормальные условия для КЩУ как под нагрузкой, так и на холостом ходу в обесточенном состоянии на время до 40 минут. На рис. 2 показано состояние коллектора и притираемость щёток после испытаний.

Затем, при участии ПКБ ЦТ, проведены эксплуатационные испытания на Северо-Кавказской ж.д., выполнен пробег 100 тыс. км, получены положительные результаты. На момент написания настоящей статьи проходят испытания на Восточном полигоне.

3. При работе в энергоэффективном режиме часть двигателей временно выводится из режима тяги. Поэтому целесообразно на это время переводить соответствующие мотор-вентиляторы на пониженную частоту питания, что даст дополнительную экономию энергии. Перевод на пониженную частоту должен производиться только после понижения температуры ниже допустимого предела (применяется изоляция класса F). При этом, должно обеспечиваться необходимое давление воздуха в корпусах двигателей во избежание попадания пыли, влаги, и т.п.

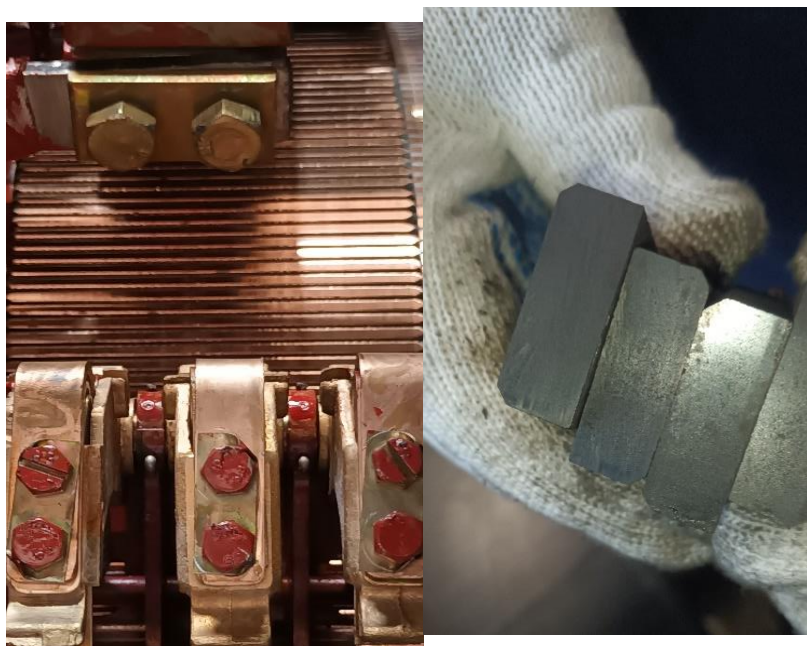


Рис. 2. Состояние коллектора (слева) и притираемость щёток (справа) после испытаний на нагрузочном стенде

Предложена функциональная схема регулируемой системы вентиляции, предусматривающая двухскоростной режим: с номинальной скоростью и с пониженной скоростью вращения мотор-вентиляторов [5]. При этом вентиляция работающих ТЭД осуществляется в полном объеме, а для отключенных – обеспечивается около трети номинальной подачи, чтобы обеспечить необходимое давление воздуха в корпусах двигателей. В настоящее время изготовлена и прошла испытания опытная установка, обеспечивающая двухскоростную работу мотор-вентиляторов.

Библиографический список

1. **Гребенников, Н. В.** Оценка энергетической эффективности локомотивов в эксплуатации / Н. В. Гребенников // Мир транспорта и технологических машин. – 2024. – № 1-2(84). – С. 118-125.
2. **Зарифьян, А. А.** Концептуальные направления развития структуры тягово-энергетических систем локомотивов / А. А. Зарифьян, Н. В. Гребенников // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. – 2024. – Т. 67, № 3. – С. 92-98.
3. Способ управления энергетической эффективностью локомотива при работе с неполной нагрузкой / А. А. Андрющенко, А. А. Зарифьян, Ю. А. Орлов, К. П. Солтус // Патент на изобретение RU 2617857; приоритет от 15.09.2015.– Опубликовано 28.04.2017.– Бюл. № 13.
4. Устройство токосъема для коллекторно-щеточного узла тяговой электрической машины /А. А. Зарифьян, В. М. Коротков, А. Ш. Мустафин // Патент на изобретение RU 2813360; приоритет от 14.04.2023.– Опубликовано 12.02.2024. – Бюл. № 5.

5. Система автоматизированного регулирования частоты вращения вентилятора электровоза переменного тока / А. А. Зарифьян, В. В. Михайлов, А. Ш. Мустафин // Патент на изобретение RU2819035; приоритет от 25.10.2023. – Опубликовано 13.05.2024. – Бюл. № 14.

A. A. Zarifian, A. Sh. Mustafin

IMPROVING THE ENERGY EFFICIENCY OF FREIGHT ELECTRIC LOCOMOTIVES «ERMAK» THROUGH A SET OF INNOVATIVE TECHNICAL SOLUTIONS DURING FACTORY REPAIRS

Abstract. A set of technical solutions for upgrading the multi-motor traction drive of freight mainline electric locomotives during factory repairs is presented. The possibility of significantly increasing the energy efficiency of electric locomotives is shown.

Keywords: AC freight locomotive, traction system, energy efficiency, electromechanical processes, power losses, computer modeling.

For citation: Zarifian, A. A. Improving the Energy Efficiency of Freight Electric Locomotives «Ermak» Through a Set of Innovative Technical Solutions During Factory Repairs/ A. A. Zarifian, A. Sh. Mustafin // Trudy Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobseniya. – 2024. – № 4. – P. 56 – 60.

Сведения об авторах

Зарифьян Александр Александрович
Ростовский государственный
университет путей сообщения (РГУПС),
кафедра «Тяговый подвижной состав»,
доктор технических наук, профессор
e-mail: zarifian_aa@mail.ru

Мустафин Адель Шамильевич
ООО «ТМХ Электротех»,
генеральный директор, к.т.н.

Information about the authors

Zarifian Alexander Alexandrovich
Rostov State Transport University (RSTU)
Chair «Traction Rolling Stock»,
Doctor of Technical Sciences, Professor,
e-mail: zarifian_aa@mail.ru

Mustafin Adel Shamilevich
TMH Electrotech LLC,
General Director, Candidate of Technical
Sciences

УДК 629.5

К. Х. Иноят, Б. А. Абдуллаев, Х. А. Рахматов

ВЫБОР И НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ НОВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ТЕПЛОВОЙ ЗАЩИТЫ ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ

Аннотация. В статье рассмотрен вопрос определения коэффициента теплопередачи замкнутых коробчатых камер для исследования тепловых процессов в кузовах пассажирских вагонов.

Ключевые слова: кузов, пассажирский вагон, теплоизоляционный материал, испытательная камера, коэффициент теплопередачи.

Для цитирования: Иноят, К. Х. Выбор и научное обоснование новых технических решений тепловой защиты пассажирских вагонов / К. Х. Иноят, Б. А. Абдуллаев, Х. А. Рахматов // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2024. – № 4. – С. 61 – 70.

Для определения коэффициента теплопередачи тепловых ограждений кузова пассажирского вагона до настоящего времени проводилось недостаточно исследований. Коэффициент теплопередачи кузова пассажирского вагона составляет $K=1,0-1,1$ Вт/м²·К [1]. Это достаточно высокая величина. Следовательно, ограждение кузова вагона нуждается в улучшении теплоизоляционных свойств с учетом выбора теплоизолирующих материалов с низким коэффициентом теплопроводности [4, 5].

Учитывая то, что часть теплового потока, создаваемого нагревом, рассеивается в окружающую среду, и измерение теплового потока через изучаемую конструкцию представляет сложность, было предложено использовать замкнутую камеру в виде параллелепипеда со сменными верхними крышками.

Испытательная камера представляет собой замкнутую камеру, изготовленную из листового пеноплекса с коэффициентом теплопроводности $\lambda=0,028$ Вт/м·К. На рисунке 1 показан общий вид камеры с указанием толщин ее элементов (боковые стены, днище и крышка). Испытательная камера с термодатчиками (2 ед) и нагревательным элементом ($P=15$ Вт) размещаются внутри холодильной камеры, пульт управления – снаружи холодильной камеры. Для повышения точности было изготовлено три градуированные крышки из одного материала с одной поставки, но разной толщины: $\delta_1=80$ мм, $\delta_2=60$ мм, $\delta_3=40$ мм.

Средняя площадь камеры определяется по формуле:

$$F_{cp} = \sqrt{F_n \cdot F_{en}}, \quad (1)$$

Задачей тарировки испытательной камеры является определение коэффициента теплопередачи F_k испытательной камеры с помощью трех съемных крышек. Температура внутри испытательной камеры с помощью термостата ХН-W1209 поддерживалась от 10 °С до 62 °С при температуре наружного воздуха 10° С и 52° С при температуре наружного воздуха - 10° С, таким образом, чтобы разность температур $t_s - t_n$ поддерживалась на уровне 52 °С с интервалом $\pm 0,5$ °С.

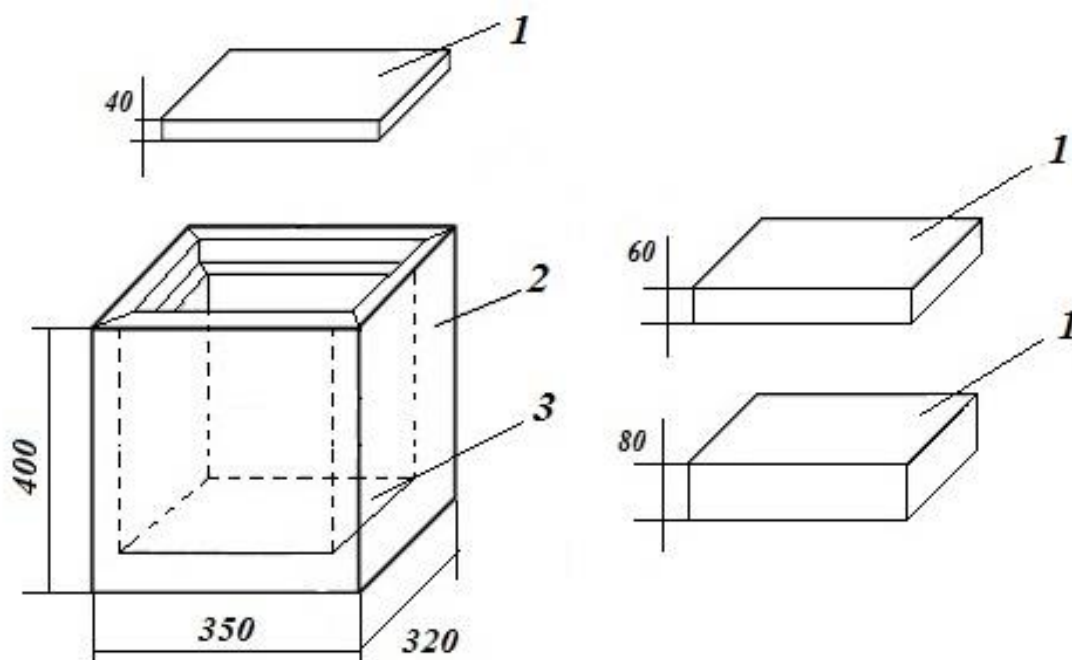


Рис. 1. Общий вид испытательной камеры:

1 – крышка, 2 – боковые стены, 3 – днище

Таблица 1

Результаты расчета площадей элементов камеры

№	Элементы камеры	$F_{\text{нар}}, \text{м}^2$	$F_{\text{вн}}, \text{м}^2$	Средняя площадь	$F_k, \text{м}^2$
1	Боковые стены 1,3	0,14	0,076	0,103	0,384
2	Боковые стены 2,4	0,128	0,064	0,09	0,386
3	Днище	0,112	0,030	0,057	0,057
4	Крышка	0,064	0,030	0,043	0,043
5	Средняя площадь камеры, F_n	-	-	-	0,486
6	Средняя площадь камеры без крышки, F_k	-	-	-	0,443

По данным эксперимента построен график температуры $t^\circ\text{C}$ в испытательной камере и расход электроэнергии W .

На графике (рис.2) видно, что выход на стационарный режим занимает от 2 до 2,5 часов, то есть в это время термостат дает постоянное питание на нагрев внутреннего пространства испытательной камеры до наступления стационарного режима теплопередачи. Нагрев камеры прекращается каждые $0,5^\circ\text{C}$, т.е. при включении нагревается, идет теплопередача тепла изнутри камеры наружу через элементы камеры.

Таким образом, коэффициент теплопередачи корпуса испытательной камеры получен для тарировки камеры и может быть использован для определения коэффициентов теплопередачи опытных образцов ограждения кузова в сочетании с дальнейшими экспериментами.

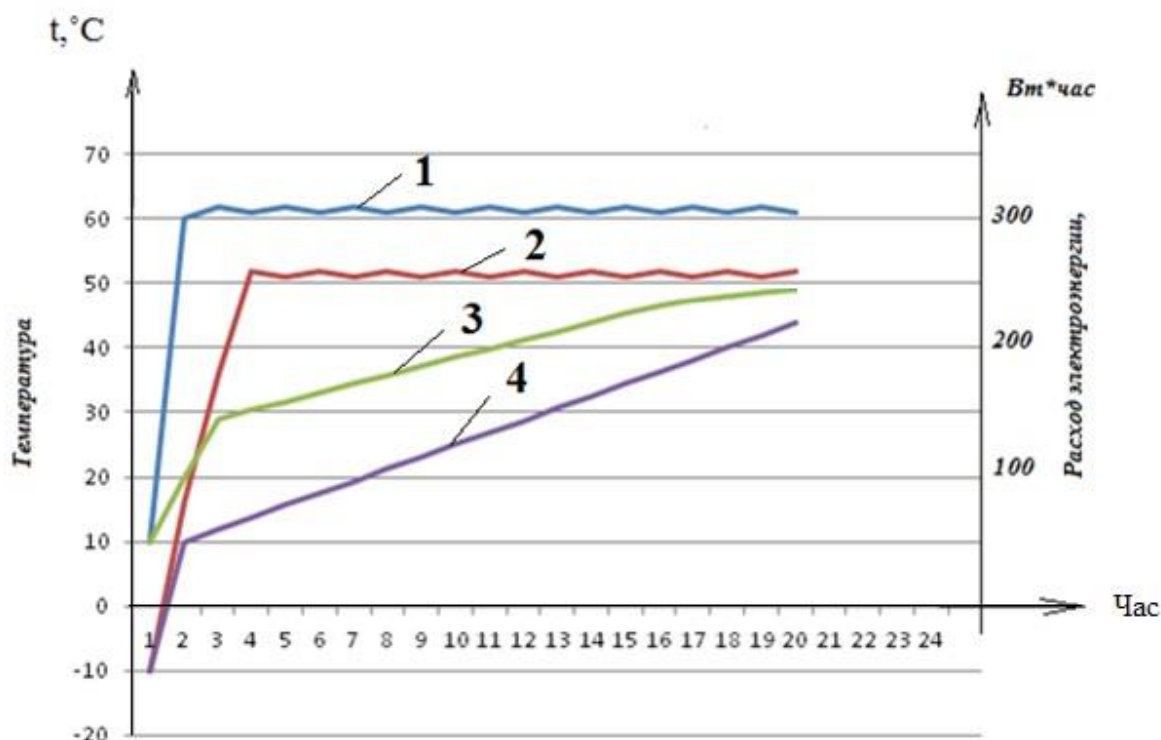


Рис. 2. График зависимости температуры в испытательной камере и расхода электроэнергии:

1 – температура в камере при $t_{нар}=10^{\circ}\text{C}$; 2 – температура в камере при $t_{нар}= -10^{\circ}\text{C}$ и $t_{вн}=62^{\circ}\text{C}$; 3,4 – расход электроэнергии.

Таблица 2

Результаты тарировки испытательной камеры

№	Параметр	Крышка, мм		
		$\delta=80$	$\delta=60$	$\delta=40$
1	Средняя площадь крышки $F_{кр}$, м^2	0,043	0,043	0,043
2	Средняя площадь камеры без крышки, F_k , м^2	0,443	0,443	0,443
3	Полная средняя площадь испытательной камеры, $F_{п}$, м^2	0,486	0,486	0,426
4	Коэффициент теплопередачи крышек, $\text{Вт}/\text{м}^2\cdot\text{K}$	0,250	0,330	0,480
5	Расход электроэнергии при эксперименте, W , Вт	217	221	238
6	Коэффициент теплопередачи камеры в сборе при экспериментах $K_{п}$, $\text{Вт}/\text{м}^2\cdot\text{K}$	0,426	0,456	0,496
7	Коэффициент теплопередачи корпуса камеры K_k , $\text{Вт}/\text{м}^2\cdot\text{K}$	0,482	0,495	0,501

Экспериментальные исследования опытных образцов ограждения кузова.

Металлический каркас кузова является цельнонесущим. Боковые стены представляют собой каркас, включающий верхние и нижние обвязки, вертикальные стойки и продольные элементы Z-образного профиля. В качестве базовой конструкции вагона принят купированный вагон длиной 23,6м. В данной работе рассматривается тепловое ограждение боковых стен и крыши. Продольные и поперечные элементы образуют ячейки, в которые помещаются материалы теплоограждения. Требования к теплоограждающим материалам должны соответствовать

нормам ОСЖД (правила О+Р538/1). Теплоизоляция кузова вагона представляет собой многослойную стенку, составленную из наружной обшивки 1, каркаса 2, теплоизоляции 3, деревянных брусков и внутренней обшивки 5 (рис.3).

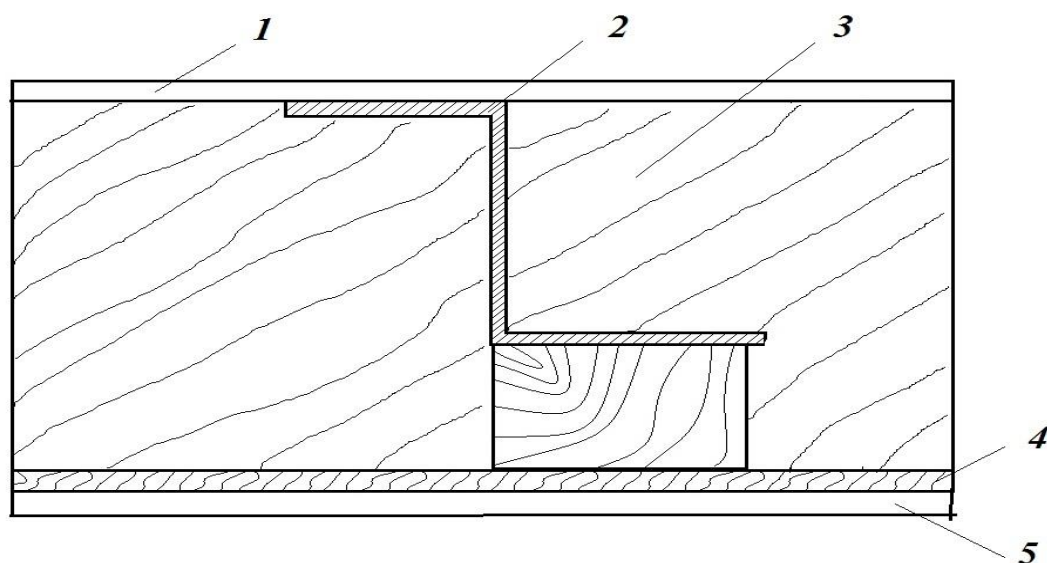


Рис. 3. Общий вид теплоизоляции кузова

Для проведения экспериментов было изготовлено 5 образцов теплоизоляции. Каждый образец представляет собой макет тепловой изоляции кузова размером 270х240 мм. Образец под номером 1 –тарировочный, состоит из трех крышек, образцы № 2,3,4,5 представляют собой макеты опытных конструкции тепловой изоляции кузова (таблица 3).



Рис. 4. Каркас опытных образцов:
1 – лист обшивки; 2 – Z-образный профиль

Экспериментальные исследования проводились на стенде при температуре t_n 10°C и -10°C. Основные компоненты в образце №2 – изомаст, герметик и изовер; в образце №3 –

корунд, пенополиуретан и пеноплекс; в образце №4 – корунд и пенополиуретан; в образце №5 – корунд, пенополиуретан и изовер.

Каждый образец испытывался в течение 23-24 часов непрерывно. Температура в испытательной камере поддерживалась так, чтобы разность температуры в камере была 52°C интервалом $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. После завершения испытаний результаты были обработаны и сведены в таблицу 4.

Таблица 3

Эскизы образцов ограждений для испытаний

Эскиз образца	Материал и его параметры		
Образец №1			
	Материал	δ , м	λ , Вт/м·К
	1-сталь	0,002	46,2
	2-сталь	0,003	46,2
	3-эмлак	0,0005	0,016
	4-изомаст	0,003	0,18
	5-керамика	0,003	0,15-0,2
	6-изовер	0,080	0,041
	7-дерево	0,04	0,02-0,2
	8-пластик	0,0015	0,2
Образец №2			
	Материал	δ , м	λ , Вт/м·К
	1-сталь	0,002	46,2
	2-сталь	0,004	46,2
	3-корунд	0,0015	0,0012
	4-пенополиуретан	0,03	0,04
	5-пеноплекс	0,025	0,028
	6-дерево	0,020	0,08
	7-пластик	0,0015	0,2
Образец №3			
	Материал	δ , м	λ , Вт/м·К
	1-сталь	0,002	46,2
	2-сталь	0,003	46,2
	3-корунд	0,0015	0,0012
	4-пенополиуретан	0,052	0,046
	5-дерево	0,020	0,23
	6-пластик	0,0015	0,2
Образец №4			
	Материал	δ , м	λ , Вт/м·К
	1-сталь	0,002	46,2
	2-сталь	0,003	46,2
	3-корунд	0,0015	0,0012
	4-пенополиуретан	0,052	0,046
	5-изовер	0,028	0,041
	6-дерево	0,020	0,23
	7-пластик	0,0015	0,2

Таблица 4

Результаты экспериментальных испытаний опытных образцов ограждения

Образцы	Разность температур $\Delta t, ^\circ\text{C}$	Время включения нагревателя τ , час	Расход электроэнергии W , Вт·ч	Полный коэффициент теплопередачи камеры K_n , Вт/м ² ·К	Коэффициент теплопередачи корпуса камеры K_k , Вт/м ² ·К	Коэффициент Теплопередачи крышки (образца) теоретический $K_{кр}^{теор}$ Вт/м ² ·К	Коэффициент теплопередачи крышки экспериментальный $K_{кр}^{эксп}$ Вт/м ² ·К
2	51	18,5	241	0,490	0,482	0,520	0,502
3	52,5	20	235	0,470	0,482	0,329	0,340
4	51,5	20,5	240	0,472	0,482	0,384	0,364
5	52	20	219	0,473	0,482	0,385	0,370

На рисунке 5 приведен график температуры и расхода электроэнергии при испытании четырех образцов тепловой изоляции.

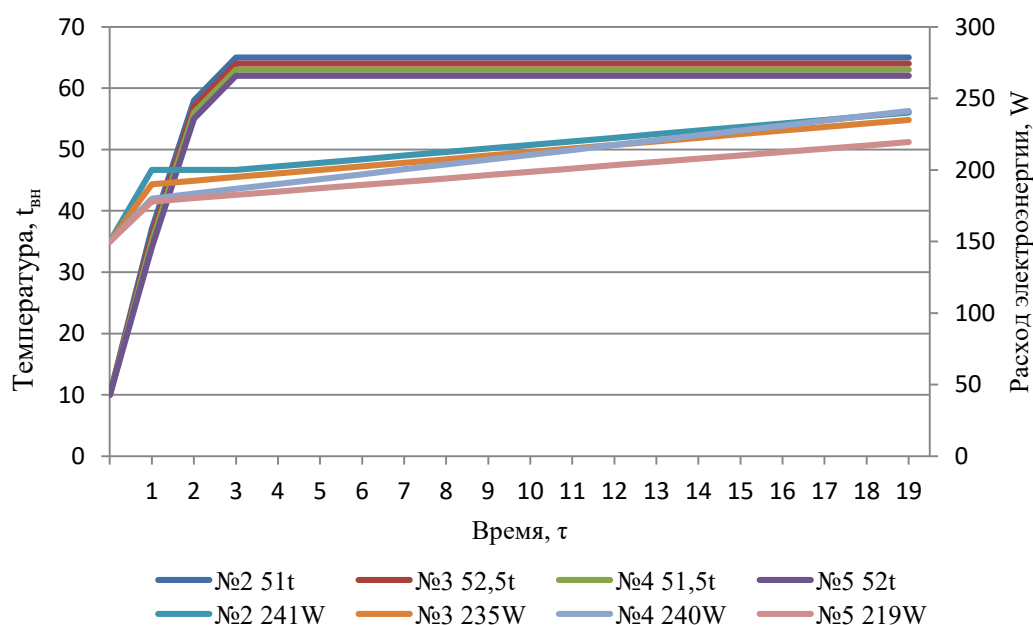


Рис. 5. График изменения температуры $t_{вн}$ и расхода электроэнергии W в зависимости от времени 2,3,4,5- образцов.

После включения нагревателя, рост температуры продолжался в течении 1,5-2 часов до разности температур $t_{вн} - t_{н} = 52^\circ\text{C}$, происходил неустановившийся режим теплопередачи. Затем наступал установившийся режим теплопередачи. Для дальнейших расчетов снимались значения установившегося режима теплопередачи.

В результате экспериментов, по полученным опытным данным рассчитывались коэффициенты теплопередачи K_n испытательной камеры с опытными образцами. Далее, по

уже известным коэффициентам испытательной камеры K_n , корпуса камеры K_k определяется коэффициент теплопередачи крышек образцов номер 2,3,4,5.

Результаты расчетов приведены в таблице 4. По данным таблицы 4 построен график (рисунок 6) изменения коэффициента теплопередачи образцов № 2,3,4,5.

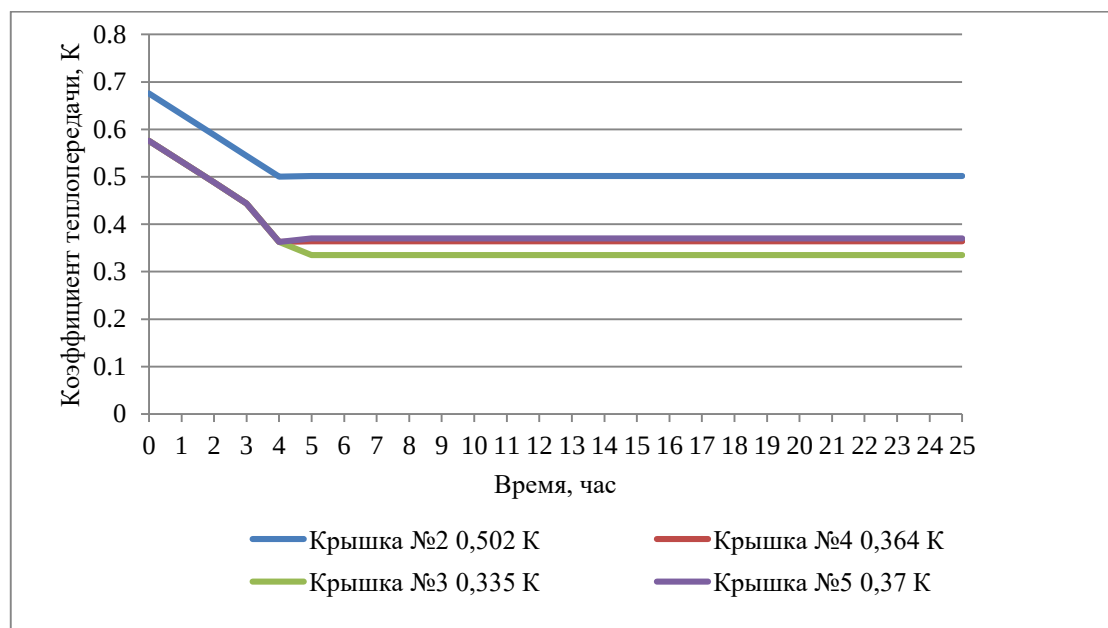


Рис. 6. График изменения коэффициента теплопередачи опытных образцов теплограждения в камере.

Коэффициент теплопередачи образца при низком расходе электроэнергии имеет высокое значение, затем по мере роста температуры и расхода электроэнергии нормализуется и принимает постоянное значения.

По данным экспериментальных исследований (рис. 7) можно сделать вывод, что самый высокий коэффициент теплопередачи $K=0,502 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$ имеет образец №2, в котором использован в качестве теплоизоляции изомаст (битумная смола, герметик и изовер). Битумная смола и герметик после засыхания становятся твердыми, подвержены тресканию и образованию щелей. Изовер используется в виде пакетов из пленки, которая со временем может трескаться и внутрь пакета проникает конденсат(влага), который снижает влагоустойчивость. В итоге, под внутренней обшивкой образуется конденсат, который стекает вниз и возникает коррозия нижних листов наружной обшивки. Таким образом теплоизолирующие материалы смола, герметик и изовер не рекомендуется к применению.

Наилучшие результаты показали образцы №3 ($K_3=0,340 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$) и №4 ($K_4=0,364 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$). В образце №3 использовались корунд, пенополиуретан и пеноплекс, а в образце №4 – корунд и пенополиуретан, имеющие очень низкие коэффициенты теплопроводности. Корунд имеет коэффициент теплопроводности $\lambda=0,0012 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$. Это жидкий материал на основе алкидной эмали, при загустевании легко разбавляется водой, легко наносится кистью или распылением, надежно заполняет все неплотности и щели.

Пенополиуретан, коэффициент теплопроводности которого составляет $0,04 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$, создает достаточно плотный слой изоляции, покрывает все неплотности. При заполнении ниши пенополиуретан разбухает. Это надо учесть при нанесении пены, что бы не было выпуклых мест.

Пеноплекс с коэффициентом теплопроводности $\lambda=0,028 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$ очень удобный материал, он легко режется, не требует полиэтиленовой пленки, влагу не воспринимает.

Результат образца №5 составил $K_5 = 0,370 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$. В этом образце вместе с пенополиуретаном использован и изолвер в полиэтиленовых пакетах, а недостатки изолвера в пакетах изложены выше.

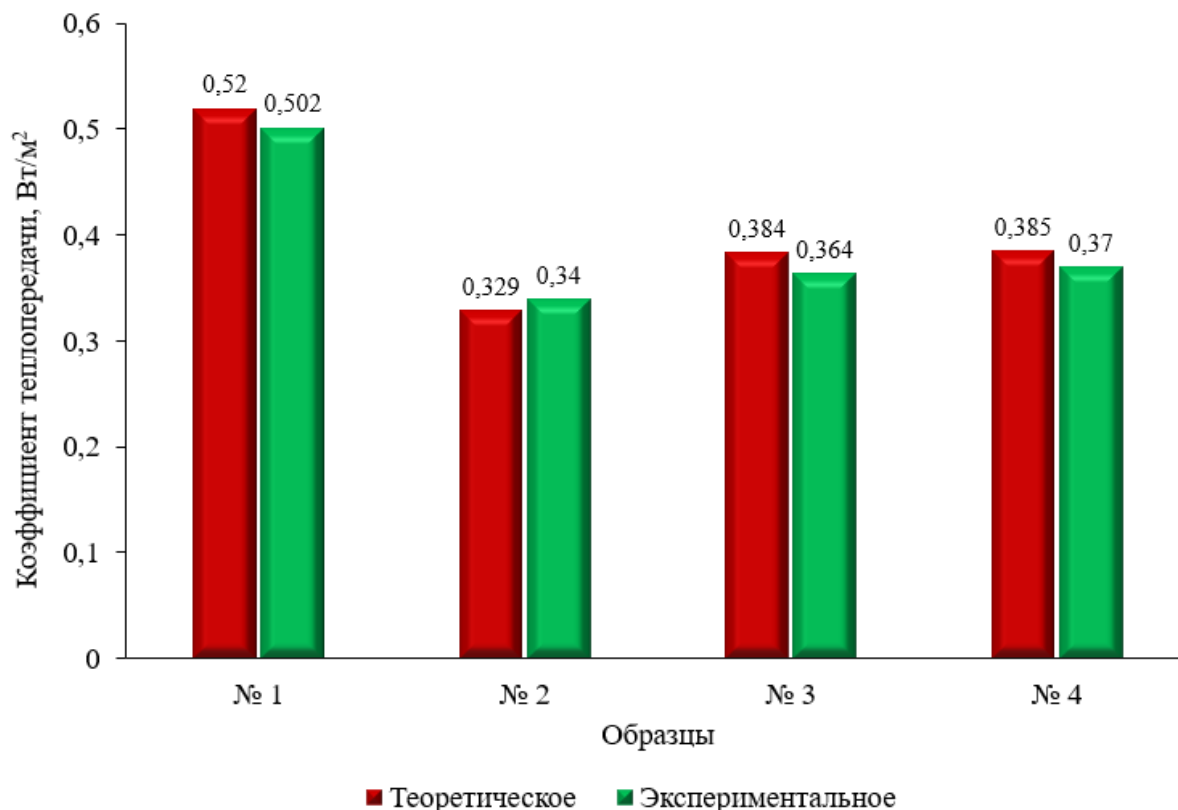


Рис. 7. Гистограмма значений коэффициента теплопередачи образцов

Таким образом, для внедрения в производство рекомендуются варианты образцов №3 и №4, которые не только обладают низким коэффициентом теплопередачи, но и защищают кузов от коррозии.

Теплоограждение кузова из образцов №3 и №4 толщиной 80мм вполне пригодны для боковых стен. Солнечная радиация в полном объеме действует на крышу вагона, поэтому целесообразно толщину ограждения крыши увеличить, применяя те же материалы.

Предлагается увеличить ограждения крыши до 110 мм за счет применения деревянного бруса толщиной 50мм. Тогда толщина слоя корунда увеличится до 2мм, пенополиуретана – 55мм, пеноплекса – 50мм. Расчет коэффициента теплопередачи крыши толщиной 110 мм производился по формуле 4 и составил $K_{кр} = 0,256 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$. Такая величина коэффициента $K_{кр}$ позволит уменьшить тепловой поток, проникающий внутри вагона.

После завершения экспериментальных работ с образцами ограждения кузова выполнена попытка определения коэффициента теплопередачи кузова вагона. По результатам предварительного расчета получим, что $K_v = 0,6-0,65 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$, что ниже чем известно по В.В. Лукину [1] $K_v = 1,0-1,1 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$ на 40%. Окончательно коэффициент теплопередачи вагона может быть определен после испытаний вагона после постройки с ограждением из предложенных материалов.

Выводы

В работе проанализированы существующие теплозащитные материалы для ограждения кузова вагона с наиболее низкими коэффициентами теплопроводности и проведены соответствующие испытания. Для экспериментальной проверки было изготовлено 4 опытных образца ограждения кузова, в которых использованы теплозащитные материалы корунд,

пенополиуретан, пеноплекс и изовер. Тарировка испытательной камеры позволила экспериментально определить коэффициент теплопередачи испытательной камеры с тремя съемными крышками.

Согласно усовершенствованной методике проведения экспериментальных исследований образцов ограждения кузова, экспериментально обоснован выбор теплотехнических материалов для внедрения в производство. Образцы №3 и №4, показавшие наиболее низкий коэффициент теплопередачи – $K_3=0,335 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$ и $K_4=0,364 \text{ Вт/м}^2\cdot\text{К}$ рекомендуются к внедрению при производстве пассажирских вагонов.

Толщину ограждения крыши вагона предлагается увеличить до 110мм для защиты от солнечной радиации.

Библиографический список

1. Лукин В. В., Анисимов П. С., Федосеев Ю. П. Вагоны. Общий курс: Учебник для вузов ж-д транспорт. / Под ред. В. В. Лукин. – М: Маршрут, 2004. 424с.
2. Абдуллаев, Б. А. Испытания новых теплоизоляционных материалов «Регент Балтика» / Б. А. Абдуллаев, О. И. Зайнитдинов, Р. Г. Крылов // Материалы XV Междунар. науч.-технич. конференции «Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты». – СПб.: ФГБОУ ВО РГУПС, 2021. – С. 89–93.
3. Бороненко, Ю. П. Экспериментальные исследования новых конструктивных решений ограждения кузовов рефрижераторных вагонов и контейнеров / Ю. П. Бороненко, Б. А. Абдуллаев // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2020. – Т. 17. – Вып. 4. – С. 498–513.
4. Абдуллаев, Б. А. Анализ теплотехнических свойств ограждений кузовов пассажирских вагонов / Б. А. Абдуллаев, А. А. Романова, К. Х. Инояттов // Материалы I Междунар. науч.-технич. конференции «Железнодорожный подвижной состав: проблемы, решения, перспективы». – Т.: ТГТУ, 2022. – С. 9–13.
3. Абдуллаев, Б. А. Оценка тепловых ограждений кузова изотермического подвижного состава / Б. А. Абдуллаев, Ю. П. Бороненко, Х. А. Рахматов // Материалы I Междунар. науч.-технич. конференции «Железнодорожный подвижной состав: проблемы, решения, перспективы». – Т.: ТГТУ, 2022. – С. 3–9.

K. X. Inotyatov, B. A. Abdullaev, Kh. A. Rakhmatov

NEW TECHNICAL SOLUTIONS FOR THERMAL PROTECTION OF PASSENGER CARS

Abstract. The article deals with the issues of determining the heat transfer coefficient of closed box-shaped chambers for the study of thermal processes in the bodies of passenger cars.

Keywords: body, passenger wagon, heat-insulating material, test chamber, heat transfer coefficient.

For citation: Inotyatov, K. X. New Technical Solutions for Thermal Protection of Passenger Cars/ K. X. Inotyatov, B. A. Abdullaev, Kh. A. Rakhmatov // Trudy Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobseniya. – 2024. – № 4. – P. 61 – 70.

Сведения об авторах**Иноятлов Камолитдин Хуснидинович**

Ташкентский государственный
транспортный университет,
кафедра «Вагоны и вагонное хозяйство»,
доцент,
e-mail: kamal.78@list.ru

Абдуллаев Бахром Актамович

Ташкентский государственный
транспортный университет,
кафедра «Вагоны и вагонное хозяйство»,
доцент,
e-mail: baxrom86@yandex.ru

Рахматов Хамза Абдулхакимович

Ташкентский государственный
транспортный университет,
кафедра «Вагоны и вагонное хозяйство»,
аспирант,
e-mail: x.raxmatov90@gmail.com

Information about the authors**Inoyatov Kamoliddin Xusnidinovich**

Tashkent State Transport University,
Chair «Car and Car Economy»,
Associate Professor,
e-mail: kamal.78@list.ru

Abdullaev Bakhrom Aktamovich

Tashkent State Transport University,
Chair «Car and Car Economy»,
Associate Professor,
e-mail: baxrom86@yandex.ru

Rakhmatov Hamza Abdulhakimovich

Tashkent State Transport University,
Chair «Car and Car Economy»,
Graduate Student,
e-mail: x.raxmatov90@gmail.com

УДК 539.621

И. Н. Ковалёва, А. П. Сычев, В. В. Шубитидзе, А. В. Пигунов, В. В. Подгорная

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ БИОРАЗЛАГАЕМЫХ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ РАСТИТЕЛЬНЫХ И ЖИВОТНЫХ ЖИРОВ ДЛЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Аннотация. Проведён сравнительный анализ триботехнических и физико-механические свойств растительных и животных жиров, и нефтяных масел. Показано, что разработка биоразлагаемых смазочных материалов для железнодорожного транспорта имеет перспективу для мало- и средненагруженных узлов трения, а также для консервирующих и моющих составов.

Ключевые слова: биоразлагаемые смазочные материалы, триботехнические характеристики, растительные и животные жиры, железнодорожный транспорт.

Для цитирования: Ковалёва, И. Н. Перспективы развития биоразлагаемых смазочных материалов на основе растительных и животных жиров для железнодорожного транспорта/ И. Н. Ковалёва, А. П. Сычев, В. В. Шубитидзе, А. В. Пигунов, В. В. Подгорная // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2024. – № 4.– С. 71 – 75.

Задача выбора и оптимизации свойств смазочных материалов представляет собой одну из наиболее актуальных проблем современного машиностроения. До XX века в качестве смазочных веществ использовались растительные и животные жиры [1-3]. С развитием нефтеперерабатывающей промышленности на передний план вышли сначала минеральные масла, а затем и синтетические смазочные средства. Сегодня нефтепродукты доминируют в производстве смазочных материалов, представляя собой одну из крупнейших отраслей мировой экономики, что, в свою очередь, порождает экологические проблемы и ставит перед учеными задачу создания биоразлагаемых альтернатив на основе возобновляемого сырья [2, 3]. Основными преимуществами растительных и животных жиров остаются их возобновляемость и доступность, хотя их триботехнические свойства часто уступают минеральным и синтетическим вариантам, особенно в условиях высоких нагрузок и низких температур. Однако, применяя специализированные присадки можно значительно улучшить необходимые характеристики. Кроме того, использование биожиров и перерабатываемых отходов на их основе открывает новые горизонты не только в производстве смазочных материалов, но и в сфере биотоплив, предлагая эффективные решения для утилизации отработанных смазок через сжигание, что генерирует тепловую энергию. Таким образом, исследование свойств растительных и животных масел является насущной задачей, способствующей внедрению экологически безопасных решений в промышленность и производство [4-6].

С технической точки зрения, смазывающие свойства масел играют важную роль, предотвращая износ деталей благодаря образованию прочной защитной масляной пленки на их поверхностях. При гидродинамическом (жидкостном) трении контактирующие поверхности полностью отделены смазкой, и относительное движение происходит лишь между её слоями. В таких условиях износ поверхностей минимален, а на трение, помимо механических параметров и геометрии взаимодействующих деталей, оказывают влияние физико-механические свойства смазки и контактирующих тел. При жидкостном трении отпадает необходимость в добавлении присадок, поскольку достаточно правильно выбрать совместимые по физико-химическим свойствам материалы контактирующей пары и смазки.

При значительных контактных давлениях, даже при большом количестве смазочного материала, происходит переход к граничному трению в зоне контакта, где основная нагрузка воспринимается именно масляной пленкой. В этом контексте ключевую роль в смазывающих свойствах масла играет строение её молекул, адсорбирующихся на поверхностях в виде тонкого слоя с ориентированной молекулярной структурой, способной эффективно снижать трение независимо от вязкости и повышать нагрузку заедания поверхностей. Именно ориентированная структура масляной пленки реализуется в смазочных материалах растительного и животного происхождения за счет наличия жирных кислот в их составе [7].

Цель работы провести сравнительный анализ триботехнических и физико-механических свойств биологических и нефтяных масел. Определить перспективность и целевое назначение биоразлагаемых смазочных материалов для узлов железнодорожного транспорта на основе растительных и животных жиров.

Объекты и методы исследований.

В качестве объектов исследований выбраны масла наиболее перспективные для изготовления смазочных материалов: рапсовое, пальмовое, кокосовое, говяжий жир, минеральное И-40 [8]. Исследования триботехнических характеристик объектов исследований, диаметра пятна износа $D_{и}$ (мм) и нагрузку сваривания $N_{св}$ (кгс), проводили по ГОСТ 32502-2013 на ЧШМ-K1 (Технопромкомплект, Украина).

Кинематическая вязкость η (мм²/с) определялась при температуре 40 °С с помощью вискозиметра ВПЖ 2 (0,99) и Термостата А2м (БМЦ, Беларусь) по ГОСТ 33-2016.

Оценку температуры вспышки $T_{всп}$ °С производили в открытом тигле с помощью прибора Вспышка-А (БМЦ, Беларусь), метод испытания соответствует ГОСТ 4333-14. Температуру застывания $T_{заст}$ °С исследовали методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) на приборе DSC 214 Polyma (NETZSCH - Gerätebau GmbH, Германия). Масса исследуемых образцов находилась в пределах 3 – 4 мг.

В качестве сравнительных смазочных материалов выбраны смазки, наиболее распространенные и утвержденные Советом по железнодорожному транспорту государств-участников Содружества РД ВНИИЖТ 27.05.01-2017: ЛЗ-ЦНИИ, Буксол, Пума, К-17. Основой данных смазок является маловязкое минеральное масло, либо смеси разных видов минеральных масел, а также комплекс целевых присадок.

Результаты исследований и их обсуждение.

В таблице 1 приведены данные физико-механических и триботехнических свойств объектов исследований.

Анализ представленных в таблице 1 данных показал, что растительные масла и животные жиры обладают достаточно хорошими триботехническими характеристиками, чтобы рассматривать их в качестве основы для разработки смазочных материалов триботехнического назначения для узлов трения как многоцелевого назначения, так и для некоторых узлов железнодорожного транспорта.

Авторы работ [3, 10] показали, что биоразлагаемость – один из показателей безопасности смазочного материала для окружающей среды. В таблице 2 представлены данные по биоразлагаемости для наиболее распространенных базовых основ смазочных материалов из источника [11], полученные по методу СЕС-L-33-A-93 (учет сокращения С-Н связей за 21 день), их преимущества и недостатки, области применения и рабочие параметры. Как можно заметить, не все смазочные материалы являются безопасными и их применение определяется экономической необходимостью и условиями работы узла трения. В РФ порядок определения биоразлагаемости устанавливается ГОСТом 32427-2013 и составляет не менее 80% разложения на безопасные компоненты в течение 28 суток.

Таблица 1

Физико-механические и триботехнические свойства объектов исследований

Масло	η , мм ² /с при 40 °С	T _{заст} , °С справ/эксп	T _{всп} , °С справ/эксп	D _и , мм при 40 кгс	N _{св} , кгс
Рапсовое	32,7	-23 / -18	270/205	0,67±0,03	126,0
Пальмовое	42,3	+32 / + 35	315/205	0,51±0,01	141,0
Кокосовое	45,8	+28 / + 30	232/185	0,54±0,03	133,0
Говяжий жир	48,4	+25 / +25	200/188	0,41±0,01	188,0
Минеральное И-40	51,0	-30 / -20	200/189	0,65±0,04	200,0
К-17	20,0	-26 / -	170/-	-	-
Промышленная смазка для ж/д транспорта	Температура каплепадения, °С	Диапазон рабочих температур, °С		D _и , мм при 20 кгс	N _{кр} , кгс
ЛЗ-ЦНИИ	130	-60 ...+100		0,55	94,0
Буксол	180	-60 +60 (+120)		0,50	80,0
Пума	140	-60...+130		0,70	66,0

Таблица 2

Биоразлагаемость смазочных материалов [11]

Смазочный материал	% за 21 день [11]	Преимущества/Недостатки	Узлы трения ж/д транспорта и др.	Нагрузка/Скорость/Температура
Минеральные масла	10 - 45	Дешевые, распространенные/ Нестабильные, неэкологичные	Буксовый узел, механизм стрелочного перевода.	Большие нагрузки; Большие скорости; -40...+100
Минеральные масла гидрокрекинга	25 - 80	Стабильные, распространенные/ Дорогие, неэкологичный и сложный процесс производства	Многоцелевые подшипники скольжения ж/д транспорта, двигатель локомотива; механизмы переключения скоростей	Большие нагрузки; Большие скорости; -60...+120
Полиальфаолефины/ синтетические масла	20 - 80	Эффективные, условно экологичные/ Дорогие, сложный процесс производства	Многоцелевые подшипники скольжения ж/д транспорта	Большие нагрузки; Большие скорости; -100...+180
Диэфиры/ сложные эфиры	50 - 100	Эффективные, экологичные/ Очень дорогие, сложный процесс производства	Как присадки для минеральных и синтетических базовых масел	Большие нагрузки; Большие скорости; -100...+180
Растительные масла	75 - 100	Дешевые, возобновляемые, экологичные/ Слабая окислительная стабильность и устойчивость к низким температурам	Смазка контактной пары «колесо-рельс», винтовые пары рельса, механизм стрелочного перевода, моющие составы; консервационные составы.	Средние нагрузки; Малые и средние скорости; Короткий срок до замены -20 ... +90

Выводы.

Представленные экспериментальные данные и анализ литературных источников показали, что растительные и животные жиры являются альтернативным нефтяным маслам материалом для разработки биоразлагаемых смазочных материалов. Они могут быть

использованы для нужд железнодорожного транспорта в открытых узлах трения, имеющих непосредственный контакт с окружающей средой, а также для разработки консервационных и моющих средств при расконсервации объектов ж/д транспорта после хранения.

Библиографический список

1. **Фукс, И. Г. и др.** Экологические проблемы рационального использования смазочных материалов // М.: Нефть и газ. – 1993. – Т. 158
2. **Reeves C. J., Menezes P. L.** Advancements in eco-friendly lubricants for tribological applications: Past, present, and future // *Ecotribology: research developments*. – 2016. – С. 41–61.
3. **Паренаго, О. П. и др.** Состояние и перспективы развития производства биоразлагаемых пластичных смазок (обзор) // *Нефтехимия*. – 2017. – Т. 57. – №. 6. – С. 766–768
4. **Колесников, И. В. и др.** Неорганическая полимерная присадка к пластичным смазочным материалам // *Трение и износ*. – 2021. – Т. 42. – №. 5. – С. 532–538. DOI:10.32864/0202-4977-2021-42-5-532-538
5. Григорьев Ф. А., Подгорная В. В., Марченко Л. Н., Ковалева И. Н. Оптимизация концентрации антиокислительной присадки в пластичном смазочном материале на основе рапсового масла // *ММММ*. – 2023. – Т. 64. – №. 3. – С. 66–72. DOI:10.46864/1995-0470-2023-3-64-66-72
6. **Johns, E. I. et al.** Study of tribological properties of tallow modified by graphene and expanded graphite // *Journal of Friction and Wear*. – 2018. – Т. 39. – С. 341–344. DOI:10.3103/S1068366618040049
7. **Ахматов, А.С.** Молекулярная физика граничного трения / М: Физматлит, 1963. – 472 с
8. Marchenko L. N., Kavaliyova I. N., Podgornaya V. V. Selection of a Base Vegetable Oil for the Development of a Biodegradable Lubricant Using the TOPSIS Method // *Journal of Machinery Manufacture and Reliability*. – 2024. – Т. 53. – №. 4. – С. 314–321. DOI:10.1134/S1052618824700195
9. **Жорник В. И., Ивахник А. В., Запольский А. В.** Экологически безопасные смазочные материалы на основе смеси растительного и минерального масел // *Вестник Витебского государственного технологического университета*. – 2022. – №. 1. – С. 99–114
10. **Леонтьев, В. Н. и др.** Испытание образцов смазочных материалов на биоразлагаемость // *Технология органических веществ*. – 2021. – С. 349–351.
11. **Rudnick L. R., Shubkin R. L. (ed.)** Synthetic lubricants and high-performance functional fluids, revised and expanded. – Crc Press, 1999.

I. N. Kovaleva, A. P. Sichev, V. V. Shubitidze, A. V. Pigunov, V. V. Podgornaya

DEVELOPMENT PROSPECTS OF BIODEGRADABLE LUBRICANTS BASED ON VEGETABLE AND ANIMAL FATS FOR RAILWAY TRANSPORT

Abstract. A comparative analysis of tribotechnical and physical-mechanical properties of vegetable and animal fats and petroleum oils has been carried out. It is shown that the development of biodegradable lubricants for railway transport has prospects for low and medium-loaded friction units, as well as for preserving and washing compositions.

Keywords: biodegradable lubricants, tribotechnical characteristics, vegetable and animal fats, railway transport.

For citation: Kovaleva, I. N. Development Prospects of Biodegradable Lubricants Based on Vegetable and Animal Fats for Railway Transport/ I. N. Kovaleva, A. P. Sichev, V. V. Shubitidze, A. V. Pigunov, V. V. Podgornaya // Trudy Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobseniya. – 2024. – № 4. – P. 71– 75.

Сведения об авторах

Ковалева Инна Николаевна

Государственное научное учреждение «Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого Национальной академии наук Беларуси» (ИММС НАН Беларуси),
кандидат технических наук, доцент,
e-mail: innakov2@mail.ru

Сычев Александр Павлович

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки "Федеральный исследовательский центр Южный научный центр Российской академии наук" (ЮНЦ РАН),
кандидат физико-математических наук, доцент,
e-mail:alekc_sap@mail.ru

Пигунов Анатолий Владимирович

Белорусский государственный университет транспорта (БелГУТ),
кандидат технических наук, доцент,
e-mail: tvp29@yandex.ru

Шубитидзе Виктория Викторовна

Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС),
кафедра «Тяговый подвижной состав»,
кандидат технических наук, доцент,
e-mail: kvi@rgups.ru

Подгорная Виктория Валерьевна

Государственное научное учреждение «Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого Национальной академии наук Беларуси» (ИММС НАН Беларуси),
кандидат технических наук, доцент,
e-mail: podgornaya@mpri.org.by

Information about the authors

Kavaliova Inna Nikolaevna

The State Scientific Institution «V. A. Belyi Metal-Polymer Research Institute of National Academy of Sciences of Belarus» (MPRI NASB),
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
e-mail: innakov2@mail.ru

Sychev Aleksandr Pavlovich

Federal State Budgetary Institution of Science «Federal Research Centre The Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences» (SSC RAS),
Candidate of Physical-Mathematics Sciences, Associate Professor,
e-mail:alekc_sap@mail.ru

Pigunov Anatolii Vladimirovich

Belarusian State University of Transport (BelSut),
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
e-mail: tvp29@yandex.ru

Shubitidze Victoria Victorovna

Rostov State Transport University (RSTU)
Chair «Theoretical Mechanics»,
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
e-mail: kvi@rgups.ru

Podgornaya Victoriya Valer'yevna

The State Scientific Institution «V. A. Belyi Metal-Polymer Research Institute of National Academy of Sciences of Belarus» (MPRI NASB),
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
e-mail: podgornaya@mpri.org.by

УДК 551.583.2 : 621.793.14 + 06

И. В. Колесников, К. Н. Политыко

ИССЛЕДОВАНИЕ ИОННО-ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ

Аннотация. В статье проведен литературный анализ физического метода нанесения покрытий. Рассмотрены вакуумно-дуговое испарение и магнетронное распыление, покрытия на основе высокоэнтропийных сплавов (ВЭС). Были получены ионно-плазменные покрытия на основе ВЭС CrTiZrNbHf – вакуумно-дуговым методом, CuCrMnFeCoNi – магнетронным методом. Проведены сравнительные исследования морфологии, физико-механических и трибологических свойств данных покрытий.

Ключевые слова: физический метод нанесения покрытий, ионно-плазменные покрытия, трибология, физико-механические свойства, индентирование, износостойкость.

Для цитирования: Колесников И.В., Политыко К.Н. Исследование ионно-плазменных покрытий / И.В. Колесников, К.Н. Политыко // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2024. – № 4. – С. 76 – 84.

Введение

Известно, что надежная работа транспортных средств, машин, механизмов определяется износостойкостью поверхностного слоя металлических узлов трения. В процессе эксплуатации изменяются структура, свойства и состояние материала сопряженных деталей. Дальнейшие исследования должны быть направлены на получение на трибоконтакте поверхностного слоя, обладающего способностью саморегулирования. Основная же задача в сфере инженерии металлических поверхностей узлов трения – синтез технологии и материалов нанесения ионно-плазменных покрытий (ИПП) [1].

Анализ нанесения ионно-плазменных покрытий

Получение металлических износостойких покрытий реализуется физическим методом осаждения и широко используется в различных отраслях промышленности. Реализация данного метода заключается в испарении материала катода в высоком вакууме (до 10^{-4} Па). Вакуум способствует переходу материала из твердого состояния в состояние плазмы (тлеющего разряда) в среде инертных газов (Ar; N₂; O₂; C₂H₂; H₂ и др.), с помощью плазмы происходит перенос испаренного материала к образцу, на котором происходит формирование и рост структуры покрытия. Для реализации физического метода осаждения существует широкий перечень оборудования, способов и технологий: вакуумно-дуговое осаждение, магнетронный метод распыления, термическое испарение, молекулярно-пучковая эпитаксия, ионная имплантация и другие. В каждом методе свой источник нагрева и способ ускорения частиц. Два последних метода особенно широко используются для получения износостойких покрытий.

Реализация вакуумно-дугового метода осуществляется за счет образования дугового разряда, который развивается в парах материала катода и приводит к генерации катодных пятен (КП) размером $10^{-6} - 10^{-3}$ м на поверхности самого катода, в которых за счет взрывной эмиссии электронов происходит быстрое достижение температуры кипения материала, что способствует испарению материала [2 – 4]. КП содержат продукты эрозии, для которых

характерны три фазы: микрокапельная, паровая, ионизированная [5]. Последняя преобладает, если речь идет об испарении в катодах, изготовленных из тугоплавких материалов [6]. В катодах из легкоплавких металлов на ионизованную фазу приходится до 10 % [7]. Отметим, что в потоке плазмы молибденовой дуги на ионизированную фазу приходится 80–90 % от всех фаз [8]. Катодные пятна бывают трех видов. Первый наблюдается в начале дугового разряда и движется со скоростью 100–150 м/с [9]. Для второго характерны более чем двукратное увеличение испарения и перемещения со скоростью 50–75 м/с [10]. Третий тип КП считается самым вредоносным и влияет на образование капельной фазы в вакуумно-дуговых установках. Размер ячеек КП зависит от материала катода.

Основной недостаток метода состоит в наличии капельной фазы размером 0,1...40 мкм, которая приводит к неоднородности поверхности, повышенной шероховатости, уменьшению адгезии, увеличению внутренних напряжений, увеличивая рост дефектов структуры. Для уменьшения капельной фазы используют сепарацию плазменного потока с помощью магнитного поля и оптимизацию электрических параметров установки для нанесения вакуумных покрытий [4].

Данным методом разработано множество видов покрытий: нитридные покрытия (TiN, TiCN, TiAlN, TiMoN, TiSiN), нанослойные композиционные покрытия (TiN/NbN, TiN/AlN, CrN/TiN, TiN/AlTiN), нитридные покрытия на базе ВЭС ((TiAlSiCrNiCuOC)N, (TiZrHfVNb)N, CrTiZrHfNb). Широко изучены покрытия, полученные на основе TiN с содержанием азота 37,5–52 ат.%. Их главная особенность — ячеистый микрорельеф с размером ячеек 0,5...3 мкм. Покрытие может содержать две фазы: Ti₂N с гексагональной плотноупакованной (ГПУ) решеткой и TiN с гранецентрированной кубической (ГЦК) решеткой. В нитридных покрытиях азот влияет на микротвердость. При увеличении давления азота в камере микротвердость повышается до 35...53 ГПа, а при дальнейшем увеличении снижается до 20...24 ГПа. Это объясняется уменьшением активации частиц азота при давлении более 1 Па [11].

Покрытия TiCN образуются смешиванием N₂ с C₂H₂ или CH₄. Они имеют столбчатую структуру с шириной столбцов 260 нм. При добавлении ацетилена микротвердость увеличивается до 50 ГПа [12].

Авторы [13] установили, что при нанесении покрытия Ti₅₀Al₅₀N с уменьшением опорного напряжения от –300 В до –150 В снижается концентрация алюминия в составе покрытия, и это влияет на микротвердость. При уменьшении опорного напряжения на 30 В значение микротвердости увеличилось с 29,1 до 34,5 ГПа.

Покрытия TiSiN вызвали интерес ученых, потому что Si — легирующий элемент нитридов переходных металлов. Он химически родственен азоту и обладает малым атомным радиусом (если говорить о переходных металлах). Именно поэтому покрытия TiSiN обладают высоким значением микротвердости (30...45 ГПа) и низким модулем упругости (200...250 ГПа). При трибологических испытаниях кремний образует соединение SiO₂, и эта твердая смазка снижает коэффициент трения до 0,5 [14].

В рамках исследования [15] вакуумно-дуговым и магнетронным методами получили покрытие (TiAlSiCrNiCuOC)N с решеткой типа B1, как у TiN, со сверхтвердостью 47 ГПа и термической стабильностью 900–1000°C.

В [16] показано получение нитридного покрытия на основе высокоэнтропийного сплава (TiZrHfVNb)N с помощью вакуумно-дугового метода. Опорное напряжение изменилось с –40 до (–200) В. Толщина покрытия составила 4,78 мкм. Результаты наноиндентирования показали, что при росте опорного напряжения увеличиваются: микротвердость (с 19,34 ГПа до 29,94 ГПа), модуль упругости (с 281 ГПа до 384,1 ГПа).

Рассмотрев вакуумно-дуговой метод нанесения покрытий, можно отметить, что данный метод позволяет получать покрытия из широкого спектра материалов с высоким физико-механическими свойствами. Использование азота при нанесении позволяет варьировать физико-механические и трибологические свойства, позволяя использовать данные покрытия в различных трибоузлах.

Магнетронный метод осуществляется за счет распыления мишени высокоэнергетическими ионами рабочего газа (Ar , N_2 , O_2 , CH_4) в тлеющем разряде в вакууме 10^{-3} – 10^{-2} Па при температуре 100–250°C. При распылении атомов мишени происходит излучение вторичных электронов для поддержания процессов существования плазмы. Высокая скорость распыления достигается увеличением плотности ионного тока за счет сильного магнитного поля [17]. Основные преимущества данного метода заключаются в повторении точного состава мишени в покрытии с высокой плотностью структуры, использование любого материала для нанесения на подложку, нанесение покрытий при низких температурах, управление качеством покрытий с помощью изменения параметров процесса нанесения. В числе наиболее заметных недостатков следует назвать: небольшую скорость напыления, низкий коэффициент полезного действия, слабую адгезию покрытия с подложкой, нестабильность фазовых составляющих покрытия, стоимость оборудования. В настоящее время актуально получение покрытий нитридных (TiN , ZrN , CrN , TiAlN , AlCrN) и покрытий на базе ВЭС (CrNbTiMoZr , CrTiNiZrCu , CoCrFeNi , TiZrNbHfTa и др.) с помощью магнетронного распыления, а также: металлокерамические покрытия (TiC , TiCN , TiBN , CrAlTiYN , Al_2O_3 , SiO_2), металлические покрытия (Al , Ag , Au , Cu , Zn , Ti , Zr , Hf , Cr , Ta , Ni , Co , Si), нанокompозиты ($\text{TiAlN/Si}_3\text{N}_4$, ZrN/Cu , TiN/CrN , TiN/AlN , CrN/AlN , TiN/CN).

Наноструктурные многослойные покрытия TiN/AlN , полученные магнетронным методом, показали высокие результаты при микросверлении и точении в сравнении с покрытиями TiN . При сверлении стеклопластика стойкость сверл с покрытием TiN/AlN оказалась на 40 % выше, чем без него, и на 25 % выше, чем с покрытием TiN [18].

В покрытии TiMo(SN) чередуются слои дисульфида молибдена MoS_2 с TiN , поэтому микротвердость увеличивается с 4 ГПа до 15–35 ГПа при коэффициенте трения 0,02...0,1. MoS_2 испаряли магнетроном, а TiN — вакуумно-дуговым осаждением. MoS_2Ti [19].

Магнетронный тип подходит для нанесения покрытия из нитрида титана толщиной от 1 нм до 1 мкм. Для этого задействовали установку с импульсным распылением на кремниевые подложки [20]. Для стабильности процесса варьировали расстояние между мишенью и подложкой в диапазоне 50–100 мм и меняли скорость подачи азота в рабочую камеру. Анализ полученного покрытия нитрида титана (TiN) показал, что при уменьшении расстояния между мишенью и подложкой ухудшаются механические свойства покрытия, снижается его качество. Это объясняется тем, что из-за близкого расстояния усиливается тепловое воздействие, возникает эффект термического отжига.

Авторы [21] при магнетронном напылении получили покрытие CuTiZrCrNi на подложке из стали AISI 201 (12X15Г9НД). Установлено, что после трибологических испытаний износ покрытия — $3 \cdot 10^{-4}$ г/мин. Коэффициент трения покрытия CuTiZrCrNi по меди — 0,041, по алюминию — 0,066.

Авторы [22] задействовали магнетрон для формирования покрытия CrNbTiMoZr с нанотвердостью 9,7 ГПа и высокими трибологическими свойствами.

Магнетронный метод распыления широко применяется для нанесения тонких покрытий на полупроводники, стекло и получения самосмазывающихся покрытий с низким коэффициентом трения и широким диапазоном физико-механических свойств.

Рассмотренные методы нанесения позволяют получать покрытия из различных материалов при различных температурах нанесения, с возможностью варьировать морфологию, физико-механические и трибологические характеристики покрытий. Поэтому цель данного исследования является сравнение покрытий на основе ВЭС, полученных вакуумно-дуговым и магнетронным методом.

Материалы и методы исследования

Нанесение покрытий осуществлялось на установке BRV600, представленная на рис.1., которая была разработана научным коллективом РГУПС и сделана в Беларусь компанией «БелРосВак» г. Минск. Уникальность данной установки заключается в возможности

реализации магнетронного, вакуумно-дугового методов и алмазоподобных покрытий (DLC), с чередованием данных методов без выемки образцов из камеры. Установка оснащена мощным ионным источником, который позволяет производить удаление оксидных пленок, нагрева и активизации поверхности [23].

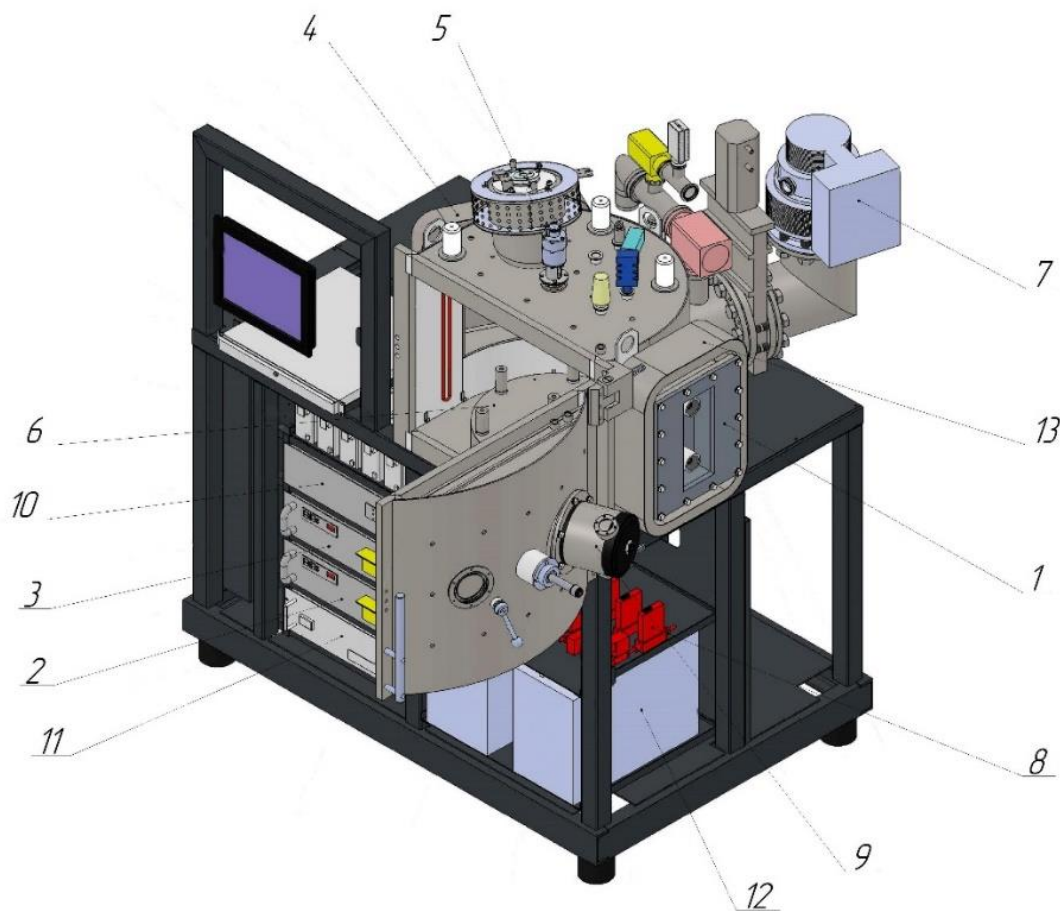


Рис. 1. Вакуумная установка BRV600:

1 – Несбалансированный магнетрон; 2 – Блок питания смещения; 3 – Блок питания магнетрона; 4 – Соленоид сепаратора фокусирующего; 5 – Соленоид дугового испарителя; 6 – Технологическая оснастка; 7 – Турбомолекулярный насос; 8 – Система газонапуска с расходомерами; 9 – Ионный источник; 10 – Источник бесперебойного питания; 11 – Блок питания ионного источника; 12 – Источник питания дугового испарителя; 13 – Соленоид несбалансированного магнетрона

Нанесение покрытий производили на подложку из стали 40ХН2МА. Покрытие CrTiZrNbHf наносилось вакуумно-дуговым методом с 3-х катодов, CuCrMnFeCoNi магнетронным методом распыления с мишени. Перед стадией нанесения покрытия поверхность образцов подвергалась ионному травлению, которое проводилось с помощью встроенного ионного источника ионами Ag^+ при давлении в камере $\sim 0,7$ Па, температуре $\sim 400^\circ\text{C}$ и опорного напряжении 1000 В в течение 10 мин [24].

Для аттестации толщины, микроструктуры и состава нанесенных покрытий был использован электронный микроскоп Zeiss EVA MA 18, оснащенный энергодисперсионным анализатором X-Max 50.

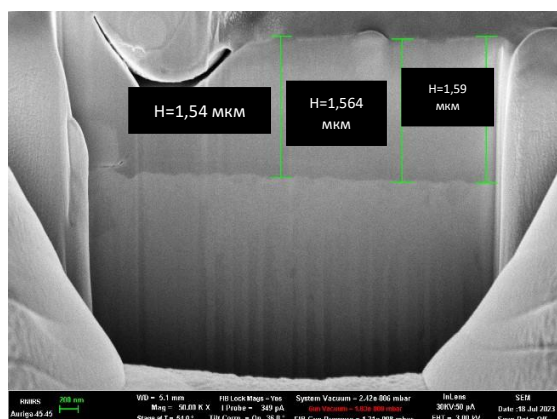
Исследования физико-механических свойств (твердости H , модуля упругости E) определялись с использованием установки Nanotest-600 по методу непрерывного

индентирования. Расчётным методом получены соотношения H/E (сопротивление упругой деформации) и H^3/E^2 (сопротивление пластической деформации).

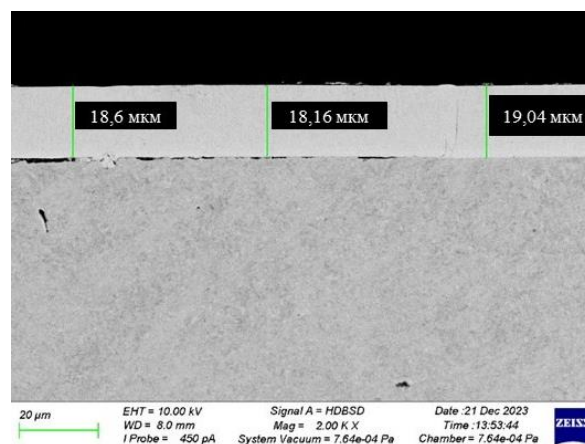
Трибологические испытания покрытий проводились на машине трения TRB (Anton Paar Tritec) по схеме испытаний «шар-диск» при нагрузке $F = 5$ Н. Контроль образца представлял собой шар из оксида алюминия (Al_2O_3) диаметром 6 мм. Приведенное оборудование позволяет определять такие трибологические параметры, как коэффициент трения μ , интенсивность объемного износа образца J , а также длину пути (дорожки трения) L , пройденного образцом до разрушения покрытия и измеряемого в метрах.

Результаты исследования

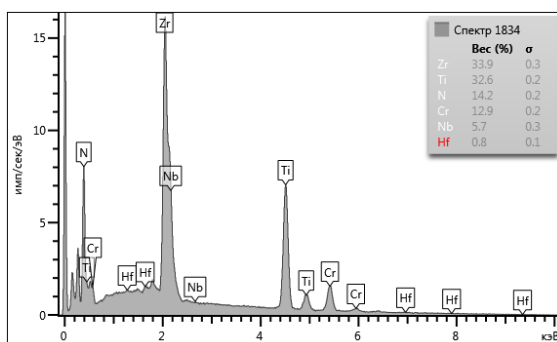
Для определения толщины, элементного состава и качества покрытий CrTiZrNbHf и CuCrMnFeCoNi был использован метод энергодисперсионного анализа (EDAX), результаты исследований представлены на рис. 2.



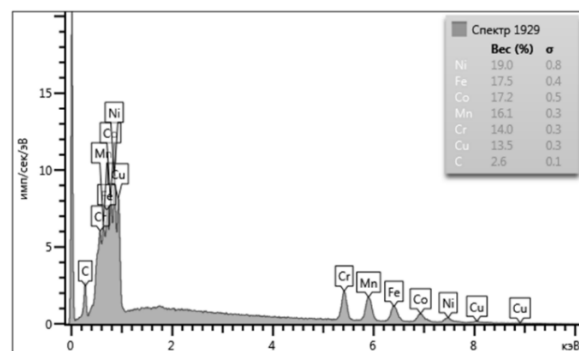
а



б



в



г

Рис. 2. Структура в поперечном сечении и его энергетические спектры элементов по результатам EDAX-анализа покрытий CrTiZrNbHf (а,в) и CuCrMnFeCoNi (б, г)

Как видно из рис. 1 покрытия получились плотными бездефектным, с удовлетворительным прилеганием к поверхности подложки, что косвенно может свидетельствовать о высоком уровне адгезии. Полученные покрытия на основе ВЭС характеризуются однородностью структуры, высоким качеством поверхности, плотным прилеганием к подложке. При вакуумно-дуговом методе толщина покрытия CrTiZrNbHf составила 1,54...1,59 мкм за 8 часов при скорости нанесения $a_D=0,003$ мкм/мин, что значительно меньше толщины покрытия CuCrMnFeCoNi 18,16...19,04 мкм и скорости

нанесения $a_p=0,05...0,52$ мкм/мин за 6 часов. Результаты рентгеновского энергодисперсионного анализа (EDAX) химического состава позволяют установить, что при вакуумно-дуговом методе не удалось получить эквивалентный состав (рис.1в). Магнетронный метод позволил получить покрытие повторяющие химический состав сплава мишени, полученный состав выделяется минимальным расхождением атомной концентрации элементов c_i , который способствует увеличению энтропии смешения S_{mix} , уменьшению разницы атомных размеров δ , что значительно увеличивает вероятность образования твердого раствора.

Полученные результаты физико-механических свойств покрытий CrTiZrNbHf и CuCrMnFeCoNi были сравнены с характеристиками подложки с сорбитной и мартенситной структурой, которые представлены в таблице.

Таблица

Физико-механические и трибологические свойства подложки и покрытий CrTiZrNbHf и CuCrMnFeCoNi

Объект исследования	H , ГПа	E , ГПа	H/E	H^3/E^2	Коэфф. трения μ	Износ J , 10^{-6} мм ³ /Н/м
сорбитная структура	2,5	200	0,0125	0,00039	0,6...0,8	—
мартенситная структура	5,2	200	0,026	0,00352		
CuCrMnFeCoNi	6,01	186,82	0,032	0,0062	0,12	Не обнаружено
CrTiZrNbHf	2,38	209,9	0,011	0,0003	0,6	35,35

Из анализа табл.1 можно сделать вывод, что покрытие CuCrMnFeCoNi значительно повысило физико-механические свойства образца с сорбитной структурой H и H/E в $\sim 2,5$ раза, а H^3/E^2 в $\sim 15,9$ раз. Физико-механические характеристики покрытия CuCrMnFeCoNi на подложке с мартенситной структурой находятся примерно на одном уровне с подложкой, но с незначительным увеличением твердости, что способствовало увеличению H/E (в $\sim 1,2$ раза) и H^3/E^2 (в $\sim 1,8$ раза). Покрытие CrTiZrNbHf не позволило повысить физико-механические характеристики подложки, полученные значения находятся на примерно на одном уровне с образцом с сорбитной структурой.

Трибологические исследования позволили установить, что легирование Cu в состав мишени магнетрона позволило добиться антифрикционных свойств, коэффициент трения покрытия CuCrMnFeCoNi в течении всего эксперимента был стабилен и установился на уровне 0,12, что соответствует классу DLC-покрытий. Покрытие, полученное вакуумно-дуговым методом CrTiZrNbHf обладает коэффициентом трения на уровне подложки.

Заключение

В результате исследования покрытий на основе ВЭС можно сделать вывод, что использование магнетронного метода распыления позволяет решить ряд технологических задач, которые возникли при использовании вакуумно-дугового метода: увеличить скорость нанесения, получить химический состав с высокой точностью повторения состава мишени, значительно увеличить толщину покрытий. Исследование физико-механических свойств продемонстрировало повышение характеристик подложки за счет нанесения покрытия CuCrMnFeCoNi магнетроном, чего не было получено вакуумно-дуговым методом у покрытия CrTiZrNbHf. Трибологические исследования позволил установить, что у покрытия

CuCrMnFeCoNi коэффициент трения находится на уровне DLC-покрытий, значительно снижая износ. Данное покрытие является перспективным для использования в узлах трения, но для этого требуется проведение дополнительных трибологических исследований в широком диапазоне температур.

Благодарности

Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда (проект № 21-79-30007) в Ростовском государственном университете путей сообщения.

Библиографический список

1. **Колесников, И. В.** Повышение износостойкости металлических и металлополимерных трибосистем путём формирования структуры и свойств их поверхностного слоя / И. В. Колесников, П. Д. Мотренко, В. И. Колесников, Д. С. Мантуров // М.: ВИНТИ РАН, 2021. 168 с.
2. **Boxman, R. L.** Early History of Vacuum-Arc Deposition / R. L. Boxman // IEEE Transactions on Plasma Science. – 2001. – Vol. 29. – P. 759–761.
3. **Mattox, Donald M.** The History of Vacuum Coating Technology. / Donald M. Mattox // Albuquerque, NM, USA, – 2002. – 48 p.
4. **Кудряков, О. В.** Морфология и генеалогия структурных дефектов в вакуумных ионно-плазменных покрытиях / О. В. Кудряков, В. Н. Варавка, И. Ю. Забияка // Advanced Engineering Research. – 2020. – № 20(3). – С. 269–279.
5. **Зимин, А. М.** Динамика катодных пятен на поверхности бериллия в дуговом вакуумном разряде / А. М. Зимин, В. А. Иванов, Б. Ютнер // Вопросы атомной науки и техники. Серия «Термоядерный синтез». – 2001. – В. 2. – С.44–50.
6. **Месяц, Г. А.** Эктоны в вакуумном разряде: пробой, искра, дуга / Г. А. Месяц // Москва: Наука – 2000. – 424 с.
7. **Кобайн, Дж.** Вакуумные дуги / Дж. Кобайн, Г. Эккер, Дж. Фаррелл, А. Гринвуд, Л. Харрис. // Москва: Мир; – 1982. – 432 с.
8. **Лунев, В. М.** Исследование некоторых характеристик плазмы вакуумной металлической дуги / В. М. Лунев, В. Д. Овчаренко, В. М. Хороших // Журнал технической физики. – 1977. – №47(7). – С. 1486–1490.
9. **Фортов, В. Е.** Энциклопедия низкотемпературной плазмы / В. Е. Фортов, А. Ф. Александров, Э. И. Асиновский, В. А. Грибков, А. Н. Диденко, А. М. Дыхне и др. // Вводный том 1. Москва: Наука. – 2000. – 634 с.
10. **Juttner, V.** Cathode Spots. Handbook of Vacuum Arc Science and Technology / V. Juttner, V.F. Puchkarev, E. Hantzsche, I. Beilis // Park Ridge: Noyes Publications. – 1995. – P. 73–281.
11. **Андреев, А. А.** Вакуумно-дуговые покрытия / А. А. Андреев // Харьков: ННЦ ХФТИ. – 2010. – 318 с.
12. **Кунченко, В. В.** Карбонитриды титана, полученные вакуумно-дуговым осаждением / В. В. Кунченко, А. А. Андреев // Вопросы атомной науки и техники. Серия «Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение». – 2001. – №2. – С. 116–120.
13. **Wang, Da-Yung.** Deposition of high (Ti,Al)N hard coatings by vacuum arc evaporation process / Da-Yung Wang, Yen-WayLi, Chi-Long Chang, Wei-Yu Ho.// Surface and Coatings Technology. – 1999. –Vol.114(2–3). – P.109–113. [https://doi.org/10.1016/S0257-8972\(99\)00020-1](https://doi.org/10.1016/S0257-8972(99)00020-1).
14. **Кирюханцев-Корнеев, Ф. В.** Структура и свойства Ti-Si-N покрытий, полученных магнетронным распылением СВС-мишеней / Ф. В. Кирюханцев-Корнеев, Д. В. Штанский, А. Н. Шевейко, Е. А. Левашов, И. В. Лясоцкий, Н. Б. Дьяконова // Физика металлов и материаловедение. – 2004. – №97(3). – P.96–103.

15. **Коротаев, А. Д.** Особенности структурно-фазового и упругонапряженного состояния нанокompозитных сверхтвердых покрытий на основе TiN / А. Д. Коротаев, Д. П. Борисов, В. Ю. Мошков, С. В. Овчинников, А. Н. Тюменцев, Г. А. Прибытков // Физическая мезомеханика. – 2011. – №14(5). – С. 87–97.
16. **Погребняк, А. Д.** Влияние параметров осаждения нитридов высокоэнтропийных сплавов (Ti-Zr-Hf-V-Nb)N на их структуру, состав, механические и трибологические свойства. / А. Д. Погребняк, И. В. Якушенко, О. В. Бондар, В. М. Береснев, О. В. Соболев, А. А. Андреев и др. // Сверхтвердые материалы. – 2013. – №6. – С.4–19.
17. **Brauer, G.** Magnetron sputtering – Milestones of 30 years. / G. Brauer, B. Szyszka, M. Vergohl, et. al. // Vacuum. – 2010. – № 84(12). – P. 1354–1359.
18. **Polcar, T.** Comparison of tribological behaviour of TiN, TiCN and CrN at elevated temperatures. / T. Polcar, T. Kubart, R. Novak, L. Kopecky, P. Siroky // Surface and Coatings Technology. – 2005. – Vol.193(1). – P.192–199. <http://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2004.07.098>.
19. **Carrera, S.** Performance of CrN/MoS₂(Ti) coatings for high wear low friction applications / S. Carrera, O. Salas, J.J. Moore, A. Woolverton, E. Sutter // Surface and Coatings Technology. 2003;167(1):25–32. [http://dx.doi.org/10.1016/S0257-8972\(02\)00885-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0257-8972(02)00885-X).
20. **Yurjev, Y. N.** Technological Peculiarities of Deposition Anti-Reflective Layers in Low-E Coatings / Y. N. Yurjev, D. V. Sidelev // Journal of Physics: Conference Series. – 2013. – №479(1). – C.1–4. <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/479/1/012018>
21. **Yurov, V. M.** High entropy coatings CuTiZrCrNi / V. M. Yurov, E. S. Platonova, A. Baltabekov // Norwegian Journal of development of the International Science. – 2019. – №36. – C.25–29.
22. **Wang, Y.** Tribo-machanical properties CrNbTiMoZv high-entropy alloy filins synthesized by direct magnetron sputtening / Y. Wang, S. Kuang, X. Yu, L. Wang, W. Huang // Surface and Coating Technology. 2020;403:126374. <http://dx.doi.org/10.1016/j.surfcoat.2020.126374>.
23. **Колесников, В. И.** Модернизация фрикционного низкоамплитудного демпфера с вакуумным ионно-плазменным покрытием рабочих поверхностей трения / В. И. Колесников, С. Л. Чернышев, И. В. Колесников, П. А. Коропец, В. Д. Вермель, А. Н. Корякин, К. Н. Политыко // Авиационные материалы и технологии. – 2024. – № 3(76). – С. 106–118. DOI: 10.18577/2713-0193-2024-0-3-106-118.
24. **Воропаев, А. И.** Покрытия DLC, стабилизированные азотом: оптимизация свойств и режимов нанесения с использованием алгоритмов рандомизированных деревьев и нейронных сетей / А. И. Воропаев, В. И. Колесников, О. В. Кудряков, В. Н. Варавка, И. В. Колесников, М. С. Лифарь, С. А. Гуда, А. А. Гуда, А. В. Сидашов // Физическая мезомеханика. – 2024. – Т. 27. – №2. – С. 16–32. – DOI: 10.55652/1683-805X_2024_27_2_16-32.

I. V. Kolesnikov, K. N. Polityko

INVESTIGATION OF ION-PLASMA COATINGS

Abstract. The article analyzes the physical method of coating. Vacuum arc evaporation and magnetron sputtering, coatings based on high-entropy alloys (HEA) are considered. Ion plasma coatings based on CrTiZrNbHf wind turbines were obtained by vacuum arc method, CuCrMnFeCoNi by magnetron method. Comparative studies of these coatings of morphology, physico-mechanical and tribological properties have been carried out.

Keywords: physical coating method, ion plasma coatings, tribology, physical and mechanical properties, indentation, wear resistance.

For citation: Kolesnikov I. V. Investigation of ion-plasma coatings / I. V. Kolesnikov, K. N. Polityko // Trudy Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobseniya. – 2024. – № 4. – P. 76 – 84.

Сведения об авторах**Колесников Игорь Владимирович**

Ростовский государственный университет
путей сообщения,
кафедра «Теоретическая механика»,
доктор технических наук, член-
корреспондент РАН, профессор,
e-mail: ivkolesnikov@bk.ru

Политыко Кирилл Николаевич

Ростовский государственный университет
путей сообщения,
кафедра «Теоретическая механика»,
аспирант, младший научный сотрудник,
e-mail: politykokirill@yandex.ru

Information about the authors**Kolesnikov Igor Vladimirovich**

Rostov State Transport University (RSTU),
Chair «Theoretical Mechanics»,
Doctor of Technical Sciences, Corresponding
Member of RAS, Professor,
e-mail: ivkolesnikov@bk.ru

Polityko Kitill Nikolayevich

Rostov State Transport University (RSTU),
Chair «Theoretical Mechanics»,
Graduate student, junior researcher,
e-mail: politykokirill@yandex.ru

УДК 629.45

*С. Д. Коршунов, Д. А. Ромашов, А. А. Смирнов, Д. И. Гончаров***КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ НЕСУЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ
ДВУХЭТАЖНОГО ПАССАЖИРСКОГО ВАГОНА ПОЕЗДА «АВРОРА»**

Аннотация. В статье приводятся основные положения методики испытаний на прочность двухэтажного пассажирского вагона модели 61-4492 поезда «Аврора». Проведение статических и динамических испытаний, оценка прочности.

Ключевые слова: вагоны пассажирские двухэтажные, прочность, тензометрия, испытания, несущая способность.

Для цитирования: Коршунов, С. Д. Комплексная оценка прочности несущей конструкции двухэтажного пассажирского вагона поезда «Аврора»/ С. Д. Коршунов, Д. А. Ромашов, А. А. Смирнов, Д. И. Гончаров// Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2024. – № 4. – С. 85 – 81.

Для легендарного поезда «Аврора» ОАО «Тверской вагоностроительный завод» построены новые пассажирские двухэтажные вагоны с местами для сидения модели 61-4492, оборудованные тележками модели 68-4120, предназначенные для эксплуатации в составе пассажирских поездов со скоростями движения до 160 км/ч на железных дорогах колеи 1520 мм. В состав поезда входят вагоны первого класса с числом посадочных мест 60, и вагоны второго класса с пассажироместимостью 104 человека. Вагоны оборудуются современными системами обеспечения климата (отопления, вентиляции и кондиционирования), системой водоснабжения, экологически чистыми туалетными комплексами. Первые впечатления будущих пассажиров положительные, новые вагоны отличаются оригинальными интерьерными решениями, удобством и функциональностью внутреннего оборудования, при этом на вагонах применяются отечественные системы жизнеобеспечения, кресла, светильники, отделка, и другое оборудование. Новый двухэтажный вагон модели 61-4492 поезда «Аврора» — это инновационный продукт, сочетающий в себе комфорт, современные технологии и стильный дизайн. Благодаря улучшенной конструкции и использованию современных материалов, этот вагон обеспечивает пассажирам повышенный уровень комфорта и безопасности во время поездки. Вагон оборудован удобными креслами с регулируемой спинкой и подлокотниками, а также индивидуальными светильниками и розетками для зарядки мобильных устройств. Для обеспечения безопасности пассажиров вагон оснащён современными системами контроля и управления, а также противопожарными устройствами и средствами экстренной связи. Вагон соответствует всем требованиям и стандартам качества, предъявляемыми к пассажирскому транспорту. Новая тележка модели 68-4120 с конструкционной скоростью 160 км/ч разработана с учетом увеличения нагрузки на ось: 20 т против прежних 18,5 т. Применение торсионного стабилизатора нового типа и новых гасителей колебаний способствует снижению боковой качки, повышению устойчивости от опрокидывания, плавному прохождению радиусных участков пути, отличному показателю плавности хода вагона.

Основой несущей металлоконструкции вагона является кузов, который представляет собой цельнометаллическую несущую конструкцию типа замкнутой оболочки с вырезами в боковых стенах для окон и дверей, плоской наружной обшивкой боковых, торцевых стен и скатов крыши, гофрированных листов обшивки средней части крыши и настила пола, а также перекрытиями между первым и вторым этажами. В крыше предусмотрены люки для установки оборудования (кондиционера, баков для воды и т.д.). Рама кузова вагона

преимущественно изготовлена из стали 09Г2С ГОСТ 19281, каркас кузова из коррозионно-инертной стали EN 10088-2-X6CrNiTi18-10+2В. Применение таких сталей в металлоконструкции кузова позволяет установить срок службы вагона в 40 лет.

Таблица 1

Основные технические данные вагона (размеры для справок)

Наименование параметра	Значение
- габарит по ГОСТ 9238-2013	Тпр
- конструкционная скорость, км/ч	160
- длина вагона по осям сцепления автосцепок, мм	26510
- длина кузова по раме, мм	25152
- длина кузова по обшивке торцевых стен, мм	25656
- высота кузова от уровня головки рельса, мм	5250
- ширина кузова по наружной обшивке, мм	3185
- база кузова, мм	19000
- база тележки, мм	2500
- расстояние между осями домкратов, мм	17000
- климатическое исполнение вагона по ГОСТ 15150	У
- тара вагона, т (не более)	66,7
- нагрузка на рельс, т (не более)	20
- количество мест для пассажиров, чел	от 60 до 104
- сцепные устройства вагона	БСУ
- срок службы вагона, лет	40



Рис. 1. Вагон пассажирский двухэтажный с местами для сидения модели 61-4492

Кроме систем жизнеобеспечения вагона, установке унифицированного межвагонного перехода, нового внутреннего оборудования и интерьера существуют принципиальные отличия несущей конструкции кузова вагона 61-4492 производства 2016 года от нового кузова вагона модели 61-4492 2024 года постройки. Прежде всего, изменены несколько несущих элементов рамы и каркаса металлоконструкции кузова, и проведена расчетная оценка прочности новых элементов.

Постановка продукции на производство требует проведения целого комплекса испытаний для подтверждения соответствия нового вагона требованиям безопасности. Важнейшими из них, несомненно, являются прочностные испытания несущей металлоконструкции кузова на статическую прочность продольными, вертикальными и ремонтными нагрузками, соударения нормативными ударными нагрузками до 2,5 МН (250 тс), ходовые прочностные испытания. Методы проведения испытаний с учетом особенностей конструкции вагона регламентировались специально разработанной методикой, согласованной в установленном порядке ОАО «ТВЗ», ООО «ТМХ-Инжиниринг» г. Тверь, Департаментом технической политики ОАО «Российские железные дороги» (ЦТех) и АО «ФПК» [1].

Целью проведения прочностных статических испытаний являлось определение напряжений в несущих элементах кузова вагона при действии максимальных нормативных нагрузок, предусмотренных ГОСТ 34681 п. 4.1.2 в части напряжений в несущих элементах кузова при квазистатических продольных нагрузках растяжения 1,5 МН и сжатия 2,5 МН; п. 4.2.2.1 прочность кузова вагона должна быть обеспечена при поднятии экипированного вагона на двух домкратах по диагонали и при поднятии вагона за концевую балку; вертикальным нагрузкам тара и брутто. Напряженно-деформированное состояние (микродеформации) несущих элементов кузова вагона определялось методом тензометрии с использованием микропроцессорной многоканальной тензометрической системы ММТС-64.01 и тензорезисторов базой 10 мм [2, 3]. Схема установки тензорезисторов на кузове вагона была разработана на основании расчета на прочность, выполненного по методу конечных элементов с детализацией новых несущих элементов металлоконструкции кузова вагона. При этом учитывались результаты оценки напряженно-деформированного состояния от отдельных нагрузок, а также их сочетания по расчетным режимам [2]. По итогам испытаний проведена верификация экспериментальных и расчетных значений напряжений по основным несущим элементам кузова. Пример схемы расположения сечений и установки тензорезисторов на несущих элементах рамы кузова пассажирского вагона показан на рисунке 2. Далее проводились испытания кузова вагона воздействием нормативных испытательных нагрузок [4]:

- продольной нагрузке сжатия 2,5 МН, приложенной к задним упорам хребтовой балки;
- продольной нагрузке сжатия 1,0 МН, приложенной к задним упорам хребтовой балки;
- продольной нагрузке растяжения 1,5 МН, приложенной к передним упорам хребтовой балки;
- продольной нагрузке растяжения 1,0 МН, приложенной к передним упорам хребтовой балки;
- вертикальным нагрузкам тара и брутто вагона;
- подъемкам домкратами порожнего вагона под концы шкворневых балок по диагоналям;
- подъемкам домкратами порожнего вагона за концевую балку.

Каждая испытательная нагрузка прикладывалась к кузову не менее трех раз [3]. Оценка прочности проводилась сравнением полученных экспериментальных напряжений по отдельным нагрузкам и их сочетаниям по расчетным режимам с допускаемыми значениями и показала достаточную статическую прочность новых несущих элементов и металлоконструкции кузова в целом. При проведении нагружений потеря устойчивости и остаточные деформации основных несущих элементов вагона отсутствовали [5].

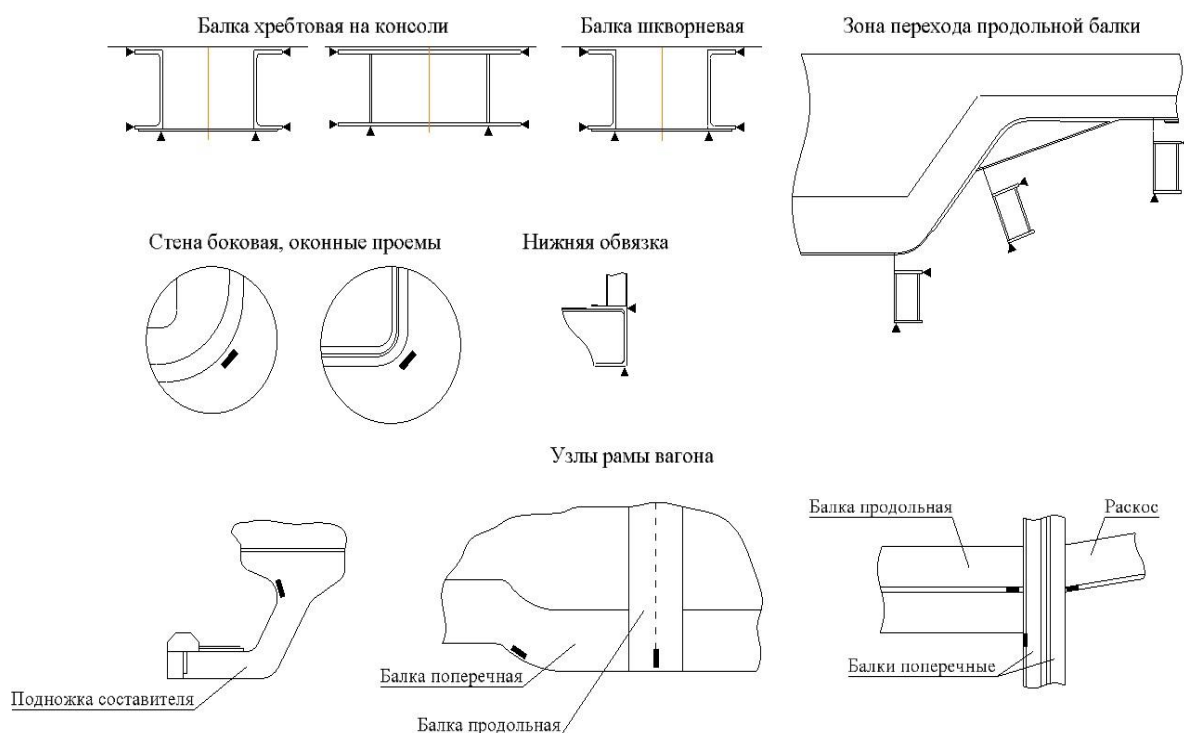


Рис. 2. Пример схемы установки тензорезисторов на кузове пассажирского вагона

Целью проведения испытаний на соударения являлось определение напряжений в несущих элементах металлоконструкции кузова вагона и элементах крепления внутреннего и подвагонного оборудования при соударениях продольной нормативной силой 2,5 МН, предусмотренных п. 4.1.2 и п. 4.1.10 ГОСТ 34681-2020 и сравнение полученных напряжений с допускаемыми нормативными значениями.

Напряженно-деформированное состояние несущих элементов металлоконструкции кузова вагона при действии испытательных нагрузок определялось методом тензометрии с использованием измерительных усилителей Spider [3, 6]. Испытаниям на соударения подвергался полностью экипированный вагон. Соударения осуществлялись вагоном-бойком, который накатывался маневровым локомотивом на испытуемый вагон, стоящий на прямом участке пути в сцепе с вагонами подпора массой более 300 т.

В процессе соударений регистрировались следующие параметры:

- напряжения в несущих элементах вагона;
- напряжения в элементах закрепления оборудования вагона;
- сила удара в автосцепку;
- скорость накатывания вагона-бойка;
- продольное, поперечное и вертикальное ускорения на полу вагона [6].

Испытания вагона начинались с соударений на малых скоростях силой 0,1–0,3 МН, которая постепенно увеличивалась до достижения нормативной силы соударения 2,5 МН [3]. С нормативной ударной нагрузкой было проведено три удара. Всего при испытаниях было произведено нормативное число ударов, согласно данным таблицы 2. В процессе проведения испытаний, периодически проводился контрольный осмотр состояния внутреннего и подвагонного оборудования вагона с целью выявления каких-либо повреждений, препятствующих дальнейшему продолжению испытаний. В результате обработки полученных результатов установлено, что экспериментальные напряжения, зарегистрированные на вагоне при нормативной силе соударения 2,5 МН не превысили допускаемых значений в наиболее напряжённых зонах. Значения максимальных ускорений

при нормативной силе удара 2,5 МН, зарегистрированные на полу в шкворневой зоне вагона со стороны удара, составили: продольные – 50 м/с²; поперечные – 9 м/с²; вертикальные – 14 м/с².

Таблица 2

Число соударений вагона в каждом интервале сил

Диапазон силы в автосцепке, МН	Количество соударений
От 0,25 до 1,10 вкл.	10
Св. 1,10 до 2,00 вкл.	10
Св. 2,00 до 2,50 вкл.	3

После окончания испытаний инструментальным и визуальным контролем установлено отсутствие потери устойчивости, повреждений и остаточных деформаций несущих элементов кузова, элементов креплений внутреннего и подвагонного оборудования вагона [3].

Вагон модели 61-4492 успешно прошёл комплекс прочностных испытаний, включая всестороннюю проверку на прочность по разработанной методике испытаний, результаты которых показали удовлетворительную сходимость расчетных и экспериментальных показателей прочности при воздействии как статических, так и динамических испытательных нагрузок, а также устойчивость к внешним воздействиям систем жизнеобеспечения вагона. Результаты этих испытаний позволили определить и оценить показатели безопасности и надёжности вагона перед его вводом в эксплуатацию. Установлено, что вагон модели 61-4492 соответствует требованиям прочности, установленными российскими стандартами для пассажирских вагонов локомотивной тяги.

Библиографический список

1. Методика испытаний на прочность М-171/10-24 Вагоны пассажирские постройки ОАО «ТВЗ». АО НО «ТИВ», Тверь, 2024. – 35 с.
2. Нормы для расчета и проектирования новых и модернизированных вагонов железных дорог колеи 1520 мм (несамоходных). – М.: ВНИИВ – ВНИИЖТ, 1983 – 260 с.
3. **Коршунов, С. Д.** Особенности испытаний и оценки прочности багажно-почтовых вагонов. // С. Д. Коршунов, А. Г. Удельнов, Д. А. Ромашов // Труды РГУПС, 2018, № 4, с. 68-71.
4. **Коршунов, С. Д.** Расчетно-экспериментальная оценка прочности пассажирского экскурсионного обзорного вагона модели 61-941. // С. Д. Коршунов, А. А. Смирнов, Н. П. Бардов, Д. В. Семенов, А. П. Болдырев // Транспортное машиностроение, 2023, № 8 (20), с. 49-59.
5. **Коршунов, С. Д.** Отработка несущих элементов кузова двухэтажного вагона новой модификации при предварительных испытаниях на прочность // С.Д. Коршунов, А.А. Смирнов, Д.И. Гончаров, Д.А. Ромашов // Материалы международной научно-практической конференции посвященной 70-летию БелИИЖТа - БелГУТа. Гомель. 2023, с. 54-55.
6. **Коршунов, С. Д.** Комплексные динамико - прочностные испытания модернизированного вагона-ресторана модели СК/К // С. Д. Коршунов, А. Г. Удельнов, А. А. Смирнов // Сборник научных трудов Международной научно-практической конференции Транспорт-2017. РГУПС. Том 1, 2017, с. 163-167.

S. D. Korshunov, D. A. Romashov, A. A. Smirnov, D. I. Goncharov

COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF THE STRENGTH OF THE LOAD-BEARING STRUCTURE OF THE DOUBLE-DECKER PASSENGER CAR OF THE AURORA TRAIN

Abstract. The article presents the main provisions of the strength testing methodology for a double-decker passenger car model 61-4492 of the Aurora train. Conducting static and dynamic tests, strength assessment.

Keywords: double-deck passenger wagons, strength, strain gauge, tests, load-bearing capacity.

For citation: Korshunov, S. D. Comprehensive Assessment of the Strength of the Load-Bearing Structure of the Double-Decker Passenger Car of the Aurora Train/ S. D. Korshunov, D. A. Romashov, A. A. Smirnov, D. I. Goncharov // Trudy Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobseniya. – 2024. – № 4. – P. 85 – 90.

Сведения об авторах

Коршунов Сергей Дмитриевич

АО НО «Тверской институт вагоностроения»,
кандидат технических наук, главный специалист отдела № 10,
e-mail: korshunov.s@tiv.ru

Ромашов Дмитрий Александрович

АО НО «Тверской институт вагоностроения»,
инженер первой категории отдела № 10,
e-mail: romashov.d@tiv.ru

Смирнов Александр Андреевич

АО НО «Тверской институт вагоностроения»,
ведущий инженер отдела № 10,
e-mail: smirnov.a@tiv.ru

Гончаров Дмитрий Игоревич

АО НО «Тверской институт вагоностроения»,
кандидат технических наук, начальник отдела № 10,
e-mail: goncharov.d@tiv.ru

Information about the authors

Korshunov Sergey Dmitrievich

JSC SO «Tver Institute of Carriage Building»,
Candidate of Technical Sciences, Chief Specialist of Department №10,
e-mail: korshunov.s@tiv.ru

Romashov Dmitry Alexandrovich

JSC SO «Tver Institute of Carriage Building»,
Engineer of the First Category of Department №10,
e-mail: romashov.d@tiv.ru

Smirnov Alexander Andreevich

JSC SO «Tver Institute of Carriage Building»,
Lead Engineer of Department №10,
e-mail: smirnov.a@tiv.ru

Goncharov Dmitry Igorevich

JSC SO «Tver Institute of Carriage Building»,
Candidate of Technical Sciences, Head of Department №10,
e-mail: korshunov.s@tiv.ru

УДК 629.4.027:539.37

С.В. Кротов

МОДЕЛИРОВАНИЕ СМЕЩЕНИЯ ГРУЗА В STARK_ES

Аннотация. Приводится методика моделирования и результаты расчета смещения груза в программе STARK_ES. Предполагается смещение центра тяжести груза вдоль продольной оси его расположения. Установлены наиболее неблагоприятные силовые факторы. Проблема решается в статической постановке для твердотельной модели.

Ключевые слова: смещение груза, конечные элементы, пластина, изгибающие моменты, поперечные силы, деформации.

Для цитирования: Кротов, С. В. Моделирование смещения груза в STARK_ES/ С. В. Кротов // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2024. – № 4. – С. 91 – 96.

Смещения груза на железнодорожном транспорте имеют место и им уделяется серьезное внимание.

В современных условиях транспортировки сыпучих грузов допускаемое продольное смещение общего центра тяжести груза в 4-осном вагоне относительно его поперечной оси симметрии установлено в зависимости от массы груза. Так, для груза массой 60 т допускается при погрузке продольное смещение центра тяжести до 72 см, а при массе 70 т при погрузке смещение не допускается вовсе до 60 см. При транспортировке сыпучих и гранулированных грузов, при значительных усилиях вдоль состава, ударов в автосцепки, при резком торможении или при трогании с места, очевидно, может иметь место продольное смещение груза. Это приведет к изменениям осевых нагрузок, что влечет увеличение динамических показателей вагона. В нашей стране проводились эксперименты, посвященные этой проблеме. Ранее изучалось движение полувагона с грузом 60 т и при смещении центра тяжести груза в продольном направлении всего на 0,5 м. Было заключено, что максимальные показатели рамных сил в интервале скоростей от 60 до 120 км/ч при смещении центра масс груза соизмеримы загрузке в динамике, но с завышением на 10 – 15 % вертикальных динамических показателей[1,2].

Выполним моделирование груза со смещенным центром тяжести, расчетная схема представлена на рис. 1.

Груз размером $a=6$ м и $b=8$ м находится под действием гидростатической нагрузки максимальной интенсивностью $q=15\text{Н/м}^2$ (рис.1). Торцевой конец плиты защемлен жестко, продольные стороны шарнирно и один конец модели - пластины свободен от опор. Толщина пластины $h = 0,2$ м; модуль упругости материала $E = 3 \cdot 10^7$ КПа; коэффициент поперечной деформации $\nu = 0,2$.

При пользовании программой STARK_ES [3], применяемой каф. «Строительная механика», вначале следует создать проект, обязательно присвоив ему имя, и организовать директорию, где будут располагаться необходимые файлы с расчетными и графическими данными.

После этого следует сохранить проект, выбрав команду **Проекты–Сохранить...** STARK_ES предложит папку с названием FEM (FiniteElementMethod – Метод конечных элементов) в каталоге, который организован изначально. В этой папке необходимо расположить файл. Следует сохранять выполняемый файл периодически, с целью недопущения потери данных и выполненных расчетов [4].

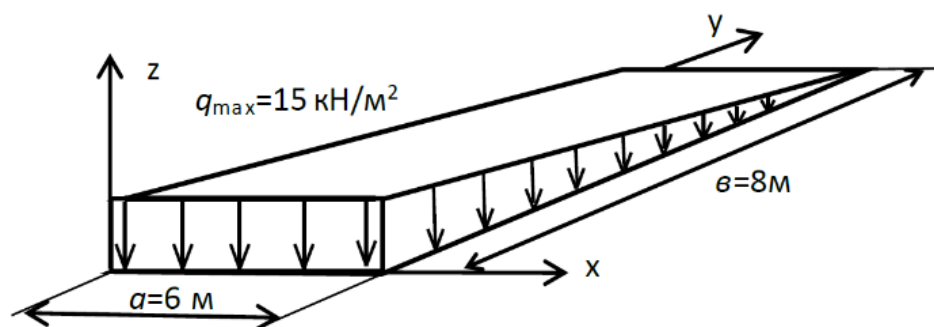


Рис. 1. Расчетная схема груза со смещением

На начальном этапе представляем геометрическую модель в виде одного конечного элемента (КЭ). На вкладке **КЭ-модель** выделяем **Стержни и пластины: -установить**. На панели свойств включаем переключатель **Плиты**. После этого в разделе **Координаты** панели свойств указываем координаты узлов против часовой стрелки (рис. 2а): 1 (0, 0, 0), (6, 0, 0), (6, 8, 0) и 4 (0, 8, 0).

Появится исходная геометрическая модель, состоящая из одного конечного элемента (рисунок 5а), который необходимо разделить. При создании сетки 2×2 м заданную плиту размером 6×8 м делим на равные части. Для этого на вкладке **КЭ-модель** выделяем **Пластины – Делить 4 – узловые произвольно**. На панели свойств ставим флажок **n1 x n2**. В окне ввода указываем количество делений: $n1=3, n2=3$. Кликнем по имеющемуся КЭ.

Первая грань элемента КЭ будет отмечена пунктиром. Подтверждаем выбор элемента нажатием на правую кнопку мыши. Исходный элемент будет поделен на 9 равных конечных элементов (рис. 2б).

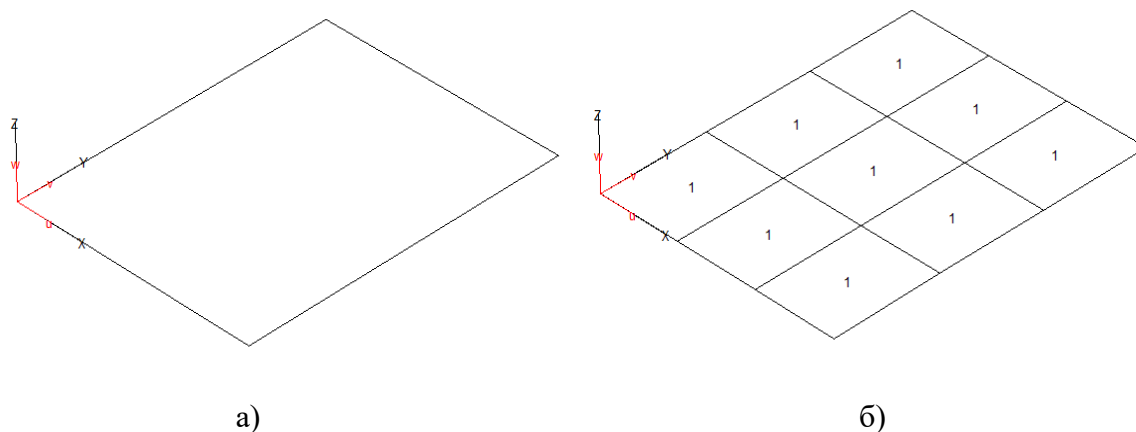


Рис. 2. а) Модель и исходный конечный элемент; б) Деление модели на КЭ и установленные характеристики материала

Для назначения характеристик материала в разделе **КЭ-модель** выделяем **Материалы – Назначить**. На панели свойств отмечаем **Изотропный**. В разделе **Координаты** панели свойств нажимаем **Новый материал**. После чего в окне **Новый материал** указываем заданные характеристики, для упрощения задачи плотность материала не учитываем $Rh_0=0$. **ОК**. На панели свойств выделяем способ ввода/выбора **Рамкой** и охватываем все элементы. После выбора элементы будут отмечены числом 1.

Для постановки опор в разделе **КЭ-модель** выделяем **Узловые опоры – Установить**. На панели свойств оставляем заданный по умолчанию тип работы связи – **Двусторонняя** и устанавливаем систему координат (глобальная система координат – **ГСК**).

Предполагаем жесткое закрепление с одной стороны, вдоль расположения груза –

шарнирное и один конец пластины свободен от закрепления.

В заделке укажем линейное (**Z**) и угловые (**R_x** и **R_y**) закрепления. В шарнирах оставлено линейное (**Z**) закрепление, а угловые (**R_x** и **R_y**) – отключены (рис.3а).

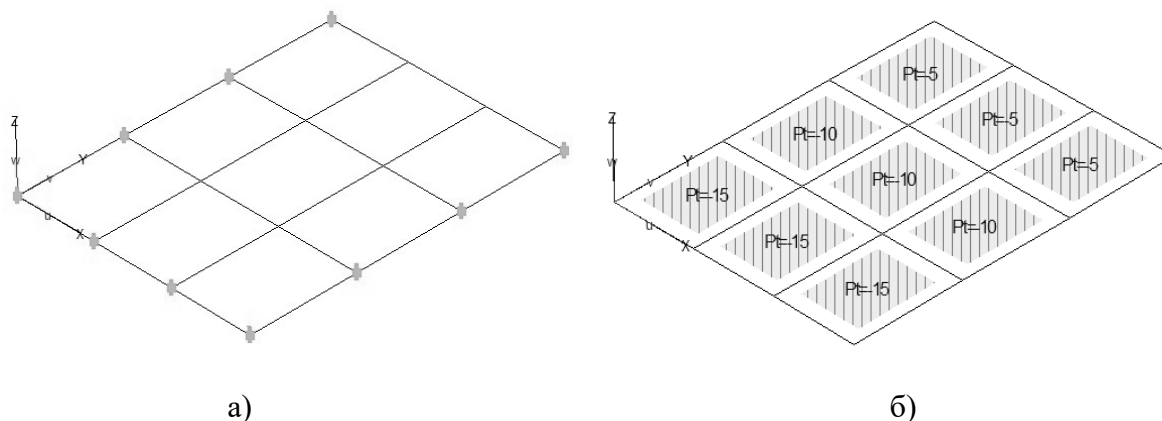


Рис. 3. а) Граничные условия закрепления; б) Моделирование нагружения

Моделирование смещенного груза осуществляется в виде гидростатической нагрузки (рис. 3б), как независимую плоскостную, представленной в виде прямоугольного очертания. Для предельно точного решения в каждом узле можно задать точечное значение[5].

В разделе **Нагрузки** выделяем **Плоскостные–Установить**. В меню свойств устанавливаем номер нагружения – **1**, в глобальной системе координат (**ГСК**), направление давления вдоль оси **Z–P_z** и указываем значение с максимальной интенсивностью $q_0 = -15$ (кН/м²). Указываем по участкам требуемые значения нагрузки (рис.3б). Значение **P_z** изменяем в соответствии с заданием на 5 (кН/м²) на каждом последующем слое по методу конечных элементов (МКЭ).

Для выполнения расчета в разделе **Расчет и результаты** вызываем команду – **Расчет МКЭ**. В меню выделяем **Статический расчет. ОК**. После выполнения расчета открываем текущий проект.

В данном расчете получим внутренние силовые факторы, реактивные усилия и деформации (перемещения).

В разделе **Расчет и результаты** выделяем **Перемещение узлов**. Для отображения деформированной схемы выделяем **Масштаб перемещений** на панели свойств, в данном случае коэффициент увеличения составил 60.

В нижней части интерфейса всегда отображены численные значения получаемого параметра. Для получения информации о перемещении конкретного узла необходимо кликнуть по соответствующему узлу.

Для отображения реакций опор в разделе **Расчет и результаты** выделяем **Реакции в линейных опорах**. Для получения картины в виде стрелок с численными значениями реакций **R_z** (рис. 8), в разделе **Расчет и результаты** нужно указать **Усилия в пластинах**.

В этом же разделе кликнем по значку **Графический вывод**. В появившемся меню выбираем требуемый силовой фактор.

Просматривать результаты будем в виде 3D-изоповерхностей, чисел, эпюр по сечениям (рис. 4-8).

В результате решения получаем внутренние силовые факторы:

Q_x, Q_y – поперечные силы на площадках, перпендикулярных соответственно оси **x** и оси **y** (рис. 4а и 4б; рис. 5а и 5б);

M_x, M_y – изгибающие моменты в **x**- и **y**-направлении соответственно (рис. 6а и 6б; рис. 7а и 7б).

Усилия показываем в глобальной системе координат **XYZ**.

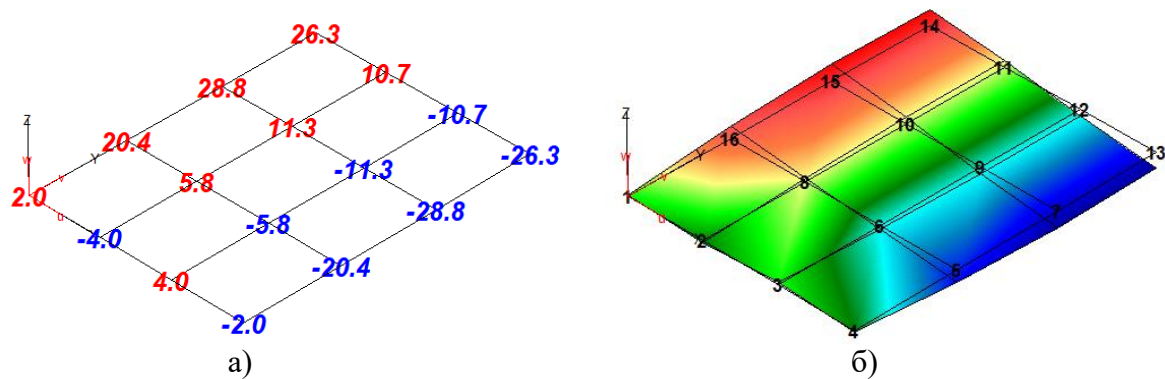


Рис. 4. Распределение поперечных сил Q_x
а) Численные значения кН; б) 3D-изоповерхность распределения

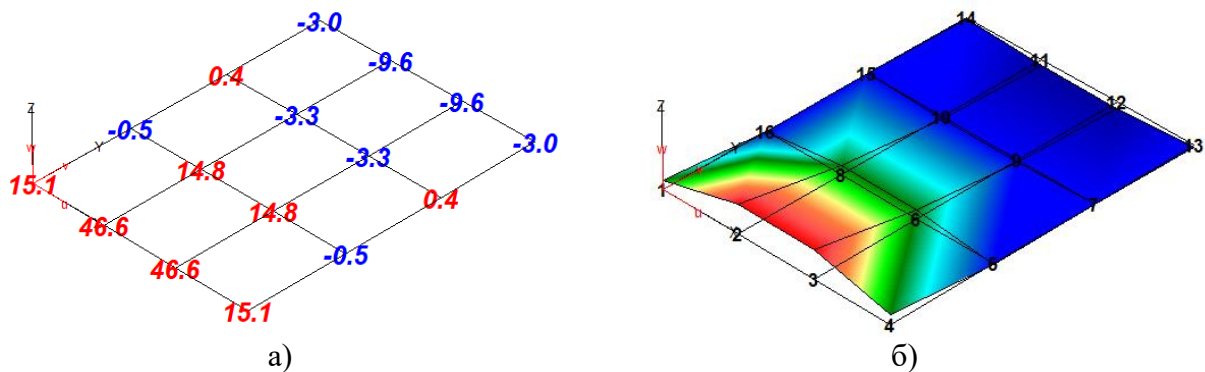


Рис. 5. Распределение поперечных сил Q_y
а) Численные значения кН; б) 3D-изоповерхность распределения

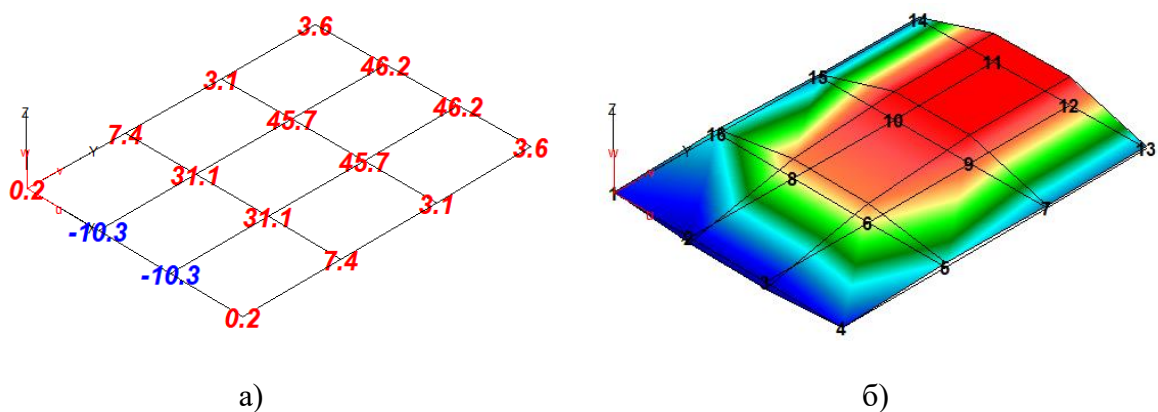


Рис. 6. Распределение изгибающих моментов M_x
а) Численные значения кНм; б) 3D-изоповерхность распределения

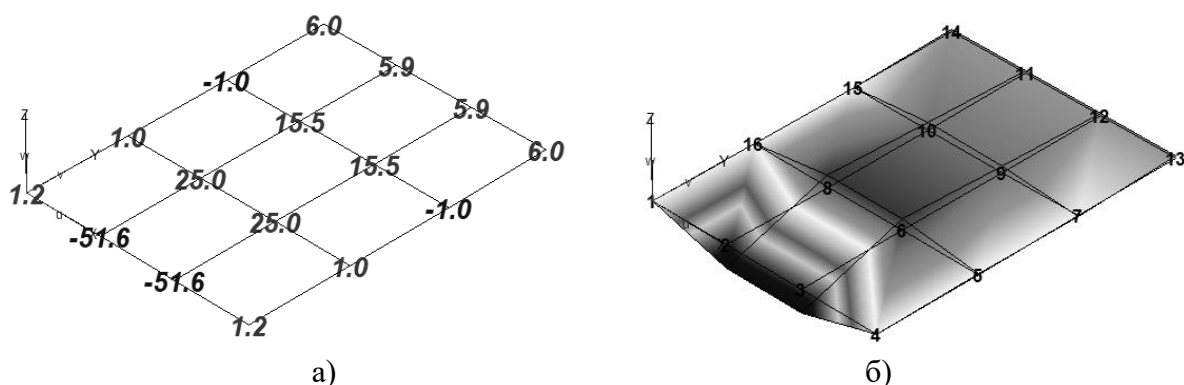


Рис. 7. Распределение изгибающих моментов M_y
 а) Численные значения кНм; б) 3D-изоповерхность распределения

Вертикальные реактивные усилия в заданных узлах

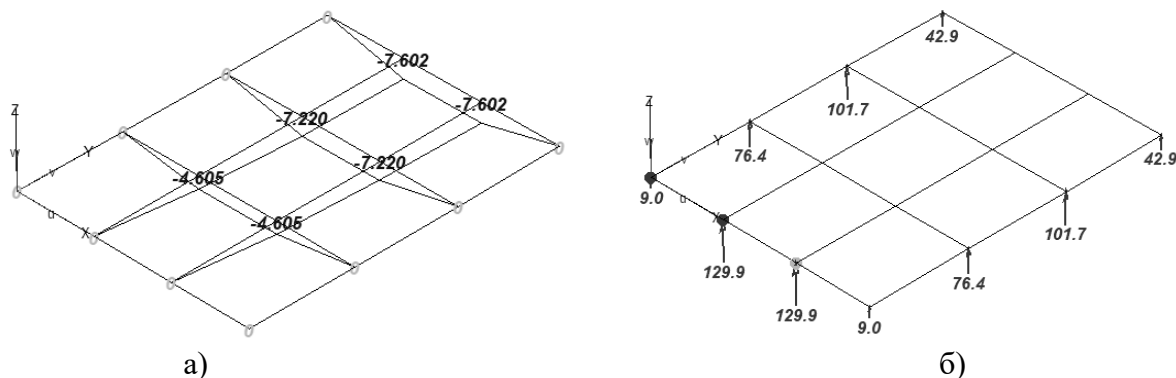


Рис. 8. а) Перемещения незакрепленных узлов (мм); б) Реактивные усилия в закреплениях (кН)

Очевидны наибольшие значения реакций в жестком закреплении. Однако неожиданным представляется результат на границе зоны приложения распределенных нагрузок $P=5$ кН/м и $P=10$ кН/м. Знак минус указывает на то, что груз опускается вдоль оси Z.

Библиографический список

1. Набоков, А. Е. Расчет скоростей колебаний узла резания шлицефрезерных станков / А. Е. Набоков, И. А. Яицков, Б. А. Шемшур // Noise Theory and Practice. – 2022. – №8. – №3(30). – С. 45–51.
2. Лагунова, Е.О. Нелинейные эффекты воздействия электроприводящей смазки на шип подшипника, обладающего демпфирующими свойствами / Е. О. Лагунова, А. Н. Гармонина, Е. А. Копотун // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2016. – №3. – С. 40–45.
3. STARK_ES2020.Руководство пользователя.– Москва: Еврософт, 2012.– 373 с.
4. Маклаков, С. Ф. Прочностной анализ подкрепленной оболочки с использованием ANSYS / Маклаков С. Ф., Мишин В. А. // Сборник научных трудов «Транспорт: наука, образование, производство» («Транспорт – 2019») Т.4: Технические и естественные науки. РГУПС. Ростов н/Д, 2019 с. 223-227.

5. **Кротов, С. В.** Факторный анализ расчета несущей способности колесной пары вагона / С. В. Кротов, А. Сладковски // Транспорт Урала. – 2012. – № 2(33). – С. 36–40. – EDN OXWYVF.

S. V. Krotov

LOAD SHIFTING MODELING IN STARK_ES

Abstract. The article presents the modeling methodology and calculation results for load displacement in the STARK_ES program. It is assumed that the load center of gravity is displaced along the longitudinal axis of its location. The most unfavorable force factors are determined. The problem is solved in a static formulation for a solid model.

Keywords: load displacement, finite elements, plate, bending moments, shear forces, deformations.

For citation: Krotov, S. V. Load Shifting Modeling in STARK_ES / S. V. Krotov // Trudy Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobseniya. – 2024. – № 4. – P. 91 – 96.

Сведения об авторах

Кротов Сергей Викторович
Ростовский государственный
университет путей сообщения (РГУПС),
кафедра «Строительная механика»,
кандидат технических наук, доцент,
e-mail: svk-19587@ya.ru

Information about the authors

Krotov Sergey Victorovich
Rostov State Transport University (RSTU)
Chair «Structural Mechanics»,
Candidate of Technical Sciences, Associate
Professor,
e-mail:svk-19587@ya.ru

УДК 621.8 : 004.4 + 06

*С. Ф. Маклаков, В. А. Мишин***ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ КОНСТРУКТИВНО-СИЛОВОЙ СХЕМЫ ШАТУНА С ПОМОЩЬЮ ANSYS**

Аннотация. В статье показана возможность оптимизации параметров конструкции шатуна с помощью программы ANSYS. В качестве оптимизируемых параметров использовано восемь геометрических характеристик его конструктивно - силовой схемы. В качестве минимизируемой объектной переменной принимался объем (масса) шатуна. Переменная состоящая представляла собой эквивалентное напряжение, определяемое в соответствии с третьей теорией прочности (критерий Мизеса) и ограниченная величиной 280 МПа. Определены рациональные геометрические характеристики элементов конструктивно-силовой схемы.

Ключевые слова: конструктивно-силовая схема, шатун, эквивалентные напряжения, третья теория прочности, оптимизация параметров, критерии оптимизации.

Для цитирования: Маклаков, С. Ф. Выбор рациональных параметров конструктивно-силовой схемы шатуна с помощью ANSYS/ С. Ф. Маклаков, В. А. Мишин// Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2024. – № 4.– С. 97 – 102.

Шатун представляет собой конструктивный элемент, реализующий силовую связь поршня и коленчатого вала. По существу, это имеющий возможность поступательного перемещения стержень, обеспечивающий взаимную передачу механических нагрузок между поршнем и валом.

В составе конструктивно-силовой схемы [1] шатуна (рис 1) удобно выделить три элемента: стержень 1, верхняя (поршневая) головка 2 и нижняя (кривошипная) головка 3.

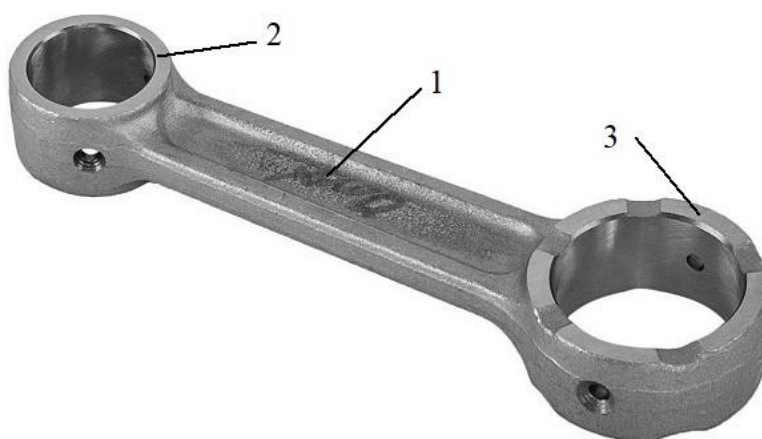


Рис. 1. Основные элементы конструктивно-силовой схемы шатуна

Задачей проведенного анализа являлось определение рациональных соотношений размеров модели шатуна, обеспечивающих минимальный суммарный объём (следовательно, и массу) элементов его конструктивно-силовой схемы при ограничении величины эквивалентных напряжений [2, 3]. Эквивалентные напряжения определялись в соответствии с третьей теорией прочности (теорией наибольших касательных напряжений), их максимально допустимая величина принималась равной 280 МПа. Кроме этого, полученные результаты демонстрируют возможности конечноэлементного комплекса ANSYS при решении оптимизационных задач определения параметров силовых элементов конструкции при заданных ограничениях на величины характеристик их напряженно-деформированного состояния.

Расчетная схема шатуна показана на рис.2 (размеры указаны в миллиметрах). При построении расчетной схемы учитывалось, что конструкция шатуна симметрична относительно плоскости, проходящей через продольную ось стержня перпендикулярно его стенке (плоскости поступательного движения шатуна). Проведение анализа только половины конструкции шатуна позволяет использовать более тонкое конечно-элементное разбиение модели без увеличения объема вычислительных операций.

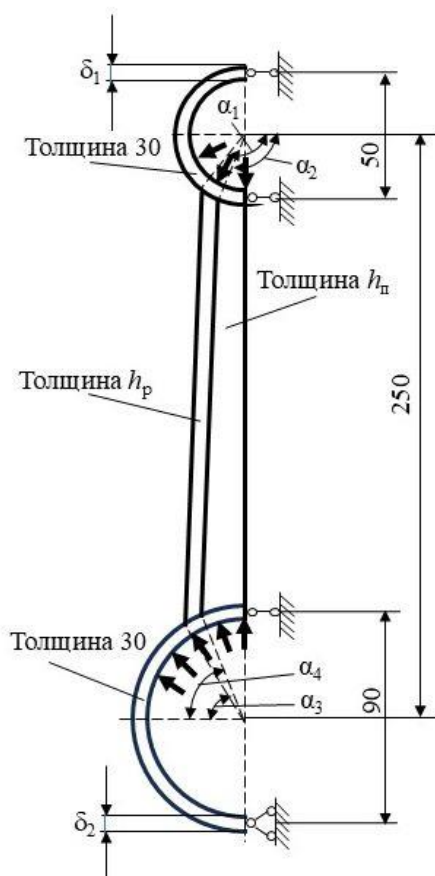


Рис. 2. Расчетная схема шатуна

Геометрическая компонента расчетной схемы состоит из двух полуцилиндров, закрепленных на прямолинейном брус переменного поперечного сечения. Толщины стенок полуцилиндров равны соответственно δ_1 (верхнего) и δ_2 (нижнего). Силовыми элементами бруса являются продольное ребро жесткости толщиной h_p и пластина толщиной $h_{\text{п}}$. Ширина ребра и ширина пластины в области поршневой головки задаются углами α_1 и α_2 , а в области кривошипной головки - углами α_3 и α_4 . Все перечисленные параметры конструктивно-силовой схемы шатуна в процессе оптимизации изменялись в диапазоне установленного интервала.

Основными вопросами оптимизации были положение ребра стержня (углы α_2 и α_4) и толщина стенки стержня $h_{\text{ш}}$. В качестве метода оптимизации был выбран метод первого порядка *FIRST*.

В исходном варианте геометрической модели (до оптимизации) принимались следующие размеры элементов конструктивно-силовой схемы: $\delta_1 = 10$ мм; $\delta_2 = 10$ мм; $h_p = 30$ мм; $h_p = 7$ мм; $\alpha_1 = 45^\circ$; $\alpha_2 = 35^\circ$; $\alpha_3 = 65^\circ$; $\alpha_4 = 75^\circ$.

Расчетным случаем нагружения выбран рабочий ход поршня. В качестве внешней нагрузки, соответствующей расчетному случаю, использовалась равномерно распределенная по части внутренней поверхности полуцилиндров (головок) поверхностная нормальная нагрузка, область действия которой находилась в пределах дуги 60° . Интенсивность нагрузки, приложенной к полуцилиндрам (головкам), принималась такой, чтобы действующие на них силы были одинаковыми, т. е. результирующая сила была равна нулю (в пределах погрешности) [4, 5]. В данной задаче величина давления, приложенного к поршневой головке, составляло 89 МПа, а давления, приложенного к кривошипной головке – 49,5 МПа.

Граничные условия по оси абсцисс прилагались из условий симметрии [6]. Один из узлов модели фиксировался в направлении оси ординат. Это обеспечивало неподвижность модели за счет компенсации погрешности величин приложенных внешних нагрузок к поршневой и кривошипной головкам.

Материал модели имел модуль продольной упругости 200 ГПа и коэффициент поперечной деформации 0,3.

Решение задачи содержит несколько этапов.

1 Выбор типа и параметров конечного элемента

2 Назначение механических характеристик материала

3 Построение геометрической модели шатуна

4 Формирование конечно-элементной сетки

5 Приложение внешних нагрузок и ограничений на перемещения узлов

6 Вывод полученных результатов

7 Определение рациональных параметров конструктивно -силовой схемы (оптимизация)

Поскольку выполнение первых пяти этапов не содержит принципиальных отличий от других задач, ограничимся рассмотрением процедуры выполнения только двух последних этапов.

Просмотр результатов расчета.

Эквивалентные напряжения до оптимизации (рис. 3).

Величина эквивалентных напряжений равна 470 МПа, что значительно превышает допустимые значения.

Определение суммарного объема элементов конструктивно-силовой схемы

General Postproc $\Rightarrow$ Element Table $\Rightarrow$ Define Table $\Rightarrow$ Add. В появившемся окне запишите название таблицы *VOLU*, в левом столбце нажать **Geometry**, в правом – **Elemvolume VOLU $\Rightarrow$ OK**. Закройте предыдущее окно нажатием на **Close**.

Получение объема модели суммированием. **General Postproc $\Rightarrow$ Element Table $\Rightarrow$ Sum of Each Item**. Нажмите **OK**.

Присвоение переменной объема модели. **Utility Menu: Parameters $\Rightarrow$ Get Scalar Data**. В левом столбце нажать **Results data**, в правом – **Elemtablesums $\Rightarrow$ OK**. Далее записать название переменной **TVOL $\Rightarrow$ OK**.

Просмотр величины наибольшего напряжения по третьей теории прочности

General Postproc ⇒ **Element Table** ⇒ **Define Table** ⇒ **Add**. Запишите название таблицы S_EQV , в левой колонке нажать **Stress**, в правой – **vonMises SEQV** ⇒ **OK, Close**.

Ранжировка эквивалентных напряжений **GeneralPostproc** ⇒ **ListResults** ⇒ **SortElems** ⇒ Запишите название S_EQV ⇒ **OK**.

Выбор значения наибольшего эквивалентного напряжения и назначение ему имени S_EQVMAX . **U_M:Parameters** ⇒ **Get Scalar Data**. В левом столбце нажать **Results data**, в правом – **Other operations** ⇒ **OK**. Далее записать название переменной S_EQVMAX , в левой колонке нажать **From sortoper**, в правой – **Maximum value** и **OK**.

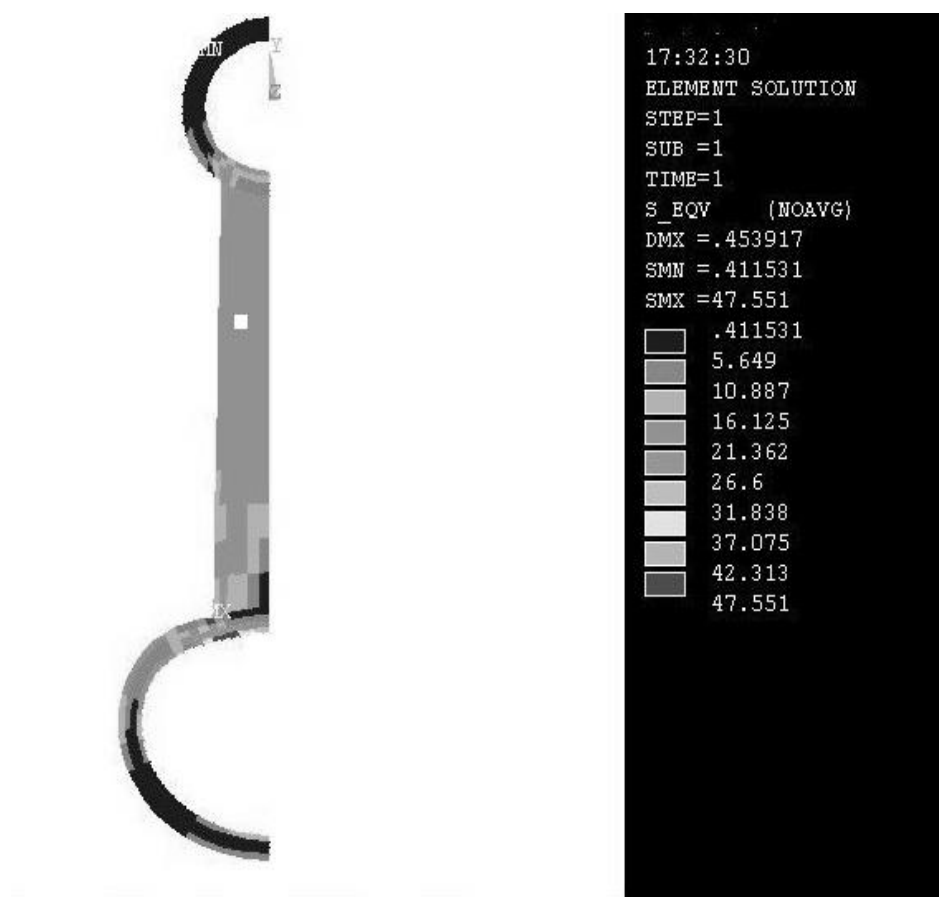


Рис.3. Распределение эквивалентных напряжений для исходных параметров

Определение рациональных параметров конструктивно -силовой схемы (оптимизация).

Назначение диапазонов варьирования параметров силовых элементов. **DesignOpt** ⇒ **DesignVariables**. ⇒ **Add**. Активировать в каталоге **Name** варьируемые параметры, в ячейках **MIN** и **MAX** указать диапазоны ⇒ **Apply**. Для варьируемых линейных геометрических размеров приняты следующие границы диапазонов: $\delta_1 = 8 - 20$ мм; $\delta_2 = 8 - 20$ мм; $h_p = 15 - 30$ мм; $h_p = 5 - 30$ мм.

Назначение верхней границы напряжения по третьей теории прочности. **DesignOpt** ⇒ **StateVariables** ⇒ **Add**. ⇒ S_EQVMAX и наберите в окне **MAX280 МПа**, нажмите **OK**. ⇒ **Close**.

Назначение оптимизируемого параметра **DesignOpt** ⇒ **Objective** ⇒ **TVOL** ⇒ **OK**.

Назначения метода выбора рациональных параметров. **DesignOpt** ⇒ **Method/Tool** ⇒ **First -Order** ⇒ **OK**. Ячейку **NITR** заполните числом итераций 10, остальные параметры по умолчанию, **OK**.

Назначение рабочего файла. **DesignOpt** $\Rightarrow$ **Assign**. Выберите из списка файл с расширением .log и нажмите **ОК**.

Запуск процесса оптимизации. **М_М:DesignOpt** $\Rightarrow$ **Run**.

Просмотр полученных результатов.

Эквивалентные напряжения после оптимизации (рис. 4).

Величина эквивалентных напряжений примерно равна 280 МПа, что не превышает допустимого значения.



Рис.4. Эквивалентные напряжения после оптимизации

Parameters $\Rightarrow$ **ScalarParameters**. На информационное окно выводится рациональный набор параметров.

После оптимизации варианте геометрической модели получены следующие размеры элементов конструктивно-силовой схемы: $\delta_1 = 9,4$ мм; $\delta_2 = 11,9$ мм; $h_p = 29,6$ мм; $h_p = 5$ мм.

Библиографический список

1. **Маклаков, С. Ф.** К разработке устройств для защиты оборудования от динамических нагрузок на основе упругопластических амортизаторов. Маклаков С. Ф., Мишин В. А., Яицков И. А. // Известия Тульского государственного университета. Технические науки, 2021. Вып. 8. С. 167–174. EDN: YSPCYV
2. **Кротов, С. В.** Транзиентный анализ в ANSYS // Сборник научных трудов «Транспорт: наука, образование, производство: тр. Международной научно-практической конференции «Транспорт: наука, образование, производство» (Транспорт-2017) / ФГБОУ ВО РГУПС. – Ростов н/Д, 2017. – Том 3: Естественные и технические науки. – С. 247 – 250.
3. **Личковаха, А. С.** К определению энергетического баланса нелинейной упругой системы / А. С. Личковаха, Б. А. Шемшура, С. А. Кузнецов // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения – 2018. – №2. – С.137–143.

4. **Набоков, А. Е.** Расчет скоростей колебаний узла резания шлице фрезерных станков / Набоков А. Е., Яицков И. А., Шамшура С. А. // Noise Theory and Practice. 2022 Т. 8. № 3 (30). С. 43-51.
5. **Лагунова, Е. О.** Нелинейные эффекты воздействия электропроводящей смазки на шип подшипника, обладающего демпфирующими свойствами / Е. О. Лагунова, А. Н. Гармоница, Е. А. Копотун // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2016. – № 3. – С. 40–45.
6. **Lagunova, E. O.** Calculated Model of Wedge-Shaped Sliding Supports Taking into Account Rheological Properties of Viscoelastic Lubricant / K. S. Akhverdiev, E. O. Lagunova, M. A. Mukutadze // Proceedings of the International Conference "Aviamechanical engineering and transport" (AVENT 2018). – 2018. – pp. 246-253.

S. F. Maklakov, V. A. Mishin

SELECTING RATIONAL PARAMETERS OF THE CONNECTING ROD STRUCTURAL-FOCUSED DESIGN USING ANSYS

Abstract. The article demonstrates the possibility of optimizing the parameters of the connecting rod design using the ANSYS program. Eight geometric characteristics of its structural and force scheme were used as the optimized parameters. The volume (mass) of the connecting rod was taken as the minimized object variable. The state variable was the equivalent stress determined in accordance with the third strength theory (Mises criterion) and limited by the value of 280 MPa. Rational geometric characteristics of the elements of the structural and force scheme were determined.

Keywords: structural-force scheme, connecting rod, equivalent stresses, third theory of strength, optimization of parameters, optimization criteria.

For citation: Maklakov, S. F. Selection of Rational Parameters of the Structural-Power Scheme of the Connecting Rod Using Ansys / S. F. Maklakov, V. A. Mishin // Trudy Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobseniya. – 2024. – № 4. – P. 97 – 102.

Сведения об авторах

Маклаков Сергей Федорович

Ростовский государственный
университет путей сообщения (РГУПС),
кафедра «Строительная механика»,
кандидат технических наук, доцент,
e-mail: maklakovsf@mail.ru

Мишин Валентин Алексеевич

Ростовский государственный
университет путей сообщения (РГУПС),
кафедра «Строительная механика»,
кандидат технических наук, доцент,
e-mail: mishin-1949@mail.ru

Information about the authors

Maklakov Sergei Fedorovich

Rostov State Transport University (RSTU)
Chair «Structural Mechanics»,
Candidate of Technical Sciences, Associate
Professor,
e-mail: maklakovsf@mail.ru

Mishin Valentin Alekseevich

Rostov State Transport University (RSTU)
Chair «Structural Mechanics»,
Candidate of Technical Sciences, Associate
Professor,
e-mail: mishin-1949@mail.ru

УДК 629.45

*В. А. Оленцевич, А. В. Старожилова***МОДЕРНИЗАЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ВАГОННОГО ПАРКА, КАК ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ ПассажиРОВ**

Аннотация. Повышение уровня сервиса обслуживания, комфортности поездки и безопасности пассажиров является неотъемлемой составляющей политики по эффективному развитию ОАО «Российские железные дороги». На основе проведенных маркетинговых исследований выявлены проблемы кондиционирования в пассажирском вагоне, что вызывает дискомфорт в процесс поездки пассажира и негативно влияет на работу проводников, приводя к ухудшению физического здоровья. Как фактор повышения качества обслуживания пассажиров предложен вариант модернизации оборудования вагонного парка. С целью повышения уровня эффективности функционирования системы кондиционирования воздуха в пассажирских вагонах предлагается установка дополнительной автономной системы охлаждения воздуха, что позволит осуществлять охлаждение воздуха при отключенной штатной холодильной установки или в период ее пиковых нагрузок.

Ключевые слова: пассажирские железнодорожные перевозки, комфортность поездки, вагонный парк, качество обслуживания, кондиционирование воздуха, процесс хладокомпенсации, температурный режим, климатические и метеорологические условия.

Для цитирования: Оленцевич, В. А. Модернизация оборудования вагонного парка, как фактор повышения качества обслуживания пассажиров / В. А. Оленцевич, А. В. Старожилова // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2024. – № 4. – С. 103 – 108.

Введение.

На протяжении двухвековой истории функционирования железнодорожного транспортного комплекса в зоне его работы всегда и повсеместно востребованы пассажирские перевозки. Повышение уровня сервиса, комфортности поездки и безопасности пассажиров является неотъемлемой составляющей эффективного развития отрасли [1, 2].

Особую роль в обеспечении комфортности поездки пассажира, особенно при перемещении на большие расстояния, играет факт наличия следующих ключевых элементов перевозки: систем водо- и электроснабжения, удобства места размещения пассажира и его вещей, бытовых принадлежностей, соблюдение необходимого температурного режима в вагоне. Наличие вышеперечисленных элементов продиктовано не только маркетинговой политикой ОАО «Российские железные дороги» (ОАО «РЖД»), но и необходимостью придерживаться установленных санитарных правил и норм (СанПиН), где регламентированы ключевые параметры, а также требования к поддержанию высокого уровня безопасности подвижного состава и оборудования вагонного парка. В частности, разработаны и действуют Санитарные правила по организации пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте [3], Санитарно-эпидемиологические требования к отдельным видам транспорта и объектам транспортной инфраструктуры [4], где, в числе прочего, указаны требования к вентиляции, отоплению пассажирских вагонов и кондиционированию воздуха [2].

Данные факторы позволили сформулировать цель научного исследования – рассмотреть возможность модернизации оборудования вагонного парка пассажирского комплекса ОАО «РЖД», с целью повышения качества обслуживания пассажиров.

Проблема соблюдения температурного режима. Нормами СанПиН регламентированы общие температурные параметры, а также разность температур в верхней и нижних частях пассажирского вагона. Поскольку температура воздуха имеет важную роль для пассажиров, проводников и обслуживающего перевозочный процесс персонала, так как длительное нахождение в условиях повышенного или пониженного температурного режима может отрицательно сказаться на состоянии здоровья людей, спровоцировать сердечно-сосудистые заболевания, обезвоживание, потерю работоспособности [5]. Условия СанПиН устанавливают, что температура воздуха в пассажирских вагонах должна находиться в пределах $22(\pm 2)^{\circ}\text{C}$ [4]. Однако, исходя из собственного опыта авторов научного исследования, а также на основе результатов проведённого маркетингового исследования в летний период, проблемы кондиционирования в пассажирском вагоне встречается чуть ли не в каждом рейсе и приносят ощутимый дискомфорт в процесс поездки пассажира и в работу проводников, а порой приводит к ухудшению физического здоровья человека в целом [6 – 9].

Большинство курсирующих в рамках Восточного полигона железных дорог пассажирских вагонов оснащаются системой отопления в расчете на зимний период, а в целях поддержания требуемого температурного режима в летний период – системой кондиционирования воздуха (СКВ), предназначенной для подачи и обработки свежего воздуха, его обеззараживания с целью предотвращения распространения инфекций и болезнетворных бактерий и обеспечения комфортных условий для пассажиров и работников поездных бригад [10]. Используемая система кондиционирования должна отвечать основному требованию: постоянное сохранение заданного температурного режима и прочих параметров микроклимата вне зависимости от климатических и метеорологических условий.

В настоящее время вагоны в пассажирских поездах дальнего следования оборудованы преимущественно системами (установками) кондиционирования воздуха моделей УКВ-31 и УКВ-ПВ, успешно справляющиеся с поставленной задачей в условиях длительного движения вагонов с магистральной скоростью, однако испытывающие проблемы в ряде иных ситуаций: при низкой скорости движения поездов в пригородных зонах, при вынужденных простоях поездов в зонах досмотра на государственных границах, при движении поездов по территориям, где температура окружающего воздуха достигает значений выше $+40^{\circ}\text{C}$, еще и со множеством остановок в пути следования продолжительностью более полутора часов каждая. В таких условиях тепловой поток, который оказывает воздействие на кузов пассажирского вагона, может увеличиваться более чем в 1,5 раза, а при открытых дверях на стоянках в вагон постоянно поступает горячий воздух. В данных условиях существующая система кондиционирования не справляется с поддержанием необходимого температурного режима, даже работая на пределе своих технических возможностей [11 – 13], в результате чего сокращается ресурс СКВ, и не в полной мере обеспечивается комфортное пребывание пассажиров в поезде.

Модернизация системы кондиционирования воздуха. Специалистами ООО «НПП «Циркон Сервис» было предложено следующее решение означенной проблемы: снабдить внутреннюю СКВ вагона дополнительным вентиляционным устройством [14, 15], способным функционировать от автономного источника питания на солнечных батареях, смонтированных на крыше вагона. Вентиляционное устройство (приточный вентилятор) снабжается фотоэлектрическим генератором, который служит источником питания, а поток наружного воздуха подается вентилятором через крышу в вагон.

Очевиден явный недостаток данного технического решения: наружный воздух подается теплым, его необходимо охлаждать с помощью штатной УКВ, однако, на стоянках УКВ выключены, и не могут снизить температуру подаваемого воздуха.

Альтернативным решением предлагается использование совместно со штатной СКВ теплокомпенсирующего устройства (ТКУ), построенного по принципу аккумуляторов холода, именуемых также хладоэлементами, теплоаккумуляторами, теплонакопителями, которое способно сохранять свой тепловой потенциал (повышенный или пониженный относительно температуры окружающей среды) пропорционально объему и теплоемкости помещенного в нем вещества – хладагента.

Цель использования ТКУ – сглаживание суточной неравномерности теплового воздействия на пассажирский вагон от внешней среды: поглощение избыточной теплоты в дневное время, когда штатная УКВ вагона выключена или работает в условиях запредельных для нее тепловых нагрузок, с последующим охлаждением до минимального предела температуры хладагента ТКУ в прохладный ночной период посредством той же УКВ, производительность которой при понижении температуры «за бортом» значительно возрастает, но не требуется в тот момент помещению вагона.

Корпус ТКУ представляется в виде емкости (бака) из нержавеющей стали (рис. 1), заполненной хладонакопительным веществом (наполнитель) и пронизанной воздухопроводными каналами. Первичный теплообмен (между ТКУ и УКВ) предлагается организовать по принципу «труба в трубе»: внутри бака с наполнителем размещается испаритель УКВ, где ее хладагент (фреон 134а) циркулирует под действием компрессора установки, в результате чего фреон своим кипением поглощает от наполнителя ТКУ теплоту, передаваемую в последствии во внешнюю среду дальнейшей реализацией штатного холодильного цикла УКВ. В свою очередь, наполнитель ТКУ отепляется от охлаждаемого им воздуха, циркулирующего во внутреннем пространстве вагона и пропускаемого через воздухопроводные каналы бака.

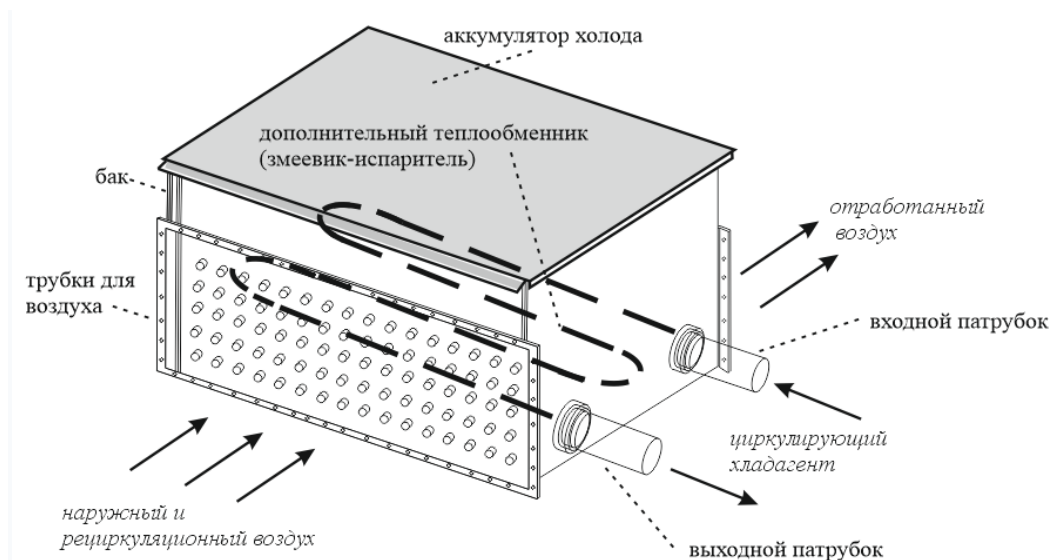


Рис. 1. Корпус теплокомпенсирующего устройства

В результате бак должен представлять собой комбинированный, «сдвоенный» теплообменник, конструкцию типа «радиатор в радиаторе», рис. 2 [9].

В качестве наполнителя ТКУ предполагается использовать вещество, жидкость или гель, удовлетворяющее следующим требованиям: низкая температура замерзания, высокая теплопроводность и теплоемкость, небольшая вязкость и плотность, химическая нейтральность к материалам корпуса бака и испарителя УКВ, безопасность для человека, невысокая стоимость и доступность. Весьма доступным наполнителем могут выступать

водные растворы солей NaCl или CaCl₂, в достаточной мере отвечающие перечисленным требованиям. Однако, низкая температура замерзания раствора достигается высокой концентрацией соли, которая со временем приводит к образованию отложений на внутренней поверхности бака и на трубках фреонового испарителя, чем будет создаваться необходимость регулярной промывки ТКУ. Подбор вещества, наиболее подходящего к использованию в качестве наполнителя, является предметом дальнейших исследований. На текущий момент предполагается следующая схема компоновки и порядка функционирования в пассажирском вагоне штатной УКВ, дополненной теплокомпенсатором (УКВ-ТК, рис. 2) [8, 9].

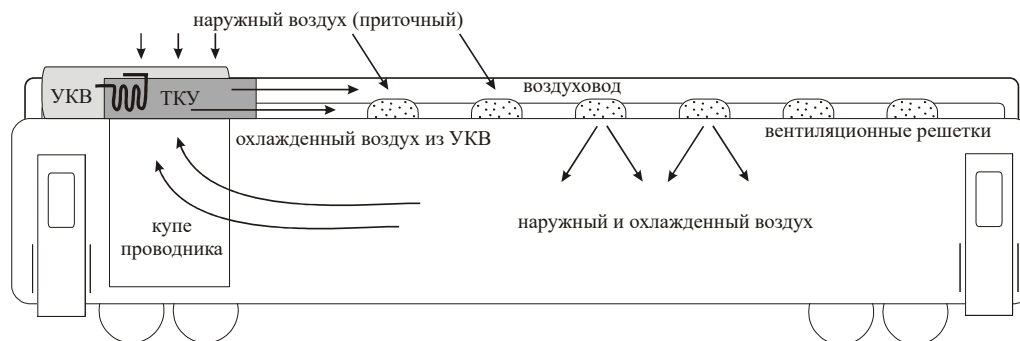


Рис. 2. Схема функционирования комбинированной УКВ (УКВ-ТК)

Схема функционирования комбинированной УКВ (УКВ-ТК): над купе проводника в блоке с кондиционером располагается ТКУ; наружный воздух по каналам проходит сквозь бак теплокомпенсатора и подается в воздухопровод вагона, откуда поступает через вентиляционные решетки во внутренние помещения; хладагент штатного кондиционера вагона (УКВ) пропускается через аккумулятор холода. При работающем УКВ аккумулятор холода будет «заряжаться», остывая под действием фреона до низкой температуры, тем самым приобретая потенциал последующего поглощения теплоты. При выключенном УКВ (на остановках) теплый приточный (внутренний и наружный) воздух будет охлаждаться, проходя через ТКУ, отдавая свое тепло его хладонакопителю.

Размещение теплокомпенсатора предполагается в подкрышном пространстве вагона над купе проводника без занятия дополнительного пространства внутренних помещений, распространение охлажденного воздуха по вагону – в пространстве над потолком, оснащенном рядом вентиляционных решеток. Таким образом, предлагаемое дополнение системы охлаждения воздуха в вагоне тепло-компенсирующим устройством позволит существенно расширить диапазон допустимых условий работы и повысить надежность функционирования штатной УКВ.

Целью дальнейших теоретических исследований и опытно-конструкторских работ ставится создание комбинированной системы кондиционирования УКВ-ТК, обеспечивающей надлежащее охлаждение воздуха в пассажирском вагоне при различных режимах его движения и во время остановок, в широком спектре погодных – климатических условий. Отдельной весьма важной задачей представляется совершенствование системы распределения воздуха в пространстве вагона, обеспечивающей равномерность в нем параметров микроклимата, в первую очередь, температурного поля [1, 8, 9, 15, 16].

Заключение.

С целью повышения эффективности работы системы кондиционирования воздуха в пассажирских вагонах, которая зачастую не справляется с охлаждением воздуха в жаркий сезон и во время частых стоянок поезда на маршруте следования, предлагается внедрить дополнительное устройство хладокомпенсации. Дополнительная автономная система охлаждения воздуха может быть размещена в подкрышном пространстве над служебным купе

проводника, что позволит осуществлять охлаждение воздуха пассажирского вагона при отключенной штатной холодильной установке или во время ее пиковых нагрузок. Охлаждение производится за счет использования хладагента, хладонакопителя, которые накапливают холод в ночное время и пропускают через них подаваемый воздух днем, что позволит обеспечить необходимые параметры микроклимата и температурного режима, повысить комфортабельность перевозок пассажиров.

Библиографический список

1. Об утверждении Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года : распоряжение Правительства Российской Федерации от 27.11.2021 г. № 3363-р. Доступ из справ.-правовой системы Консультант-Плюс в локал. сети.
2. Российские железные дороги // ОАО «РЖД» : сайт. URL: <http://www.rzd.ru> (Дата обращения 17.09.2023).
3. Постановление Министерства здравоохранения Российской Федерации от 4 марта 2003 года № 12 «О введении в действие Санитарных правил по организации пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте СП 2.5.1198-03».
4. Постановление главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 16 октября 2020 года № 30 «Об утверждении санитарных правил СП 2.5.3650-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к отдельным видам транспорта и объектам транспортной инфраструктуры»».
5. Действие высоких температур на человека: информация Роспотребнадзора от 09.09.2011 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://34.rosпотребнадзор.ru/content/193/5764> (26.10.2022).
6. Вентиляция и кондиционирование воздуха в пассажирских вагонах: СЦБИСТ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://scbist.com/zh-d-stat/2861-statya-ventilyaciya-i-kondicionirovanie-vozdusha-v-passazhirskih-vagonah.html> (26.10.2024).
7. Система кондиционирования воздуха: Железнодорожные вагоны [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.vagoni-jd.ru/razdel_05-4-5-sistema-kondicionirovania/ (26.10.2024).
8. **Жариков, В. А.** Климатические системы пассажирских вагонов. М.: ТРАНСИНФО, 2006 135 с.
9. **Фаерштейн, Ю. О.** Кондиционирование воздуха в пассажирских вагонах / Ю. О. Фаерштейн, Б. Н. Китаев – М. Транспорт. 1984 – 272 с.
10. **Гаранов, С. А.** Комбинированная СКВ с водовоздушным и парокомпрессионным циклом / С. А. Гаранов, С. А. Жаров, А. Н. Соколик, Д. А. Рантеев – М.: Издательство «МГТУ им. Н.Э. Баумана», 2019.
11. **Гаранов, С. А.** Энергосберегающие решения для систем кондиционирования воздуха пассажирского вагона / С. А. Гаранов, М. С. Муха // Инновации и инвестиции. – 2020. – №5. – С. 243-245.
12. **Матяш, Ю. И.** Совершенствование технологии работы системы кондиционирования воздуха пассажирского вагона путем разработки дополнительного устройства охлаждения воздуха / Ю. И. Матяш, А. Д. Родченко, А. В. Колтышкин, Д. Н. Шлома // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2019. – № 3 (75). – С. 38-44.
13. **Матяш, Ю. И., Клюка, В. П.** Системы кондиционирования и водоснабжения пассажирских вагонов: учеб. пособие для вузов ж.-д. транспорта – М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2008. – 286 с.
14. **Маркман, М. Д.** Особенности разработки и оснащения КСКВ пассажирских вагонов повышенной комфортности / М. Д. Маркман, А. А. Назарцев // В сб. докладов «Системы вентиляции, кондиционирования и отопления в пассажирских вагонах» – СПб. СПбГУНиПТ, 20011 –с. 86 – 88.

15. Димов, А. В. Совершенствование качества обслуживания пассажиров и посетителей вокзального комплекса станции Иркутск-Пассажирский с применением методов имитационного моделирования / А. В. Димов, В. А. Оленцевич // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2023. № 2 (78). С. 72-81.

16. Комаров, А. В. Определение ущербов в экономике от некачественного транспортного обслуживания // Вестник транспорта. 2002. № 2. С. 30-38.

V. A. Olentsevich, A. V. Starozhilova

MODERNIZATION OF THE EQUIPMENT OF THE CARRIAGE FLEET AS A FACTOR IN IMPROVING THE QUALITY OF PASSENGER SERVICE

Abstract. Improving the level of service, comfort of travel and passenger safety is an integral part of the policy for the effective development of JSC Russian Railways. Based on the conducted marketing research, the problems of air conditioning in the passenger car have been identified, which causes discomfort during the passenger's journey and negatively affects the work of conductors, leading to deterioration of physical health. As a factor in improving the quality of passenger service, an option for upgrading the equipment of the carriage fleet is proposed. In order to increase the efficiency of the air conditioning system in passenger cars, it is proposed to install an additional autonomous air cooling system, which will allow air cooling when the standard refrigeration unit is switched off or during its peak loads.

Keywords: passenger rail transportation, comfort of travel, car fleet, quality of service, air conditioning, cooling compensation process, temperature regime, climatic and meteorological conditions.

For citation: Olentsevich, V. A., Modernization of the Equipment of the Carriage Fleet as a Factor in Improving the Quality of Passenger Service / V. A. Olentsevich, A. V. Starozhilova // Trudy Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobseniya. – 2024. – № 4. – P. 103 – 108.

Сведения об авторах

Оленцевич Виктория Александровна
Иркутский государственный университет
путей сообщения,
кафедра «Управление эксплуатационной
работой»,
к.т.н., доцент, доцент,
e-mail: olencevichva@mail.ru

Старожилова Алена Витальевна
Иркутский государственный университет
путей сообщения,
факультет «Управление на транспорте и
информационные технологии»,
студентка
e-mail: as23062002@mail.ru

Information about the authors

Olentsevich Victoriya Alexandrovna
Irkutsk State Transport University,
Chair «Operation Work Management»,
Candidate of Technical Sciences, Associate
Professor, Associate Professor of the
e-mail: olencevichva@mail.ru

Starozhilova Alena Vital'evna
Irkutsk State Transport University,
Faculty of Transport Management and
Information Technology,
Student,
e-mail: as23062002@mail.ru

УДК 629.423.1

А. Ю. Портной, О. В. Мельниченко, А. О. Линьков, А. В. Коновалов, С. А. Кахаев

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ ОКОН ОСТОВОВ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ НБ-514 ЭЛЕКТРОВОЗОВ СЕРИИ «ЕРМАК» МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Аннотация. Методом конечных элементов рассмотрены механические напряжения, возникающие при собственных и вынужденных колебаниях остова тягового двигателя НБ-514 электровозов переменного тока в районе возникающей трещины между смотровым и вентиляционным окнами остова тягового двигателя НБ-514. Показано, что максимальные механические напряжения возникают в углах окон, и могут быть почти в 2 раза уменьшены при коррекции формы окон. Рассмотрена сеточная сходимость вычислений, не сильно влияющая на расчеты по уменьшению механических напряжений при коррекции формы окон. Полученные данные показывают возможность оптимизации конструкции с помощью высококачественных моделей – цифровых двойников.

Ключевые слова: тяговый двигатель НБ-514, механические колебания, механические напряжения, метод конечных элементов.

Для цитирования: Портной, А. Ю. Оптимизация конструкции окон остовов тягового электродвигателя НБ-514 электровозов серии «Ермак» методом конечных элементов / А. Ю. Портной, О. В. Мельниченко, А. О. Линьков, А. В. Коновалов, С. А. Кахаев // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2024. – № 4. – С. 109 – 116.

Введение

Одним из ключевых направлений научно-технологического развития холдинга "РЖД" является реализация проекта "Цифровая железная дорога" [1]. Данное направление предполагает внедрение новейших информационных технологий для повышения эффективности работы железнодорожного транспорта и управления им. Обеспечение надежности тягового подвижного состава становится одной из первоочередных задач, что нашло отражение в ряде руководящих документов, изданных ОАО РЖД. Например, в "Белой книге" [2] обозначены конкретные цели для локомотивного хозяйства, в числе которых: -увеличение среднесуточной производительности локомотива рабочего парка в грузовом движении не менее чем на 10%; - снижение доли неисправных локомотивов, находящихся на всех видах ремонта и обслуживания, до 16,3%, что соответствует нормативному простоя на ремонтах.

Тяговый двигатель НБ-514 и его модификации используются в основных локомотивах переменного тока ВЛ85 [3] и 2(3)ЭС5К [4]. Дефекты тягового двигателя являются одной из причин постановки локомотива на внеплановый ремонт, что влечет за собой экономические потери как из-за трудозатрат на ремонт, так и из-за вынужденного простоя локомотива.

Около трети двигателей, поступающих в ремонт, имеют дефект типа трещины остова в межоконном пространстве. Место образования трещины показано на рисунке 1, а коррекция двигателя путем заварки и усиления – на рисунке 2. Важно отметить, что усиление вентиляционного окна с помощью пластин, если такое производится, снижает

расход воздуха, что, в свою очередь, повышает температуру системы охлаждения и снижает надежность изоляции в обмотках ТЭД.

В процессе эксплуатации ТЭД на данный участок воздействуют механические напряжения, обусловленные как из-за разности температур, так и вибрациями, возникающими от взаимодействия с рельсовым путём и работой самого колесно-моторного блока. Эти факторы могут существенно влиять на механические свойства и структуру остова двигателя, способствуя образованию и развитию трещин.

Целью данной работы является анализ механических вибраций в остове тягового двигателя при эксплуатации, а также сеточная сходимость подобных расчетов.



Рис. 1. Типовая трещина в двигателе НБ-514, возникающая в межреберном пространстве

Исследование

Расчеты производились методом конечных элементов (МКЭ). МКЭ, иногда также упоминаемый как конечно-элементный анализ, представляет собой численный метод приближенного решения краевых (граничных) задач, имеющих место в технике и математической физике. [5,6]. Этот метод служит мощным инструментом для создания детализированных численных моделей, позволяющих учитывать как геометрические особенности, так и физические параметры исследуемых объектов.

Использование современных программных средств, таких как FEMAP [7, 8], позволяет визуализировать распределения механических напряжений и выявлять потенциальные зоны риска. Это, в свою очередь, способствует оптимизации конструкции ТЭД и повышению надежности двигателей.

В МКЭ конструкция объекта описывается налагаемой на объект сеткой, которая разбивает конструкцию на простейшие объекты типа пирамид либо параллелепипедов. При этом параметры сетки, очевидно, оказывают влияние на результаты расчетов. Уменьшение разности между реальным параметром и значением, рассчитанным при уменьшении шага сетки, рассматривается как признак сеточной сходимости.



Рис. 2. Заваренные трещины остова тягового электродвигателя электровоза серии ЗЭС5К

Для моделирования использовалась программа FEMAP, позволяющая произвести сначала расчет механических напряжений при динамическом нагружении модели. При расчетах использовался компьютер на ОС Win 10 64-bit с процессором на 4 ядра, работающим на частоте 3,3 ГГц и с оперативной памятью 16 Гбайт.

В рамках исследования механических напряжений при динамическом нагружении были разработаны модели остова ТЭД с различными вариантами окон: штатные вентиляционные и смотровые окна, трапециевидные, овальные и комбинированные окна. Различные типы окон представлены на рисунке 3.

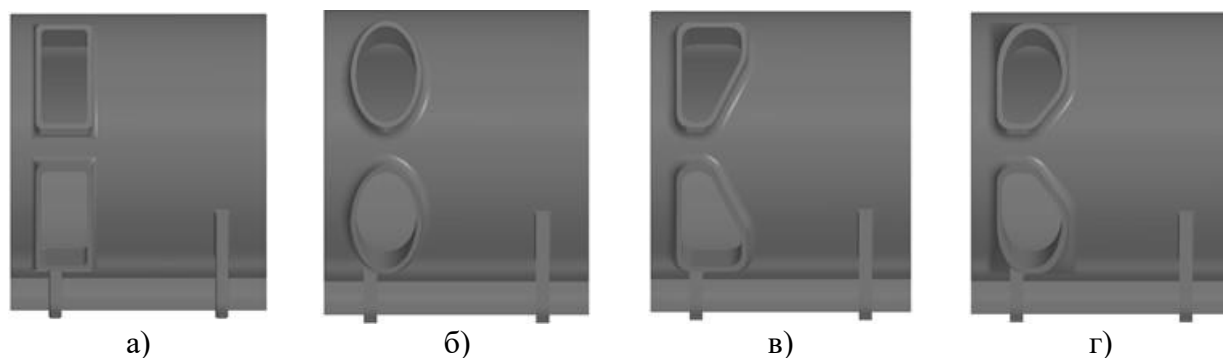


Рис. 3. Типы окон для моделирования:

а) штатные; б) овальные; в) трапециевидные; г) комбинированные

Для моделирования собственных колебаний (в виде их мод) требуется закрепление двигателя к неподвижной опоре (земле). Место закрепления к земле показано на рисунке 4 для двигателя с прямоугольными окнами, для моделей двигателя с остальными окнами оно аналогично.

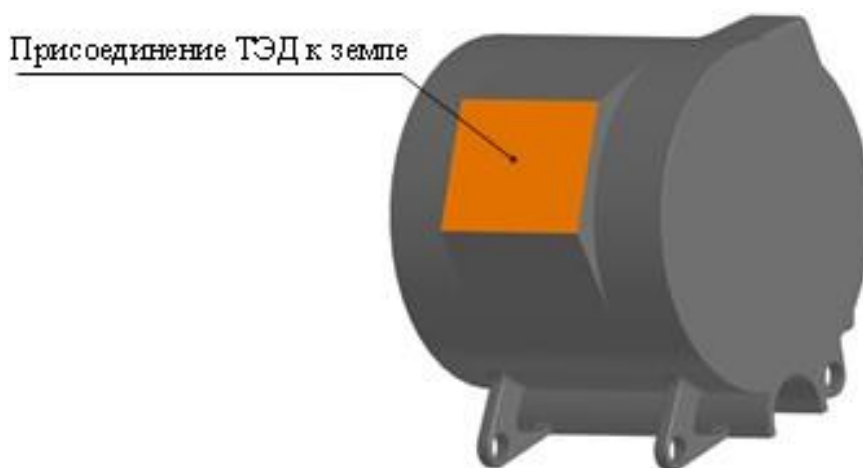


Рис. 4. Закрепление двигателя для модального анализа

На рисунке 5 представлены моды (виды) собственных колебаний двигателя, при которых в явном виде деформируется перегородка между вентиляционным и смотровым окном. В дальнейшем частоты данных мод использовались для нагружения двигателя. Поскольку диапазон частот 350-380 Гц, в котором лежат данные собственные колебания, лежит в диапазоне частот широкополосных колебаний, возникающих в кривых малого радиуса [9], то такое нагружение для анализа можно считать правомерным.

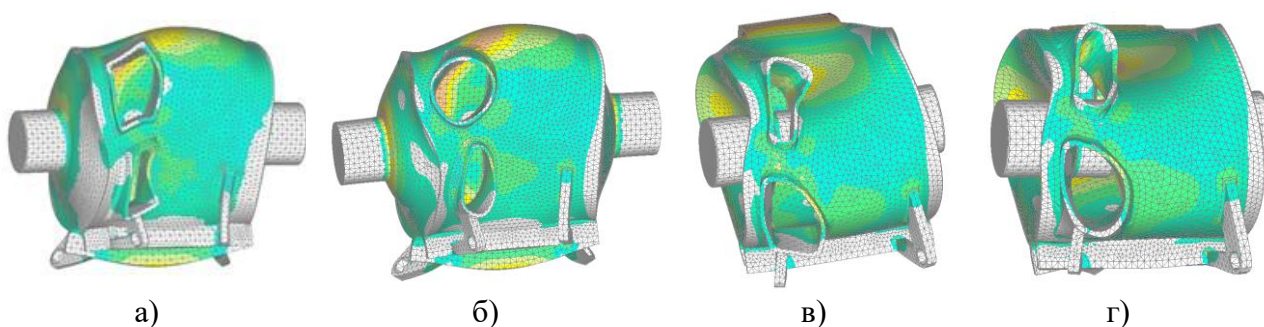


Рис. 5. Моды колебаний остова двигателя при модальном анализе с деформацией перегородки между смотровым и вентиляционным окном:

а) штатные; б) овальные; в) трапецидальные; г) комбинированные

На рисунке 6 на примере двигателя с прямоугольными окнами показано закрепление двигателя и место подачи синусоидальной нагрузки на частоте моды собственных колебаний. Для всех двигателей амплитуда нагрузки была задана равной 40 кН и передавалась в район моторно-осевого подшипника.

Виды колебаний (рисунок 7) при такой нагрузке немного отличаются от видов колебаний собственных мод, поскольку в них включается обусловленная внешней нагрузкой часть.

Механические напряжения, возникающие при разных формах окон при вынужденных колебаниях приведены на рисунке 8 и систематизированы в таблице для сеток 30 и 15 мм. Из таблицы видно резкое (до 3х-4х раз) уменьшение амплитуды механических напряжений при рассматриваемых колебаниях при переходе от прямоугольной формы отверстий к овальной, а также весьма малую зависимость уменьшения амплитуды расчетных механических напряжений от шага сетки.

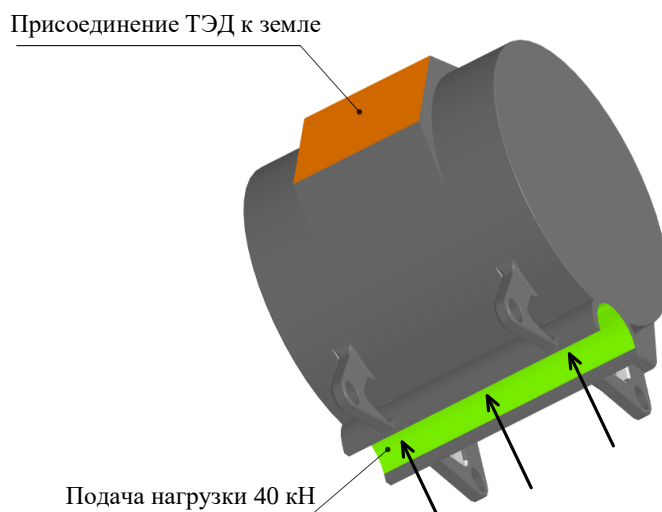


Рис. 6. Закрепление двигателя и подача нагрузки при анализе вынужденных колебаний остова двигателя

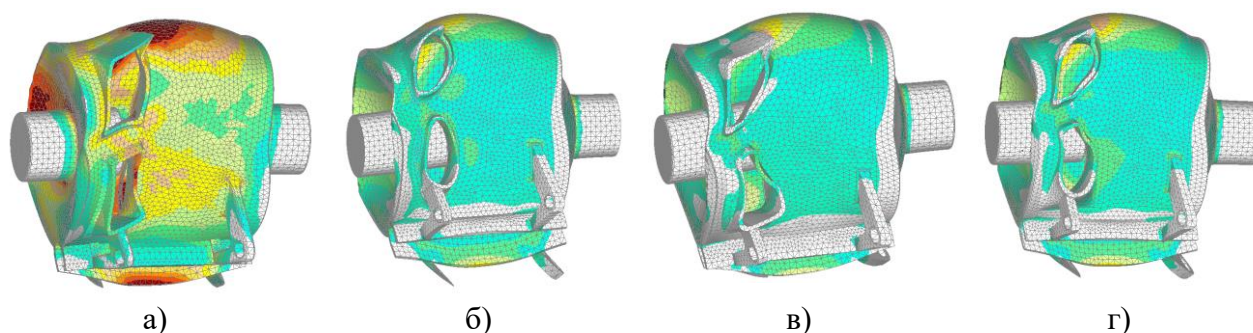


Рис. 7. Моды колебаний при анализе вынужденных колебаний при вынужденных колебаниях:

а) штатные; б) овальные; в) трапецидальные; г) комбинированные

Таблица

Механические напряжения, возникающие в районе смотрового и вентиляционного окон при анализе колебаний в точках

	Сетка	30 мм				15 мм		
Точка	Частота	1	2	3	Частота	1	2	3
1 (Станд.)	373	207,77	195,65	472,96	362	155,32	182,99	424,28
2 (Овал.)	356	49,34	43,38	136,66	363	61,32	56	153,68
3 (Трап.)	356	32,44	42,29	135,46	363	80,05	111,57	321,07
4 (Комб.)	356	38,98	43,54	125,9	363	93,45	108,26	299,78

Исходя из данных таблицы следует, что переход к овальной форме окна приводит к примерно четырехкратному уменьшению механических напряжений, связанных с вибрацией, по сравнению с углами штатного прямоугольного смотрового и вентиляционного окон. Эти результаты подчеркивают положительное влияние овальных форм на снижение напряжений. Такое уменьшение механических напряжений может оказать существенное значение для проектирования более устойчивых и надежных конструкций.

Работа выполнена в рамках государственного задания по государственной работе

«Проведение прикладных научных исследований» на тему «Разработка цифрового двойника колёсно-моторного блока электровоза «Ермак» серии 2(3)ЭС5К» № 124060500020-4 от 05.06.2024.

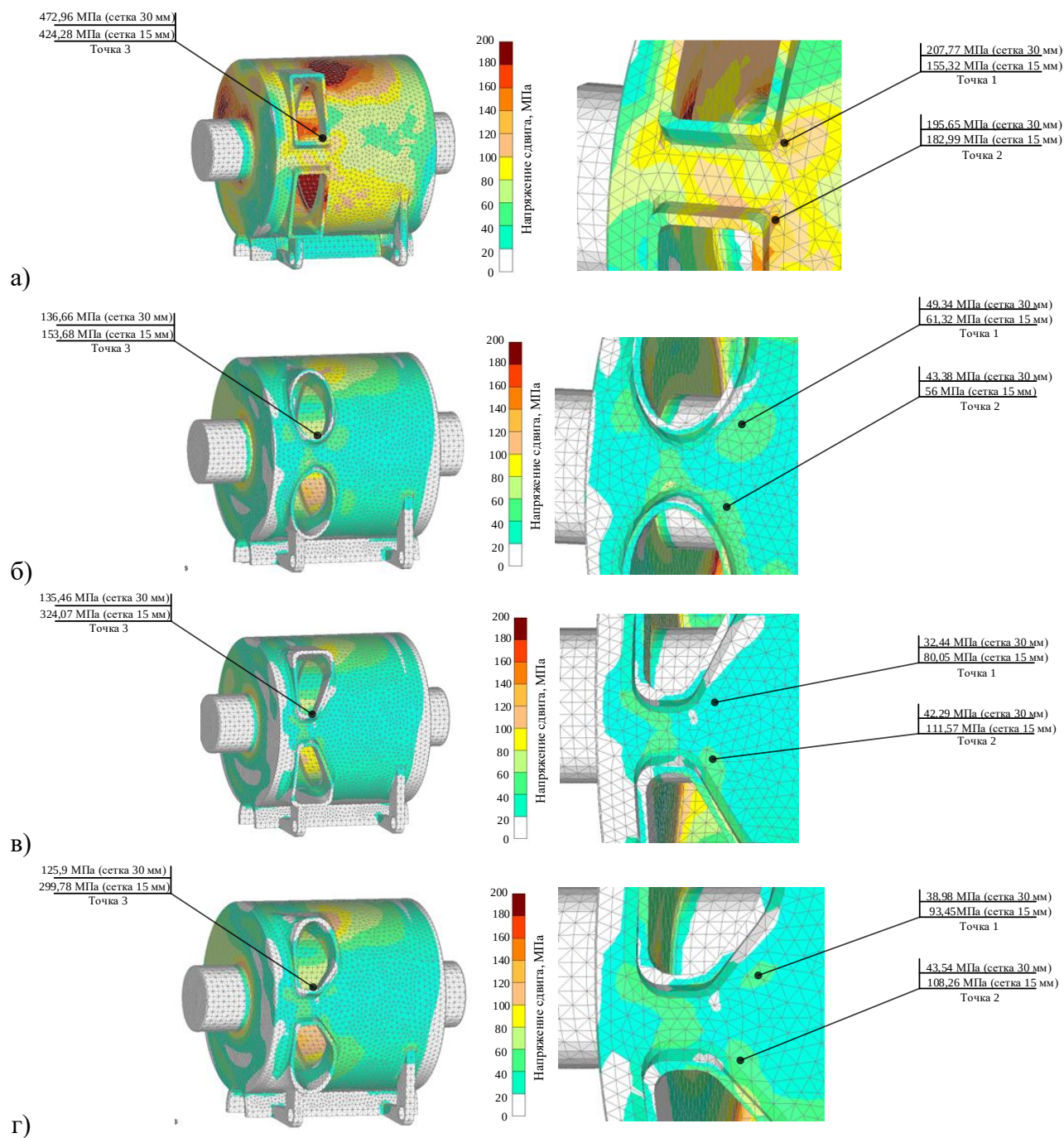


Рис. 8. Расположение максимальных механических напряжений в зависимости от типа окна и шага сетки:

а) штатные; б) овальные; в) трапециевидные; г) комбинированные

Заключение

В результате проведенного исследования моделирования механических напряжений, возникающих при динамическом нагружении остова ТЭД, установлено, что усталостная трещина формируется в области вентиляционного и смотрового окон, где наблюдаются максимальные механические напряжения.

Работа продемонстрировала, что изменение формы смотрового и вентиляционного окон позволяет снизить механические напряжения примерно в два раза. Это свидетельствует о значительном влиянии геометрии конструкции на усталостные характеристики остова двигателя. Кроме того, результаты показывают, что уменьшение шага сетки в расчетах может изменить значения механических напряжений до 20%.

Полученные результаты имеют существенное значение для дальнейшего развития как цифрового двойника колёсно-моторного блока электровоза, так и для дальнейшей модернизации колесно-моторного блока электровоза, а также подчеркивают важность оптимизации геометрии окон для повышения прочности остова ТЭД.

Библиографический список

1. Российская Федерация. Правительство. Об утверждении Стратегии развития транспортного машиностроения Российской Федерации на период до 2030 года и плана мероприятий по ее реализации: распоряжение Правительства Российской Федерации от 17.08.2017 № 1756-р. – Текст: непосредственный.
2. ОАО «Российские железные дороги». Об утверждении стратегии научно-технологического развития холдинга "РЖД" на период до 2025 года и на перспективу до 2030 года: распоряжение от 17 апреля 2018 года № 769/р (Белая книга).
3. Тушканов, Б. А., Пушкарев, Н. Г., Позднякова, Л. А. Электровоз ВЛ-85: руководство по эксплуатации. – М.: Маршрут, 1992. — 480 с.
4. Электровоз магистральный 2ЭС5К (ЗЭС5К): руководство по эксплуатации / Новочеркасский электровозостроительный завод. – Новочеркасск, 2007. – Т. 1. – 635 с.; Т. 2. – 640 с.
5. Зенкевич, О. К. Метод конечных элементов в технике: Пер. с англ. / О. К. Зенкевич; под ред. Б. Е. Победри. – М.: Мир, 1975. – 541 с.: ил.; 22 см. – Библиогр.: с. 7–25, 28–29.
6. Каменев, С. В. Основы метода конечных элементов в инженерных приложениях: учебное пособие. – Оренбург: ОГУ, 2019. – 110 с.
7. Рычков, С. П. Моделирование конструкций в среде Femap with NX Nastran. – М.: ДМК Пресс, 2013. – 784 с.: ил. ISBN 978-5-94074-638-6.
8. Рудаков, К. Н. Геометрическое и конечно-элементное моделирование конструкций. – К.: КПИ, 2011. – 317 с., ил.
9. Портной А. Ю., Мельниченко О. В., Селедцов К. П., Линьков А. О., Яговкин Д. А., Шрамко С. Г., Грузин Г. Г. О вибрации колесно-моторного блока вследствие взаимодействия колеса с рельсом и работы зубчатой передачи электровоза ЗЭС5К в условиях горно-перевального участка. Вестник Иркутского государственного технического университета. 2020. Т. 24. № 3. С. 527–547. <https://doi.org/10.21285/1814-3520-2020-3-527-547>

A. Yu. Portnoy, O. V. Melnichenko, A. O. Lin'kov, A. V. Konovalov, S. A. Kakhaev

OPTIMIZATION OF TRACTION MOTOR HULL WINDOWS DESIGN NB-514 OF ELECTRIC LOCOMOTIVES OF «ERMAK» SERIES BY FINITE ELEMENT METHOD

Abstract. The mechanical stresses arising at natural and forced vibrations of the frame of traction engine NB-514 of alternating current electric locomotives in the area of the emerging crack between the inspection and ventilation windows of the frame of traction engine NB-514 are considered by the finite element method. It is shown that the maximum mechanical stresses occur in the corners of the windows and can be almost 2 times reduced by correcting the shape of the windows. The grid convergence of

calculations is considered, which does not strongly affect the calculations on reduction of mechanical stresses at window shape correction. The obtained data show the possibility of structural optimization with the help of high-quality models - digital twins.

Keywords: traction motor NB-514, mechanical vibrations, mechanical stresses, finite element method.

For citation: Portnoy, A. Y. Optimization of the Design of the Windows of the Hulls of the Traction Motor NB-514 of the Electric Locomotives of the «Ermak» Series by the Finite Element Method / A. Yu. Portnoy, O. V. Melnichenko, A. O. Lin'kov, A. V. Konovalov, S. A. Kahaev // Trudy Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobseniya. – 2024. – № 4. – P. 109 – 116.

Сведения об авторах

Портной Александр Юрьевич

Иркутский государственный университет
путей сообщения,
кафедра «ФМиП»,
доктор физико-математических наук, доцент,
профессор
e-mail: portnoy_alexander@mail.ru

Мельниченко Олег Валерьевич

Иркутский государственный университет
путей сообщения,
кафедра «ЭПС»,
доктор технических наук, профессор,
профессор,
e-mail: olegmelnval@mail.ru

Линьков Алексей Олегович

Иркутский государственный университет
путей сообщения,
кафедра «ЭПС»,
кандидат технических наук, доцент, доцент,
e-mail: linkovalex@mail.ru

Коновалов Алексей Владимирович

Иркутский государственный университет
путей сообщения,
кафедра «ЭПС»,
ассистент,
e-mail: alekseikonovalov2016@mail.ru

Кахаев Семен Александрович

Иркутский государственный университет
путей сообщения,
кафедра «ЭПС»,
ассистент,
e-mail: vip.kakhaev@mail.ru

Information about the authors

Portnoy Alexander Yuryevich

Irkutsk State Transport University,
Chair «Physics, Mechanics and Instrument
Engineering»,
Doctor of Physics and Mathematics Sciences,
Associate Professor, Professor,
e-mail: portnoy_alexander@mail.ru

Melnichenko Oleg Valerievich

Irkutsk State Transport University,
Chair «Electric Rolling Stock»,
Doctor of Technical Science, Professor,
Professor,
e-mail: olegmelnval@mail.ru

Lin'kov Alexey Olegovich

Irkutsk State Transport University,
Chair «Electric Rolling Stock»,
Candidate of Technical Sciences, Associate
Professor, Associate Professor,
e-mail: linkovalex@mail.ru

Konovalov Alexey Vladimirovich

Irkutsk State Transport University,
Chair «Electric Rolling Stock»,
Assistant,
e-mail: alekseikonovalov2016@mail.ru

Kakhaev Semyon Alexandrovich

Irkutsk State Transport University,
Chair «Electric Rolling Stock»,
Assistant,
e-mail: vip.kakhaev@mail.ru

УДК 629.4.028.29

И. К. Сергеев, А. В. Пищик

О ПЕРСПЕКТИВНЫХ НАПРАВЛЕНИЯХ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КОНСТРУКЦИИ АВТОСЦЕПНОГО УСТРОЙСТВА ДЛИННОБАЗНЫХ ВАГОНОВ-ПЛАТФОРМ

Аннотация. Рассмотрены особенности эксплуатации поглощающих аппаратов грузового подвижного состава. Проанализированы перспективные направления совершенствования конструкции автосцепного устройства грузовых вагонов. Приведены промежуточные результаты испытаний перспективной комбинации сдвоенных (последовательно расположенных) поглощающих аппаратов в программном продукте «Универсальный механизм».

Ключевые слова: контейнерные перевозки, автосцепное устройство, поглощающие аппараты, особо ценные грузы.

Для цитирования: Сергеев, И.К. О перспективных направлениях совершенствования конструкции автосцепного устройства длиннобазных вагонов-платформ / И. К. Сергеев, А. В. Пищик // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2024. – № 4. – С. 117 – 122.

Актуальность.

На сети железных дорог стран ЕАЭС (особенно – Российской Федерации, Республики Беларусь и Республики Казахстан) наблюдается ежегодный стабильный рост контейнеризации (перевозок грузов в контейнерах). Процесс активной контейнеризации непосредственно связан с технологическими причинами (например, скоростью и наиболее удобными условиями доставки). Удовлетворение потребностей грузоотправителей в части безопасной (сохранной) доставки контейнерных грузов железнодорожным транспортом неразрывно связано с обеспечением надежной и безотказной работы автосцепного устройства грузового железнодорожного подвижного состава. Особое внимание должно уделяться приборам, которые задействованы для поглощения энергии удара – поглощающим аппаратам.

Основная часть.

В соответствии с ГОСТ 32913-2014 «Аппараты поглощающие сцепных и автосцепных устройств железнодорожного подвижного состава. Технические требования и правила приемки» поглощающие аппараты для грузового подвижного состава по эксплуатационным показателям делятся на следующие классы:

- поглощающие аппараты класса Т1 (для вагонов, перевозящих все виды грузов, за исключением опасных);
- поглощающие аппараты класса Т2 (для специализированных вагонов, перевозящих ценные грузы, опасные грузы классов 3,4,5,8,9 по ГОСТ 19433.1, а также вагонов с расчетной массой брутто свыше 120 тонн);
- поглощающие аппараты класса Т3 (для вагонов, перевозящих особо опасные грузы классов 1,2,6,7 по ГОСТ 19433.1) [1].

В последнее время массовое распространение получили поглощающие аппараты повышенной энергоемкости классов Т2 и Т3. Аппараты классов Т2 и Т3, за исключением поглощающего аппарата РТ-130 (единственный фрикционный поглощающий аппарат класса Т2), являются эластомерными.

Эластомерные поглощающие аппараты имеют в своей конструкции силиконовые эластомеры. Принцип действия эластомерных поглощающих аппаратов основан на перетекании (дресселировании) эластомерной массы между поршнем и цилиндром.

Одним из первых и наиболее распространенных эластомерных поглощающих аппаратов в России был аппарат 73ZW, разработанный фирмой «КАМАХ» (Республика Польша). Необходимо отметить, что ученые кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» МИИТа внесли значительный вклад в совершенствование конструкции указанного поглощающего аппарата [2].

Важными факторами обеспечения безотказной эксплуатации эластомерных и резинометаллических поглощающих аппаратов являются:

1. анализ причин возникновения неисправностей аппаратов, которые выявляются в эксплуатации и при проведении плановых видов ремонта грузовых вагонов;
2. выработка комплекса мероприятий по повышению надежности поглощающих аппаратов в эксплуатации;
3. повышение качества технического обслуживания (в части тщательного осмотра автосцепного устройства) при подготовке грузовых вагонов под погрузку;
4. учет регионов курсирования грузовых вагонов (особенно при следовании в регионы со стабильно низкими температурами).

При рассмотрении вопросов эксплуатационной надежности и безотказной работы поглощающих аппаратов, в обязательном порядке должны учитываться отцепки грузовых вагонов в текущий отцепочный ремонт (ТР-1, ТР-2) (далее – ТОР) по неисправностям поглощающих аппаратов.

Основными неисправностями поглощающих аппаратов, по которым грузовые вагоны поступают в ТОР, являются:

- суммарный зазор эластомерного поглощающего аппарата более 5 мм (код 352 отраслевого Классификатора «Основные неисправности грузовых вагонов» К ЖА 2005 05);
- неисправность поглощающего аппарата (код 348 К ЖА 2005 05).

Например, по данным Проектно-конструкторского бюро вагонного хозяйства – филиала ОАО «Российские железные дороги» [3], за первое полугодие 2024 г. в ТОР по коду 352 К ЖА 2005 05 отцеплено 6,6 тыс. грузовых вагонов парка Российской Федерации, что больше на 6,6% по сравнению с аналогичным периодом прошлого года. Проанализированы также поступления грузовых вагонов парка Российской Федерации в ТОР по коду 348 К ЖА 2005 05. Так, за первое полугодие 2024 г. допущено 3,3 тыс. отцепок грузовых вагонов парка Российской Федерации, что меньше на 3,8% по сравнению с аналогичным периодом прошлого года. На рисунках 1 и 2 приводятся данные ПКБ ЦВ – филиала ОАО «РЖД» [4,5,6,7] о поступлении в ТОР грузовых вагонов парка Российской Федерации по кодам неисправностей 352 и 348 К ЖА 2005 05 в 2020-2024 гг.

Как видно из диаграммы (рис. 1), в период с 2020 по 2024 гг. наблюдался планомерный рост отцепок грузовых вагонов парка Российской Федерации в ТОР по коду 352 К ЖА 2005 05. Это может быть связано с тем, что в указанный период наиболее массово на вагоны начали устанавливаться эластомерные поглощающие аппараты. Установка эластомерных поглощающих аппаратов производится как при постройке, так и при всех видах ремонта грузовых вагонов (особенно – плановых).

Анализ данных об отцепках вагонов в ТОР по коду 348 К ЖА 2005 05 в 2020-2024 гг. (рис. 2) может указывать на то, что по данному коду неисправности в нерабочий парк переводят в среднем 5,7 тыс. грузовых вагонов парка Российской Федерации. При этом, отцепки грузовых вагонов в ТОР по указанному коду неисправности не имеют яркой тенденции к уменьшению или увеличению. Указанному обстоятельству может способствовать тот факт, что имеет место планомерное увеличение в конструкции грузовых вагонов эластомерных поглощающих аппаратов. При выявлении неисправностей эластомерных поглощающих аппаратов в эксплуатации, по данным одного из авторов, грузовые вагоны в нерабочий парк переводят в основном с применением кода 352 К ЖА 2005 05.



Рис. 1. Данные о поступлении грузовых вагонов парка РФ в ТОР по коду 352 К ЖА 2005 05 в 2020-2024 гг.



Рис. 2. Данные о поступлении грузовых вагонов парка РФ в ТОР по коду 348 К ЖА 2005 05 в 2020-2024 гг.

Эксплуатация поглощающих аппаратов на грузовом железнодорожном подвижном составе должна в обязательном порядке учитывать фактические полигоны курсирования грузовых вагонов, особенно – в регионы с крайне низкими температурами. Ранее [8] авторами были проанализированы условия эксплуатации эластомерных и резинометаллических поглощающих аппаратов (73ZW и Р-5П) железнодорожного подвижного состава, а также предложены перспективные подходы по их применению на длиннобазных вагонах-платформах. Было обосновано возможное применение сдвоенных (последовательно расположенных) поглощающих аппаратов различных конфигураций (73ZW+73ZW и 73ZW+Р-5П) на длиннобазных вагонах-платформах, которые, по мнению авторов, позволят

обеспечить максимальный уровень обеспечения сохранности перевозки особо ценных грузов (фарфор, высокотехнологическое и спутниковое оборудование, культурные ценности, детали летальных аппаратов, антиквариат и др.). Это связано с тем, что при использовании указанной схемы размещения поглощающих аппаратов обеспечивается необходимое значение суммарной энергоемкости и рабочего хода. Использование в комбинации ударно-поглощающего устройства поглощающего аппарата Р-5П должно в обязательном порядке учитывать эксплуатационные свойства резины, так как она подвержена старению под действием нагрузок и времени эксплуатации, что приводит к ухудшению диссипативных свойств [9].

В настоящее время одним из авторов в программном продукте «Универсальный механизм» проводятся исследования перспективного применения сдвоенных (последовательно расположенных) поглощающих аппаратов, а также влияния предложенного усовершенствования на нагруженность длиннобазных вагонов-платформ. На рис. 3 приводится сравнительный график зависимостей максимумов реакций в поглощающем аппарате 73ZW и сдвоенном поглощающем аппарате (73ZW+73ZW) от скорости соударения грузовых вагонов.

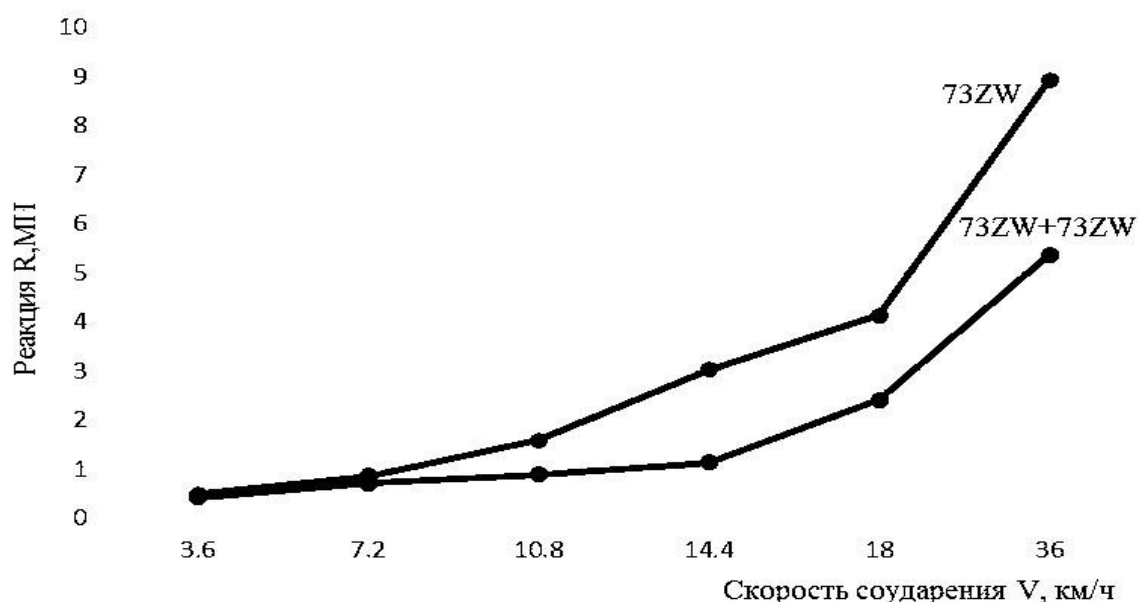


Рис. 3. Сравнительный график зависимостей максимумов реакций в поглощающем аппарате 73ZW и сдвоенном поглощающем аппарате (73ZW+73ZW) от скорости соударения грузовых вагонов

Анализ сравнительного графика зависимостей (рис.3) показывает эффективность применения сдвоенных поглощающих аппаратов, так как даже при аварийных режимах соударения вагонов-платформ (18 и 36 км/ч) [10] реакции несколько меньше, чем при применении одиночного поглощающего аппарата.

Заключение.

Совершенствование конструкции автосцепного устройства грузовых вагонов является актуальной задачей. Это связано с тем, что наблюдается стабильный рост контейнеризации грузов. Указанное обстоятельство обязывает обратить внимание специалистов в области динамики вагонов на вопросы обеспечения сохранности перевозки железнодорожным транспортом особо ценных грузов. Одним из перспективных направлений, по мнению авторов, является применение сдвоенных (последовательно расположенных) поглощающих

аппаратов (например, 73ZW+73ZW и 73ZW+P-5П). Научные изыскания по данному вопросу продолжаются, в т.ч. посредством компьютерного моделирования с применением программного продукта «Универсальный механизм».

Библиографический список

1. ГОСТ 32913-2014. Аппараты поглощающие сцепных и автосцепных устройств железнодорожного подвижного состава. Технические требования и правила приемки. - Введ. 2015-06-01. - М.: Изд-во стандартов, 2015. - 12 с.
2. Патент РФ (11) №2296072 Поглощающий аппарат [Текст] / В. Н. Филиппов и др. – В61G 9/06, В61G 11/08, 2005.
3. Отцепки грузовых вагонов в неплановый ремонт в первом полугодии 2024 г. / М. С. Агафонов // Вагоны и вагонное хозяйство. – 2024. – №3 (79). – С.11–13.– ISSN 1817-6089.
4. Отцепки грузовых вагонов в неплановый ремонт за 2020 г. / А. С. Макаров // Вагоны и вагонное хозяйство. – 2021. – № 1(65). – С. 19-21.– ISSN 1817-6089.
5. Отцепки грузовых вагонов в неплановый ремонт за 2021 г. / М. С. Агафонов // Вагоны и вагонное хозяйство. – 2022. – № 1(69). – С. 17-18.– ISSN 1817-6089.
6. Отцепки грузовых вагонов в неплановый ремонт за 2022 г. / А. В. Королев // Вагоны и вагонное хозяйство. – 2023. – № 1(73). – С. 19-20.– ISSN 1817-6089.
7. Отцепки грузовых вагонов в неплановый ремонт за 2023 г. / М. С. Агафонов // Вагоны и вагонное хозяйство. – 2024. – № 1(77). – С. 12-13.– ISSN 1817-6089.
8. **Сергеев, И. К.** Эффективность применения сдвоенных эластомерных и резинометаллических поглощающих аппаратов на длиннобазных вагонах-платформах / И. К. Сергеев, А. В. Пищик // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2024. – № 2(94). – С. 8-14. – DOI 10.46973/0201-727X_2024_2_8.
9. Проблемы и методы совершенствования автосцепного устройства грузовых вагонов с учетом особенностей эксплуатации / В. Н. Филиппов, И. К. Сергеев, А. В. Пищик, Н. М. Курзина // Транспортное машиностроение. – 2024. – № 5(29). – С. 56-61. – DOI 10.30987/2782-5957-2024-5-56-61.
10. ГОСТ 33788-2016 Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и динамические качества. – М.: Стандартинформ, 2016.

I. K. Sergeev, A. V. Pishchik

ABOUT PROMISING DIRECTIONS FOR IMPROVING THE DESIGN OF AUTOMATIC COUPLE DEVICES FOR LONG-BASE PLATFORM CARS

Abstract. The features of operation of freight rolling stock devices are considered. Promising directions with the advent of the design of automatic coupling devices for freight cars are analyzed. Interim results on measuring the differential accuracy of two-dimensional (sequentially) significant devices in the «Universal Mechanism» software product are presented.

Keywords: container transportation, automatic coupler, draft gear, especially valuable cargo.

For citation: Sergeev, I. K. About Promising Directions for Improving the Design of Automatic Couple Devices for Long-Base Platform Cars / I. K. Sergeev, A. V. Pishchik // Trudy Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobseniya. – 2024. – № 4. – P. 117 – 122.

Сведения об авторах**Сергеев Иван Константинович**

Российский университет транспорта РУТ (МИИТ),
кафедра «Вагоны и вагонное хозяйство»,
кандидат технических наук, доцент,
e-mail: sergeev.workmail@yandex.ru

Пищик Александр Всеволодович

Российский университет транспорта РУТ (МИИТ),
кафедра «Вагоны и вагонное хозяйство»,
прикрепленный для подготовки диссертации
на соискание ученой степени кандидата наук
без освоения программы подготовки
научных и научно-педагогических кадров в
аспирантуре,
e-mail: alexander.p96@mail.ru

Information about the authors**Sergeev Ivan Konstantinovich**

Russian University of Transport RUT (MIIT),
Chair «Car and Cars Economy»,
Candidate of Technical Sciences, Associate
Professor,
e-mail: sergeev.workmail@yandex.ru

Pishchik Alexander Vsevolodovich

Russian University of Transport RUT (MIIT),
Chair «Car and Cars Economy»,
Attached to Prepare a Dissertation for the
Scientific Degree of Candidate of Sciences
without Mastering the Program for Training
Scientific and Scientific-Pedagogical Personnel
in Graduate School,
e-mail: alexander.p96@mail.ru

УДК 629.4.077 : 629.45

*П. Б. Сергеев, В. П. Клюка, С. А. Мосол***ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ТОРМОЗЯЩЕГОСЯ КОЛЕСА И РЕЛЬСА С УЧЕТОМ ПРОСКАЛЬЗЫВАНИЯ В ПЯТНЕ КОНТАКТА**

Аннотация. В статье описана сущность явления крипа (псевдопроскальзывания), с применением гипотезы Картера составлено дифференциальное уравнение для «быстрой» переменной относительного проскальзывания колесной пары по рельсам, выведена «жесткая» система дифференциальных уравнений, описывающая движение экипажа в составе поезда, позволяющая оценить проскальзывание колесной пары по рельсам и учитывать его в более сложных расчетах взаимодействия тормозящегося колеса и рельса.

Ключевые слова: Крип, тормозящееся колесо, система уравнений, колесная пара, рельс.

Для цитирования: Сергеев, П. Б. Взаимодействие тормозящегося колеса и рельса с учетом проскальзывания в пятне контакта / П. Б. Сергеев, В. П. Клюка, С. А. Мосол // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2024. – № 4. – С. 123 – 127.

При вычислении «жестких» систем дифференциальных уравнений могут встречаться составляющие с большими и малыми производными по времени (с «быстрыми» или «медленными» составляющими). Надо отметить, что составляющие с большими производными быстро убывают, при этом шаг интегрирования приходится выбирать очень малым, что может привести к накоплению ошибки.

Очевидно, что чистое качение колеса по рельсу невозможно, так как они не являются абсолютно твердыми телами и касаются по определенной области зоны контакта (пятну), возникающей в результате деформации материалов. Развивающий в своих трудах теорию нестационарного качения колеса Картер [1], ввел линейные соотношения для продольной и поперечной составляющих реакций в зоне контакта в функции от соответствующих псевдоскольжений (крипа) по аналогии со стационарным качением.

Кратко опишем сущность явления крипа. Пятно контакта – это зона контакта с большими удельными давлениями, возникающими при передаче вертикальных нагрузок от колес на рельсы, а так как деформации колеса и рельса на пятне контакта различаются по величине, то центр колеса проходит меньший путь, чем тот, который подсчитан по угловой скорости без скольжения. Это явление называют крипом, а равнодействующую касательных сил на площадке контакта называют силой крипа или силой сцепления. Установлено, что сила крипа пропорциональна безразмерной относительной скорости проскальзывания. Если относительная скорость проскальзывания равна нулю, принято считать, что крипа нет.

Согласно гипотезе Картера, сила крипа может быть найдена из выражения:

$$F_x = C\varepsilon = C \frac{U}{V}, \quad (1)$$

где ε – относительная скорость проскальзывания;

$U = \omega r - V$ – скорость проскальзывания;

V – поступательная скорость колеса;

r – радиус колеса.

Коэффициент пропорциональности (коэффициент крипа K), в следствии его зависимости от различных факторов (вибраций, состояния рельсов, погодных условий и т.п.), может колебаться в больших пределах.

По Картеру:

$$C = 2 \sqrt{\frac{\pi G(\lambda + G)}{2(\lambda + 2G)}} r l P \cdot \frac{\tau}{1 - \sqrt{1 - \tau}}, \quad (2)$$

где λ, G – коэффициенты Ляме;

r – радиус колеса;

P – давление колеса на рельс;

$l = \frac{4}{3}b$ – эквивалентная длина площадки контакта;

b – поперечная к оси рельса полуось эллипса контакта;

$\tau = \frac{F_x}{f_0 P}$ – отношение касательной силы к максимальной силе сцепления.

Для стальных колес и рельсов данная формула упрощается:

$$C = 1600 \sqrt{rP}, \quad (3)$$

причем r , мм, а P , кгс.

Обычно, при расчетах силы крипа на всех колесах вагона, в большинстве нестационарных случаев принимаются равными. Но стоит отметить, что сила крипа не должна превышать некоторого максимального значения, которое зависит от массы вагона:

$$F_x = C \frac{U}{V} \leq f M g. \quad (4)$$

В случаях, когда рассматривается установившийся режим движения, проскальзывание стремится к нулю, и математическая модель, описывающая движение состава, значительно упрощается.

Если записать дифференциальное уравнение для «быстрой» переменной относительного проскальзывания колесной пары по рельсам,

$$m_k \frac{dU}{dt} + \left[1 + \left(\frac{r}{\rho} \right)^2 \right] C \frac{U}{V} = T + \left(\frac{r}{\rho} \right)^2 \frac{M_{mp}}{r}, \quad (5)$$

где m_k – масса колеса;

r – радиус колеса;

ρ – радиус инерции колеса;

T – реакция колеса;

M_{mp} – момент сил сопротивления,

то «жесткая» система дифференциальных уравнений, описывающая движение экипажа в составе поезда запишется в виде

$$\begin{cases} M_{\kappa} \frac{dV}{dt} = S_k - S_{k-1} - W(V) - 2T; \\ m_{\kappa} \frac{dV}{dt} = T - F_x; \\ m_{\kappa} \frac{dU}{dt} + \left[1 + \left(\frac{r}{\rho} \right)^2 \right] C \frac{U}{V} = T + \left(\frac{r}{\rho} \right)^2 \frac{M_{mp}}{r}. \end{cases} \quad (6)$$

Если ввести $T_u = \frac{G_{\kappa} V}{g \left[1 + \left(\frac{r}{\rho} \right)^2 \right] C}$, $T = T_* t$ и $U = U_* u$,

где T_u – постоянная времени развития проскальзывания;
 U_* – характерное проскальзывание колесной пары;
 T_* – характерное время (равное одной из постоянных времени);
 C – коэффициент крипа;
 G_{κ} – вес колесной пары;
 g – ускорение свободного падения,
то можно получить

$$\frac{T_u}{T_*} \frac{du}{dt} + u = \frac{\left[T + \left(\frac{r}{\rho} \right)^2 \frac{M_{mp}}{r} \right] V}{\left[1 + \left(\frac{r}{\rho} \right)^2 \right] C U_*}, \quad (7)$$

Так как поведение системы исследуется на больших временах [2, 3] $\frac{T_u}{T_*} \ll 1$ и его можно приравнять нулю. Тогда из (6):

$$C \frac{U}{V} = m_{\kappa} V \left(\frac{r}{\rho} \right)^2 + \frac{M_{mp}}{r}, \quad (8)$$

Реакция на кузов:

$$T = m_{\kappa} V \left[1 + \left(\frac{r}{\rho} \right)^2 \right] + \frac{M_{mp}}{r}, \quad (9)$$

Тогда перепишем первое уравнение в системе (6) так:

$$M(1 + \gamma) \frac{dV}{dt} = S_k - S_{k-1} - W(V), \quad (10)$$

где M – масса вагона;

$$1 + \gamma = 1 + \frac{2m_{\kappa}}{M} \left(\frac{\rho}{r} \right)^2 - \text{коэффициент инерции вращающихся частей.}$$

Проверим на справедливость уравнение (10), для этого в уравнении (7) перейдем к быстрому времени τ :

$$\frac{du}{d\tau} + u = \frac{\left[T + \left(\frac{r}{\rho} \right)^2 \frac{M_{mp}}{r} \right]}{\left[1 + \left(\frac{r}{\rho} \right)^2 \right] C} \frac{V}{U_*}, \quad (11)$$

и сделаем в нем замену, вводя малое отклонение от точки покоя Δu :

$$u = \frac{\left[T + \left(\frac{r}{\rho} \right)^2 \frac{M_{mp}}{r} \right]}{\left[1 + \left(\frac{r}{\rho} \right)^2 \right] C} \frac{V}{U_*} + \Delta u, \quad (12)$$

Уравнение $-\Delta u = \frac{d\Delta u}{d\tau}$ имеет характеристическое уравнение вида $\lambda + 1 = 0$, то есть $\lambda = -1$, и, следовательно, $\lim_{\tau \rightarrow \infty} \Delta u = 0$, что говорит об устойчивости точки покоя уравнения $\left[1 + \left(\frac{r}{\rho} \right)^2 \right] C \frac{U}{V} = T + \left(\frac{r}{\rho} \right)^2 \frac{M_{mp}}{r}$, и, соответственно, о справедливости уравнения (10).

Таким образом, интегрированием уравнения (10) с использованием (8), можно оценить проскальзывание колесной пары по рельсам и учитывать его в более сложных расчетах взаимодействия тормозящегося колеса и рельса.

Библиографический список

1. **Carter, F. W.** On the action of locomotive driven wheel / F. W. Carter // Proceedings of Royal Society of London. Ser. A. – 1926. – V. 112. – P. 151 – 157.
2. **Тихонов, А. Н.** Системы дифференциальных уравнений, содержащих параметры при производных / А. Н. Тихонов // Известия АН СССР / Математический сб., – 1952. – Т. 31(73). – № 3. – С. 575 – 586.
3. **Горбачев, А. Н.** Методы расчета оптимальных программ ведения поезда / А. Н. Горбачев // Дисс. на соискание ученой степени кандидата технических наук. Омск: ОмГУПС, – 2000.

P. B. Sergeev, V. P. Kluka, S. A. Mosol

INTERACTION OF THE BRAKING WHEEL AND RAIL WITH CONSIDERATION OF SLIDING IN THE CONTACT SPOT

Abstract. The article describes the essence of the creep (pseudo-slip) phenomenon, using Carter's hypothesis a differential equation is compiled for the "fast" variable of the relative slip of a wheel pair on the rails, a "rigid" system of differential equations is derived that describes the movement of a vehicle as part of a train, allowing one to estimate the slip of a wheel pair on the rails and take it into account in more complex calculations of the interaction of a braking wheel and a rail.

Keywords: Creep, braking wheel, system of equations, wheelset, rail.

For citation: *Sergeev, P. B.* Interaction of a Braking Wheel and Rail with Consideration of Sliding in the Contact Spot / *P. B. Sergeev, V. P. Kluka, S. A. Mosol* // *Trudy Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobseniya.* – 2024. – № 4. – P. 123 – 127.

Сведения об авторах

Сергеев Павел Борисович

Омский государственный университет
путей сообщения (ОмГУПС),
кафедра «Вагоны и вагонное хозяйство»,
кандидат технических наук, доцент, доцент,
e-mail: Sergeevpb78@mail.ru

Клюка Владислав Петрович

Омский государственный университет
путей сообщения (ОмГУПС),
кафедра «Вагоны и вагонное хозяйство»,
кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой
e-mail: vklyuka@mail.ru

Мосол Сергей Андреевич

Омский государственный университет
путей сообщения (ОмГУПС),
кафедра «Вагоны и вагонное хозяйство»,
старший преподаватель, заведующий
лабораториями,
e-mail: bam1979-2005@yandex.ru

Information about the authors

Sergeev Pavel Borisovich

Omsk State Transport University (OSTU),
Chair «Car and Car Economy»,
Candidate of Technical Sciences, Associate
Professor, Associate Professor,
e-mail: Sergeevpb78@mail.ru

Kluka Vladislav Petrovich

Omsk State Transport University (OSTU),
Chair «Car and Car Economy»,
Candidate of Technical Sciences, Associate
Professor, Head of Chair,
e-mail: vklyuka@mail.ru

Mosol Sergei Andreevich

Omsk State Transport University (OSTU),
Chair «Car and Car Economy»,
Senior Lecturer, Head of Laboratories,
e-mail: bam1979-2005@yandex.ru

УДК 629.439: 621.318.1

*А. С. Тычков, А. А. Строганова***ВОЗМОЖНОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ МАГНИТНОГО ПОДВЕСА НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ В СЛОЖНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ**

Аннотация. В статье представлен обзор на разработки в области магнитной левитации, касающиеся железнодорожного транспорта. Проанализированы преимущества и недостатки внедрения данной технологии. Рассмотрена возможность применения данной технологии в условиях крайнего севера и других регионов с проблемным климатом. Сделаны выводы о целесообразности внедрения данных разработок.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, технология магнитной левитации, стратегия развития ОАО «РЖД», «Росмаглев», развитие Арктики.

Для цитирования: Тычков, А. С. Перспективы реализации магнитной технологии на железнодорожном транспорте в условиях вечной мерзлоты / А. С. Тычков, А. А. Строганова // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2024. – № 4. – С. 128 – 132.

На протяжении последних пятидесяти лет регулярно поднимается вопрос внедрения такого технического усовершенствования транспортной системы, как снабжение некоторых наиболее популярных транспортных средств системами магнитной левитации. Магнитолевитационные проекты чаще всего касаются автомобильного и железнодорожного транспорта. Уже созданы модели, конструкционная скорость которых будет превышать 500 км/ч. В настоящее время в мире наиболее популярны три вида реализации магнитного подвеса поездов (рис.1).

**Рис. 1. Виды магнитного подвеса**

Исследование влияния внедрения магнитной левитации на транспортную систему и создание первых опытных моделей и даже функционирующих систем принадлежит в первую очередь таким странам как Япония, Германия, США, Китай, Великобритания. Россия также вела разработки магнитолевитационного транспорта еще со времен СССР, но практической реализации они пока не имеют.

Указанные выше факты показывают, что вопрос внедрения технологии магнитной левитации в транспортную сферу очень актуален, особенно для нашей страны. Технология магнитного подвеса имеет ряд преимуществ по отношению к обычному железнодорожному транспорту. Но также у этой технологии есть и существенные недостатки (рис.2).

Достоинства	Недостатки
Отсутствие трения с поверхностью рельса	Необходимость создания новой инфраструктуры (путевой и энергетической)
Наиболее высокая скорость в сравнении с другими видами транспорта	Зависимость от климатических условий. Серьезные последствия возможных аварийных ситуаций
Относительно высокая эффективность системы	Значительные экономические затраты на инфраструктуру и потери электроэнергии в процессе осуществления электроснабжения
Экологическая безопасность в сравнении с автономным транспортом на традиционном топливе	Электромагнитное загрязнение

Рис. 2. Особенности технологии магнитного подвеса

При анализе причин, препятствующих развитию поездов на магнитной подушке, было разобрано несколько ключевых моментов. Во-первых, ссылаясь на слова главы Всемирной ассоциации маглева Йоханнеса Ключшписа, внедрение новых технологий не выгодно для владельцев системы "колесо-рельс" [1]. При переходе к системе магнитной левитации многим заводам придется либо экстренно переквалифицироваться на создание новых средств тяги, новых путей. Или закрываться совсем, что принесет их владельцам колоссальные убытки. Вторая причина заключается в больших финансовых вложениях, ведь внедрение поездов на магнитной левитации потребует модернизацию или полную замену существующего рельсового полотна, создание нового парка поездов, постройку необходимых объектов инфраструктуры и сопутствующих сооружений. Осложняется все и тем, что многочисленные детали и оборудование, по крайней мере, первое время, нужно будет закупать за рубежом, что в настоящее время несколько осложнено.

Во всем мире идет активное создание моделей движущих средств на магнитной подушке. В России есть свой проект поездов, использующих технологию магнитной левитации [2]. Принципиальное отличие данной технологии от реализуемых в других странах – совмещение электромагнитов и постоянных магнитов. Основная нагрузка приходится на постоянный магнит, регулирование же силы магнитного поля осуществляется электромагнитом. Колебание силы магнитного поля в зависимости от ситуации приводит к постоянству расстояния между поездом и путём. Недостатком мощных постоянных магнитов является их недолговечность, но учёные создали альтернативу, которая называется «магнитная сборка» - не один большой магнит, а значительное число элементов малого размера. Данная технология получила название «Росмаглев», была запатентована и стала третьей существующей технологией магнитной левитации [3].

Министерство транспорта России поддержало проект, реализующий технологию магнитной левитации на российских поездах. Планируется строительство тестовых полигонов

в Санкт-Петербурге и в Республике Саха (Якутия). Основной упор будет сделан на грузовых перевозках, но в последствии по этим маршрутам можно будет запустить и пассажирское сообщение.

Не случайно был выбран второй регион, где климатические условия являются лучшим испытанием эффективности российской технологии магнитной левитации. Если маглев зарекомендует свое целесообразное применение в условиях вечной мерзлоты, то это станет толчком для массового строительства железнодорожных линий в регионах с суровыми климатическими условиями, где на данный момент очень низкий процент железнодорожных линий. Причем применяться на этом участке будут беспилотные средства.

На протяжении длительного времени встает вопрос об интенсификации использования территорий Крайнего Севера, Сибири и Дальнего Востока. Развитие Арктики и северных регионов нашей страны является одной из приоритетных задач современности. Для добычи полезных ископаемых, большая доля которых сосредоточена именно в северных регионах, требует создания обширной транспортной сети. Проблемой данных земель является специфика грунта – вечная мерзлота, заболоченность, карстовые процессы. Строительство классических железных дорог может стать причиной экологической катастрофы в регионах с вечной мерзлотой.

Строительство линий для движения маглевок в условиях вечной мерзлоты имеют определённые преимущества перед строительством обычных железнодорожных линий. Во-первых, одним из преимуществ является площадь контакта магнитов с рельсом. Железнодорожный транспорт осуществляет контакт с рельсом через относительно небольшой участок колеса. В свою очередь маглев контактирует всей площадью магнита. Нагрузка на путь получается около одного килограмма на квадратный сантиметр пути. У обычного же поезда эта величина увеличивается в несколько раз (5-10 кг на кв. см.). Чем равномернее распределяется нагрузка на путь, тем меньше проблем в движении будет у поезда в экстремальных условиях.

Еще одной проблемой, с которой сталкиваются современные поезда в озвученных регионах это создание нагонной волны от колеса. Верхняя часть балластного слоя подвержена деформациям, которые вызваны нагонной волной. Амплитуда нагонной волны увеличивается, когда скорости движения нагрузки и распространения сдвигов грунтов совпадают. Увеличение амплитуды приводит к увеличению влияния на балластный слой. Введение в использование маглевок поможет избежать нагонных волн, так как исключает возникновение колебаний. Соответственно будет меньше влияния на грунт и меньше разрушение балластного слоя.

На маглевах гораздо эффективнее можно применять беспилотные технологии, что также является несомненным преимуществом в условиях вечной мерзлоты, когда условия труда являются тяжелыми для обычного человека.

Основным требованием для строительства транспортной сети является минимизация нагрузок на землю. Добиться этого можно с помощью строительства эстакад. Кроме того, их преимуществом является обход проблем, связанных со слабым грунтом – трудностями при строительстве из-за низкой прочности и вязкости грунта. Эстакады позволят обходить данные участки, тогда как существующие технологии предполагают вмешательство и замену грунта на более устойчивый. Эстакады помогут избежать влияния на природу и не менять характерный для данных территорий грунт.

Но установка свай, хоть и позволяет избежать лишних нагрузок на грунт, нарушает температурный режим мерзлоты. Соответственно это приводит к тому, что происходит таяние мерзлоты вблизи установленных свай и смещение подтаявшего грунта. Чтобы избежать этой проблемы предлагается встраивать в сваи специальные температурные стабилизаторы, которые будут поддерживать необходимый температурный режим.

Кроме этого, с помощью эстакад можно будет создавать кратчайшие пути для связи конечных точек маршрута, создавать максимально короткие магистральные линии. Но на

данном этапе говорить о таком масштабном строительстве еще рано. Первые пробные участки пути будут строиться по классическим технологиям.

Реализация данного проекта в нынешних условиях возможна. На территории Российской Федерации успешно функционирует несколько заводов, специализирующихся на производстве постоянных магнитов. Существенным недостатком является тот факт, что часть комплектующих проекта закупается из-за рубежа. Но внедрение магнитной левитации, основанной на российской технологии, должно стать стимулом к созданию и модернизации многих производств. Независимость от зарубежных технологий позволит легко регулировать направление транспортных потоков.

Несомненно, встанет вопрос об обеспечении магнитолевитационных линий питанием. Но и у данной проблемы есть решение. Ведутся научные изыскания в области извлечения электрической энергии из ионосферы. На высотах более 100 километров над землей протекают токи, электростанция должна будет поглощать, и преобразовывать электромагнитную энергию околоземного космического пространства в технический ток. Наибольший ток можно получить во время магнитных бурь, поэтому в других зонах добыча этой энергии не имеет смысла, однако в районах севера наблюдается непостоянство напряженности магнитного поля, изменение которого приводит к возникновению тока. В настоящее время над данными разработками трудятся и российские физики из института прикладной геофизики им. академика Е.К. Федорова.

На данный момент многие компании обращаются к технологии магнитных подвесов. Введение маглевов в эксплуатацию ведет за собой необходимость модернизации железнодорожного полотна, что является достаточно дорогостоящим. Однако, модернизацию железнодорожных путей в нашей стране можно назвать даже необходимостью, ведь классическая технология строения пути из-за особенности грунта отдельных территорий достаточно дорогостоящая и требует замены грунта, а значительные перепады температур в некоторых регионах приводят к смещению полотна до 4 метров [4]. Маглевы, если не затрагивать технологии модернизации современных путей, требуют строительства специальных эстакад, что является более затратным по сравнению с классической технологией, но в перспективе данное техническое решение достаточно быстро окупится.

Кроме того, технология магнитной левитации является одной из самых оптимальных для северных регионов нашей страны. Современные железные дороги в экстремальных условиях требуют больших финансовых затрат из-за своей недолговечности. Её применение поможет быстрее освоить районы вечной мерзлоты и болотистого грунта. Что в свою очередь приведет к более эффективной добыче полезных ископаемых, в число которых входят также редкоземельные металлы, необходимые для создания сильных магнитов, которые как раз и применяются в маглевах.

Поезда, использующие магнитную левитацию для движения, достаточно перспективное направление, на которое стоит обратить внимание специалистам транспортникам, а также продолжать начатые изыскания для определения экономической целесообразности в рамках перспектив развития железнодорожной отрасли в целом [5].

Библиографический список

1. Шумейко, И. Магнитный путь между небом и землей / Шумейко И. [Электронный ресурс] // РЖД Компания: [сайт]. — URL: <https://company.rzd.ru/ru/9401/page/78314?id=188056> (дата обращения: 10.10.2024).
2. Смирнов Сергей Александрович, Смирнова Ольга Юрьевна «РОССИЙСКИЙ МАГЛЕВ» В ЕДИНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЕ СТРАНЫ // ИТСТ. 2022. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rossiyskiy-maglev-v-edinoy-transportnoy-sisteme-strany> (дата обращения: 11.11.2024).

3. **Ульянов, Н.** Магнит тянет в полет / Ульянов Н. [Электронный ресурс] // Монокль: [сайт]. — URL: <https://monocle.ru/expert/2021/18/magnit-tyanet-v-polet/> (дата обращения: 10.10.2024).
4. Использование магнитного поля Земли в решении проблем районов Крайнего Севера / П. И. Коробко, В. М. Фролова, И. А. Лобанов [и др.]. — Текст: непосредственный // Юный ученый. — 2016. — № 5 (8). — С. 62-68. — URL: <https://moluch.ru/young/archive/8/557/> (дата обращения: 11.11.2024).
5. Стратегия развития железнодорожного транспорта в РФ до 2030 года. Утверждена Распоряжением Правительства РФ от 17 июня 2008 г. № 877-р. — URL: <https://mintrans.gov.ru/documents/1/1010?ysclid=m2alstujbj362863919> (дата обращения: 10.10.2024).

A. S. Tychkov, A. A. Stroganova

THE POSSIBILITIES OF IMPLEMENTING MAGNETIC SUSPENSION TECHNOLOGY IN RAILWAY TRANSPORT IN DIFFICULT CLIMATIC CONDITIONS

Abstract. The article provides an overview of developments in the field of magnetic levitation related to railway transport. The advantages and disadvantages of the implementation of this technology are analyzed. The possibility of using this technology in the conditions of the Far North and other regions with a problematic climate is considered. Conclusions are drawn about the expediency of implementing these developments.

Keywords: railway transport, magnetic levitation technology, development strategy of Russian Railways, Rosmaglev, development of the Arctic.

Forcitation: A. S. Tychkov The Possibilities of Implementing Magnetic Suspension Technology in Railway Transport in Difficult Climatic Conditions / A. S. Tychkov, A. A. Stroganova // Trudy Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobseniya. – 2024. – № 4. – P. 128 – 132.

Сведения об авторах

Тычков Александр Сергеевич

Приволжский государственный университет путей сообщения (ПривГУПС), кафедра «Тяговый подвижной состав», кандидат технических наук, доцент, e-mail: a.tychkov@samgus.ru

Строганова Августа Александровна

Приволжский государственный университет путей сообщения (ПривГУПС), студент, e-mail: avgusta.stroganova@yandex.ru

Information about the authors

Tychkov Alexander Sergeevich

Volga Region State Transport University (VRSTU), Chair «Traction rolling stock», Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, e-mail: a.tychkov@samgus.ru

Stroganova Avgusta Aleksandrovna

Volga Region State Transport University (VRSTU), Student, e-mail: avgusta.stroganova@yandex.ru

УДК 629.4.027.512

С. Г. Шантаренко, В. Ф. Кузнецов, А. А. Бакланов

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ИЗНАШИВАНИЯ БАНДАЖЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР ЭЛЕКТРОВЗОВ ЭП2К

Аннотация. Результаты анализа распределений времени эксплуатации электровозов ЭП2К приписного парка эксплуатационного локомотивного депо Барабинск на участках Урало-Сибирского региона показали, что с 2015 года электровозы ЭП2К стали эксплуатироваться кроме Западно-Сибирской и Свердловской, также на Южно-Уральской и Куйбышевской железных дорогах.

Как показал анализ плана и профиля пути на полигоне эксплуатации электровозов ЭП2К кривые малых радиусов (менее 400 м) преобладают на Южно-Уральской и Куйбышевской железных дорогах (до 50 % протяженности тяговых плеч), что привело к повышенному износу бандажей колесных пар электровозов ЭП2К приписного парка эксплуатационного локомотивного депо Барабинск.

Интенсивность изнашивания гребней средних колесных пар тележек выше интенсивности изнашивания гребней крайних колесных пар в 9,5 раз. Следовательно, средние колесные пары во столько же раз чаще обтачиваются по сравнению с крайними колесными парами. Если принять минимальную предельную толщину гребня бандажа средних колесных пар тележек, равную 21 мм, то в этом случае при прочих равных условиях ресурс бандажа возрастет на 147015 км.

Ключевые слова: колесная пара, бандаж колеса, гребень бандажа, кривые рельсового пути, износ гребня, ресурс бандажа.

Для цитирования: Шантаренко С. Г. Исследование интенсивности изнашивания бандажей колесных пар электровозов ЭП2К / С. Г. Шантаренко, В. Ф. Кузнецов, А. А. Бакланов // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2024. – № 4. – С. 133 – 139.

Пассажирские электровозы постоянного тока ЭП2К начали выпускаться серийно с 2008 года Коломенским заводом совместно с Новочеркасским электровозостроительным заводом и Калужским научно-производственным электромеханическим заводом. Конструкция механической части электровоза ЭП2К в основном такая же, как у пассажирского тепловоза ТЭП70БС. Локомотив односекционный, шестиосный с двумя трехосными тележками, тяговым приводом 3-го класса с опорно-рамным подвешиванием тяговых двигателей и редукторов, двухступенчатым рессорным подвешиванием из пружин и гидравлических гасителей колебаний.

В начале эксплуатации электровозы ЭП2К использовались на Западно-Сибирской железной дороге, в дальнейшем полигоны их работы распространились на другие дороги Урало-Сибирского региона: 2008– 2010 гг. – Западно-Сибирская ж. д.; 2010 г. – Западно-Сибирская и Свердловская ж. д.; 2011 г. – Западно-Сибирская, Свердловская и Южно-Уральская ж. д. (до Челябинска); с 2015 г. – Западно-Сибирская, Свердловская, Южно-Уральская и Куйбышевская ж. д. При этом полигоны разделены на участки с учетом тяговых плеч и границ между дорогами.

Профиль и план пути участка железной дороги зависит от рельефа местности и характеризуется различными параметрами: крутизной и длиной уклонов, радиусом и длиной кривых участков пути. От профиля и плана пути во многом зависят практически все эксплуатационные показатели работы железных дорог: максимальная масса поездов, скорость их движения, время хода по участкам, расход электроэнергии на тягу и др. Профиль и план

пути также влияет на режимы работы локомотивов, их нагрузочные параметры, износ отдельных узлов (прежде всего износ колесных пар) и т. п.

Анализ параметров профиля и плана пути отдельных участков и в целом полигонов железных дорог Урало-Сибирского региона, обслуживаемых электровозами ЭП2К, полученных расчетами [1, 2] и предоставленных сервисным локомотивным депо Барабинск и филиалом «Западно-Сибирский» ООО «Локо Тех-Сервис», показывает, что участки Новосибирск-Тюмень, Новосибирск-Челябинск и Уфа-Самара имеют профиль и план пути, близкий к равнинному, с уклонами крутизной в основном до 4...5 ‰. На этих участках суммарная длина кривых составляет 0,06...0,17 от общей длины участка, средний радиус кривых – 900...2300 м, средний угол кривых, приходящийся на 1 км длины всего участка, – 0,03...0,17 рад/км.

На остальных участках полигонов работы электровозов ЭП2К, к которым относятся участки Мариинск-Новосибирск, Тюмень-Балезино, Челябинск-Уфа, преобладает холмистый профиль и план пути с уклонами крутизной до 9...10 ‰. На этих участках суммарная длина кривых составляет 0,24...0,63 от общей длины участка, средний радиус кривых – 470...760 м, средний угол кривых, приходящийся на 1 км длины всего участка, – 0,27...1,18 рад/км. Минимальный радиус кривых на всех рассматриваемых полигонах находится в диапазоне 220...300 м.

Таким образом, пассажирские электровозы ЭП2К приписки эксплуатационного локомотивного депо Барабинск в период 2008-2015 гг. работали на полигонах, состоящих в основном из участков со сравнительно легким профилем и планом пути, а с 2015 г. стали эксплуатироваться на полигонах, включающих большое количество участков с трудным профилем и планом пути. При этом наиболее сложными участками с многочисленными кривыми малого радиуса (менее 800 м) [3, 4] являются Екатеринбург-Пермь-Балезино Свердловской железной дороги и Челябинск-Златоуст-Кропачево Южно-Уральской железной дороги.

В кривых участках пути возникает сила дополнительного сопротивления движению, обусловленная в основном двумя факторами: трением скольжения колес по рельсам из-за разности пройденных путей (длин наружного и внутреннего рельсов) и трением скольжения гребней наружных колес по внутренним граням головок рельсов за счет центробежной силы инерции. При прохождении таких кривых малого радиуса трехосными тележками электровозов ЭП2К возникают значительные силы взаимодействия гребней колес с внутренними гранями головок рельсов и соответственно их интенсивный износ.

В этих условиях удельное дополнительное сопротивление движению

$$w_r = \frac{700}{R}, \text{ Н/кН},$$

где R – радиус кривой, м.

Полная сила дополнительного сопротивления движению

$$W_r = mgw_r \cdot 10^{-3}, \text{ кН},$$

где m – масса поезда, т;

$g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения.

Полная работа силы дополнительного сопротивления движению

$$A_r = W_r \ell_r = mgw_r \ell_r \cdot 10^{-3}, \quad \text{кДж},$$

где ℓ_r – длина кривой, м.

Удельная работа силы дополнительного сопротивления движению

$$a_r = gw_r, \text{ кДж/ткм.}$$

Анализ полученных с использованием приведенных формул [2] показателей дополнительного сопротивления движению в кривых на основных участках эксплуатации пассажирских электровозов ЭП2К показывает, что средневзвешенное удельное дополнительное сопротивление движению на участках с равнинным и равнинно-холмистым профилем и планом пути составляет $w_r = 0,3 \dots 0,8$ Н/кН, а на участках с холмистым профилем и планом пути – $w_r = 0,9 \dots 1,5$ Н/кН. Средневзвешенная удельная работа силы дополнительного сопротивления движению на участках с равнинным и равнинно-холмистым профилем и планом пути составляет $a_r = 0,2 \dots 2,0$ кДж/ткм, а на участках с холмистым профилем и планом пути – $a_r = 2,5 \dots 8,5$ кДж/ткм. Пропорционально работе силы дополнительного сопротивления движению увеличивается трение при взаимодействии колес с рельсовой колеёй и возрастает их износ. Поэтому при эксплуатации электровозов ЭП2К на участках Мариинск-Новосибирск, Тюмень-Балезино, Челябинск-Уфа с холмистым профилем и планом пути происходит наибольший износ колес по кругу катания и гребням.

По данным сервисного локомотивного депо Барабинск и филиала «Западно-Сибирский» ООО «ЛокоТех-Сервис» в начальный период эксплуатации электровозов ЭП2К с 2010 г. до 2015 г. на полигонах Западно-Сибирской, Свердловской, Южно-Уральской (до Челябинска) железных дорог интенсивность изнашивания гребней колесных пар составляла $0,118 \dots 0,139$ мм/10⁴ км и в 2014 г. достигла $0,157$ мм/10⁴ км.

Расширение полигона эксплуатации электровозов ЭП2К на Южно-Уральскую и Куйбышевскую железные дороги привело к увеличению интенсивности изнашивания гребней колесных пар с $0,178$ мм/10⁴ км в 2015 г. до $0,444$ мм/10⁴ км в 2021 г., т. е. в 2,5 раза. В результате произошло снижение ресурса бандажей колесных пар с 1523 тыс. км в 2010 г. до 729 тыс. км в 2021 г., т. е. в 2,1 раза. При этом большая часть обточек колесных пар (46 % от общего количества) приходится на 2-ю и 5-ю колесные пары из-за предельного износа гребней.

Количество обточек колесных пар постепенно электровозов ЭП2К приписки локомотивного депо Барабинск увеличивается со 141 обточки в 2010 г. до 3349 обточек в 2021 г., т. е. в 23,8 раза. Соответственно возрастает и количество обточек колесных пар на один электровоз приписного парка с 1,7 обточек в 2010 г. до 14,4 обточек в 2021 г.

Такие изменения показателей износа колесных пар в основном обусловлены расширением полигонов эксплуатации электровозов ЭП2К, т. е. продолжительной их работой на участках с трудным профилем и планом пути в регионах Свердловской, Южно-Уральской и Куйбышевской железных дорог. Следует отметить, что общий объем работы, в том числе линейный пробег электровозов ЭП2К на этих дорогах значительно больше по сравнению с Западно-Сибирской железной дорогой, поскольку их протяженность и соответственно количество проводимых на них пассажирских поездов в три с лишним раза больше.

Связь параметров износа и обточек колесных пар электровозов ЭП2К с параметрами плана пути участков работы электровозов в разные периоды их эксплуатации наглядно характеризуют данные, приведенные в таблице, которые свидетельствуют о прямой зависимости износа колесных пар электровозов от трудности профиля и плана пути.

Анализ отчетных данных по износу колесных пар электровозов ЭП2К приписки эксплуатационного локомотивного депо Барабинск показал, что по сравнению с начальным периодом их работы до 2015 года ресурс бандажей колесных пар сократился вдвое и составил 729 тыс. км в 2021 г. и 610 тыс. км за 10 месяцев 2022 г.

При этом значительно увеличилось количество обточек колесных пар, 46 % которых приходится на 2-ю и 5-ю колесные пары из-за предельного износа гребней, что привело к сокращению ресурса бандажей. Такие результаты связаны с интенсивной эксплуатацией

электровозов ЭП2К на участках с трудным профилем и планом пути Свердловской и особенно Южно-Уральской и Куйбышевской железных дорогах.

Ситуация с повышенным износом бандажей колесных пар электровозов ЭП2К приписки ТЧэ Барабинск сохраняется и в настоящее время. Так в 2023 году было выполнено 1615 обточек бандажей по причине предельного износа гребня, а за 10 месяцев 2024 года – 1630 обточек.

Одним из путей повышения ресурса бандажей колесных пар электровозов ЭП2К является сокращение количества их обточек за счет установления меньшей предельной толщины гребня, при которой должна производиться обточка.

В настоящее время минимальная предельная толщина гребня бандажа, при достижении которой производится обточка бандажей, составляет 25 мм [5]. Полная толщина гребня бандажа 33 мм, следовательно, гребень изнашивается до обточки на 8 мм.

По данным 2021 года интенсивность изнашивания гребней бандажей колес электровозов ЭП2К составила $0,444 \text{ мм}/10^4 \text{ км}$, ресурс бандажа – 729 тыс. км; пробег электровоза до обточки бандажа 180180,2 км; количество обточек бандажа до истощения ресурса – 4,05.

Поскольку толщина бандажа до полного износа составляет $90 - 45 = 45 \text{ мм}$ [5], следовательно, за одну обточку с поверхности катания бандажа срезается в среднем слой металла толщиной $45/4,05 = 11,12 \text{ мм}$.

Оценим увеличение ресурса бандажа электровоза ЭП2К в случае, если минимальная предельная толщина гребня бандажа, при достижении которой необходимо производить обточку бандажей, будет 21 мм, как для электровоза ЧС2 [5]. При этом износ гребня до обточки увеличится на 4 мм и составит 12 мм.

Как указано выше количество обточек средних (2-й и 5-й по ходу движения) колесных пар тележек составляет 46 % от общего количества обточек. Приняв интенсивность изнашивания гребней $0,444 \text{ мм}/10^4 \text{ км}$ (показатель 2021 года), запишем уравнение:

$$0,54I_1 + 0,46I_2 = 0,444,$$

где I_1 – интенсивность изнашивания гребней 1, 3, 4 и 6 колесных пар;

I_2 – интенсивность изнашивания гребней 2 и 5 колесных пар.

Поскольку 2-я и 5-я колесные пары тележек составляют $1/3$ от общего количества колесных пар электровоза, запишем уравнение:

$$0,667I_1 + 0,333I_2 = 0,444.$$

Таким образом, получена система из двух уравнений:

$$\begin{aligned} 0,54I_1 + 0,46I_2 &= 0,444; \\ 0,667I_1 + 0,333I_2 &= 0,444, \end{aligned}$$

после решения которой находим интенсивности изнашивания гребней бандажей колес электровозов ЭП2К:

$I_1 = 0,116 \text{ мм}/10^4 \text{ км}$ – для 1, 3, 4 и 6 колесных пар;

$I_2 = 1,101 \text{ мм}/10^4 \text{ км}$ – для 2 и 5 колесных пар.

Интенсивность изнашивания гребней средних колесных пар тележек выше интенсивности изнашивания гребней крайних колесных пар в 9,5 раз. Следовательно, средние колесные пары во столько же раз чаще обтачиваются по сравнению с крайними колесными парами.

Если принять минимальную предельную толщину гребня бандажа средних колесных пар тележек, равную 21 мм, то пробег электровоза ЭП2К до обточки бандажей увеличится на

$3,63 \cdot 10^4$ км. При прочих равных условиях ресурс бандажа в этом случае возрастет на 147015 км.

Выводы

Износ колесных пар локомотивов определяется их взаимодействием с рельсовой колеей и зависит от массы и скорости движения поездов, трудности профиля и плана пути и других факторов. В пассажирском движении массы и скорости движения поездов меняются сравнительно в небольших диапазонах, поэтому при прочих равных условиях износ колесных пар пассажирских локомотивов при эксплуатации на больших полигонах определяется в основном профилем и планом пути участков железных дорог.

Значительно возросший в настоящее время износ бандажей колес электровозов ЭП2К приписки ТЧэ Барабинск обусловлен более трудным профилем и планом пути участков Свердловской, Куйбышевской и Южно-Уральской железных дорог, протяженность которых по сравнению с Западно-Сибирской железной дорогой в три с лишним раза больше. Соответственно пробег, время работы и количество проводимых на них пассажирских поездов электровозами ЭП2К примерно во столько же раз больше.

Таблица

Параметры плана пути участков работы электровозов ЭП2К и износа их колесных пар

Год	Полигон работы электровозов	Длина полигона, км	Длина кривых, км	Центральный угол кривых, рад/км	Средний радиус кривой, м	Удельная работа сил дополнительно сопротивления движению от кривых, кДж/ткм	Среднесуточный пробег на один электровоз приписного парка, км	Интенсивность изнашивания гребней бандажей, мм/104 км	Ресурс бандажа, тыс. км	Кол-во обточек колесных пар на один электровоз, ед.
2010	ЗСЖД	992	197,26	0,227	877	1,56	905,6	0,138	1533	1,7
2011	ЗСЖД,	3312	757,81	0,272	843	1,86	660,2	0,139	1410	3,0
2012	СвЖД,						496,4	0,118	1832	4,0
2013	ЮУЖД						633,6	0,124	1824	4,7
2014	(до Челябинска)						482,9	0,157	1565	5,9
2015	ЗСЖД, СвЖД, ЮУЖД, КбшЖД	4327	1066,2	0,327	753	2,25	408,9	0,178	1505	5,1
2016							429,2	0,235	1220	7,6
2017							532,7	0,297	1099	13,4
2018							536,1	0,313	884	10,2
2019							518,6	0,323	880	13,1
2020							415,3	0,444	729	14,4
2021							457,6	0,510	610	9,2

Более интенсивное изнашивание гребней средних колесных пар по сравнению с крайними колесными парами трехосных тележек электровозов ЭП2К в основном обусловлено большими силами взаимодействия гребней колес с рельсовой колеей в кривых минимального радиуса 200 – 300 м, которые имеются в основном на участках Свердловской, Южно-Уральской и Куйбышевской железных дорог.

Библиографический список

1. Правила тяговых расчетов для поездной работы / под общ. ред. Н. П. Киселева. – Москва : Транспорт, 1985. – 287 с. – Текст : непосредственный.
2. Правила тяговых расчетов для поездной работы : утверждено распоряжением ОАО «РЖД» от 12.05.2016 № 867р. – Москва, 2016. – 515 с. – Текст : непосредственный.
3. Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации: утверждены приказом Минтранса России от 23 июня 2022 № 250 (Зарегистрировано в Минюсте России 20 июля 2022 г. рег. № 69324) // Министерство транспорта Российской Федерации. – Бюллетень нормативных актов федеральных органов исполнительной власти. – № 12. – 2022. – Текст : непосредственный.
4. Астахов, П. Н. Справочник по тяговым расчетам / П. Н. Астахов, П. Т. Гребенюк, А. И. Скворцова. – Москва : Транспорт, 1973. – 256 с. – Текст : непосредственный.
5. Инструкция по осмотру, освидетельствованию, ремонту и формированию колесных пар локомотивов и моторвагонного подвижного состава железных дорог колеи 1520 мм : утверждена распоряжением ОАО «РЖД» от 22.12.2016 № 2631р. – 126 с. – Текст : непосредственный.

S. G. Shantarenko, V. F. Kuznetsov, A. A. Baklanov

WEAR INTENSITY STUDY WHEEL SETS OF ELECTRIC LOCOMOTIVES EP2K

Abstract. The results of the analysis of the distribution of the operating time of EP2K electric locomotives of the assigned fleet of the Barabinsk operational locomotive depot in the sections of the Ural-Siberian region showed that since 2015, EP2K electric locomotives have been operated in addition to the West Siberian and Sverdlovsk railways, also on the South Ural and Kuibyshev railways.

As the analysis of the plan and profile of the track at the EP2K electric locomotive operation range, curves of small radii (less than 400 m) prevail on the South Ural and Kuibyshev railways (up to 50% of the length of traction arms), which led to increased wear of the tires of the wheelsets of EP2K electric locomotives of the assigned fleet of the Barabinsk operational locomotive depot.

The intensity of wear of the flanges of the middle wheelsets of bogies is 9.5 times higher than the intensity of wear of the flanges of the outer wheelsets. Consequently, the middle wheelsets are as often turned as the outer wheelsets. If we take the minimum maximum thickness of the flange of the trough of middle wheelsets of bogies, equal to 21 mm, then in this case, other things being equal, the service life of the drum will increase by 147015 km.

Keywords: wheelset, wheel bandage, trum flange, track curves, flange wear, drum life.

For citation: Shantarenko S. G. Wear Intensity Study Wheel Sets of Electric Locomotives EP2K / S. G. Shantarenko, V. F. Kuznetsov, A. A. Baklanov // Trudy Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobseniya. –2024. – No 4. – P. 133 – 139.

Сведения об авторах

Шантаренко Сергей Георгиевич
Омский государственный университет путей

Information about the authors

Shantarenko Sergey Georgievich
Omsk State Transport University (OSTU),

сообщения (ОмГУПС),
кафедра «Технологии транспортного
машиностроения и ремонта подвижного
состава»,
доктор технических наук, профессор,
e-mail: ShantarenkoSG@omgups.ru

Кузнецов Виктор Федорович

Омский государственный университет путей
сообщения (ОмГУПС),
кафедра «Высшая математика»,
кандидат технических наук, доцент, доцент
e-mail: krupskoi1-301@mail.ru

Бакланов Александр Алексеевич

Омский государственный университет путей
сообщения (ОмГУПС),
кафедра «Подвижной состав электрических
железных дорог»,
кандидат технических наук, доцент, доцент,
e-mail: aleksbakl@mail.ru

Chair «Technologies of transport engineering
and rolling stock repair»,
Doctor of Technical Sciences, Professor,
e-mail: ShantarenkoSG@omgups.ru

Kuznetsov Victor Fedorovich

Omsk State Transport University (OSTU),
Chair «Higher Mathematics»,
Candidate of Technical Sciences, Associate
Professor, Associate Professor,
e-mail: krupskoi1-301@mail.ru

Baklanov Aleksandr Alekseevich

Omsk State Transport University (OSTU),
Chair «Rolling Stock Electric Railways»,
Candidate of Technical Sciences, Associate
Professor, Associate Professor,
e-mail: aleksbakl@mail.ru

Научное издание

**ТРУДЫ
Ростовского государственного университета
путей сообщения**

Научно-технический журнал

№ 4 (69)
2024

**Полнотекстовая версия статей находится в открытом доступе на сайте
Российской научной электронной библиотеки: www.elibrary.ru
Журнал обрабатывается в системах индексов научного цитирования
РИНЦ и Science Index**

Оригинал-макет журнала подготовлен Т. З. Талахадзе

Подписано в печать 28.12.2024.	Формат 60×84/8.	Бумага офсетная.
Дата выхода в свет 28.12.2024.	Усл. печ. л. 16.17.	Изд. № 60.
Печать офсетная.	Тираж 510 экз.	Заказ 11697.
Знак информационной продукции 16+.	Цена свободная.	

**Учредитель:
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Ростовский государственный университет путей сообщения»
(ФГБОУ ВО РГУПС)**

**Адрес университета, издателя, редакции, типографии:
344038, Ростовская область, городской округ г. Ростов-на-Дону, г. Ростов-на-Дону,
пл. Ростовского Стрелкового Полка
Народного Ополчения, зд. 2.
Тел. редакции +7 (863) 272-62-74, факс +7 (863) 255-37-85.
E-mail: nis@rgups.ru**