

А.А. Миронов, В.Л. Образцов, А.Э. Павлюков

## ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА



БЕСКОНТАКТНОГО ТЕПЛОВОГО  
КОНТРОЛЯ БУКСОВЫХ УЗЛОВ  
В ПОЕЗДАХ

2012

**УДК 629.4.027.117.2**

А.А. Миронов, В.Л. Образцов, А.Э. Павлюков. Теория и практика бесконтактного теплового контроля буксовых узлов в поездах. – Екатеринбург: РПФ «Ассорти», 2012. – 396 с.

Рассмотрены физические процессы, происходящие в буксовых узлах, и характеристики теплового излучения, приводятся результаты экспериментальных и теоретических исследований буксовых узлов в контексте тепловой диагностики, анализируется устройство основных современных зарубежных и отечественных автоматизированных систем бесконтактного контроля ходовых частей по инфракрасному излучению, излагаются основные результаты эксплуатации систем теплового контроля на железных дорогах.

Предназначается для широкого круга специалистов, занимающихся эксплуатацией и проектированием аппаратуры теплового контроля, а также подвижного состава железных дорог, научных работников, преподавателей, аспирантов и студентов железнодорожных вузов.

Рецензенты:

Кафедра «Вагоны и вагонное хозяйство» Иркутского государственного университета путей сообщения, зав. кафедрой доктор технических наук Н.Н. Пашков

**ISBN 978-5-88664-399-2**

---

<b>ВВЕДЕНИЕ .....</b>	10
<b>1. ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ БУКСОВЫХ УЗЛОВ</b>	15
1.1. Особенности конструкции буксовых узлов.....	15
1.2. Основные неисправности буксового узла и причины разрушения роликовых подшипников.....	26
1.3. Буксовый узел как объект теплового контроля....	47
1.4. Экспериментальные исследования тепловых режимов работы буксового узла.....	79
<b>2. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ БЕСКОНТАКТНОГО ТЕПЛОВОГО КОНТРОЛЯ БУКС</b>	92
2.1. Физические принципы бесконтактного теплового контроля букс .....	92
2.2. Виды приемников ИК излучения и методы бесконтактного измерения температуры .....	105
2.3. Критерии оценки работоспособности буксовых узлов.....	111
2.4. Вероятностный характер оценки результатов теплового контроля буксовых узлов .....	125
<b>3. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕПЛОВОГО КОНТРОЛЯ БУКСОВЫХ УЗЛОВ .....</b>	152
3.1. Общая схема и задачи моделирования.....	152
3.2. Моделирование движения единицы подвижного состава (блок 1) .....	159
3.3. Термомеханическая модель работы буксового узла (блок 2).....	163
3.3.1. Модель распределения температур в буксовом узле.....	165
3.3.2. Расчет тепловых потоков, действующих на поверхности подшипника .....	168

---

3.3.3. Расчет теплоотдачи с наружных поверхностей буксы во внешнюю среду с учетом обтекания потоком воздуха при движении.....	177
3.3.4. Определение параметров трения в термомеханической модели.....	178
3.4. Модель сканирования буксы подвижной единицы приемником ИК излучения (блок 3).....	178
3.4.1. Определение положения узлов конечно- элементной модели буксы в общей системе координат .....	180
3.4.2. Определение списка конечных элементов в зоне контроля приемника ИК излучения .....	183
3.4.3. Расчет средней температуры поверхности буксы в зоне контроля.....	185
3.4.4. Определение интервала времени контроля буксового узла .....	185
3.5. Моделирование ИК излучения с зоны сканирования и определения нагрева буксы (блок 4) .....	186

---

<b>4. РЕШЕНИЕ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ ТЕПЛОВОГО КОНТРОЛЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ МОДЕЛИРОВАНИЯ .....</b>	<b>193</b>
4.1. Оценка контролепригодности разнородного подвижного состава .....	193
4.2. Исследование взаимовлияния нагрева смежных деталей ходовых частей и буксы .....	208
4.2.1. Оценка степени влияния нагрева колеса на нагрев корпуса буксы .....	208
4.2.2. Оценка влияния нагрева буксы на элементы колеса .....	218

---

---

4.3. Повышение информативности сканирования буксы приемником излучения .....	225
4.4. Применение численного моделирования для исследования процессов теплового контроля ....	229

## **5. ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ БЕСКОНТАКТНОГО ТЕПЛОВОГО КОНТРОЛЯ ХОДОВЫХ ЧАСТЕЙ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА** 243

5.1. История создания отечественных систем теплового контроля.....	243
5.2. Устройство и принцип действия микропроцессорного комплекса КТСМ-01Д .....	254
5.3. Устройство и принцип действия многофункционального микропроцессорного комплекса КТСМ-02 .....	260
5.3.1. Устройство и работа подсистемы КТСМ-02БТ .....	272
5.3.2. Устройство и принцип работы станционного оборудования КТСМ и АРМ ЛПК.....	289
5.3.3. Сравнение КТСМ-02БТ, КТСМ-01Д и ДИСК2-БТ.....	296
5.4. Автоматизированная система централизованного контроля подвижного состава АСК ПС.....	300
5.4.1. Структура АСК ПС.....	300
5.4.2. Автоматизированное рабочее место ЦПК ..	307
5.4.3. Особенности формирования тревожной сигнализации в АРМ ЛПК и АРМ ЦПК при отображении нагрева букс в градусах .....	313
5.5. Особенности построения средств теплового контроля на железных дорогах мира .....	316

---

<b>6. ЭКСПЛУАТАЦИЯ СРЕДСТВ ТЕПЛОВОГО КОНТРОЛЯ ХОДОВЫХ ЧАСТЕЙ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА НА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГАХ РОССИИ .....</b>	<b>337</b>
6.1. Оптимизация размещения и настройки средств теплового контроля на участках безостановочного движения поездов .....	337
6.2. Особенности тепловых режимов работы разнотипных подшипников в условиях эксплуатации .....	341
6.3. Влияние обновления средств теплового контроля на эксплуатационную надежность оборудования.....	352
6.4. Влияние объемов внедрения КТСМ и АСК ПС на снижение задержек поездов и отцепок вагонов на гарантийных участках .....	356
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....</b>	<b>364</b>
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....</b>	<b>384</b>

---

## **ВВЕДЕНИЕ**

Техническое состояние ходовых частей подвижного состава, в частности, тележек, колесных пар и буксовых узлов оказывает решающее влияние на безопасность движения поездов. На буксовый узел приходится от 30 до 60% от общего количества браков по вагонному хозяйству. Значительная часть неисправностей буксовых узлов в пути следования связана с повышением нагрева подшипников, что может привести к их разрушению и последующему «горячему» излому шейки оси колесной пары с тяжелыми последствиями.

Контроль состояния буксовых узлов в эксплуатации производится осмотрщиками вагонов визуально на пунктах технического обслуживания (ПТО), а на подходах к ПТО и на промежуточных станциях (перегонах) – напольными системами бесконтактного теплового контроля (СТК) по инфракрасному (ИК) излучению букс и колес проходящих поездов. Напольные СТК являются распределенными по участкам безостановочного движения поездов системами, расположенными на расстоянии один от другого 20 – 50 км. В эксплуатации задача теплового контроля сводится к тому, чтобы по нагреву доступных для сканирования средствами ИК-техники внешних поверхностей корпусов букс и элементов колес оценивать состояние подшипников и тормозного оборудования вагонов.

Бортовые системы контроля (БСК) с непрерывным контролем температуры подшипников используются в ограниченном количестве на подвижном составе с источниками электроэнергии: на локомотивах, на пассажирских вагонах и на вагонах скоростных электропоездов. По существу, напольные СТК на Российских железных дорогах и большинстве зарубежных дорог являются основными программно-аппаратными средствами контроля буксовых узлов и обеспечения безопасности движения поездов.

В конструкцию СТК чаще всего интегрируются подсистемы обнаружения «заторможенных» вагонов, основанные на ис-

---

пользовании тех же физических и технических принципов, что и для контроля буксовых узлов. У грузовых и пассажирских вагонов с неотпущенными тормозами во время движения колодки прижаты к ободу колеса, что вызывает значительный нагрев элементов колес и образование на поверхности катания дефектов термомеханического характера – ползунов, наваров, выщербин и, как следствие, неравномерного износа колес.

Системы теплового контроля подвижного состава позволяют своевременно выявлять возникающие в процессе эксплуатации неисправности подшипниковых (буксовых) узлов и тормозов подвижного состава и, тем самым, предупредить возникновение необратимых отказов, способных привести к авариям и крушениям со сходом подвижных единиц с рельсов.

Однако, несмотря на широкое применение СТК на железных дорогах, даже среди специалистов существуют разные взгляды на процессы, происходящие в подшипниковых узлах на различных стадиях развития неисправностей, на роль технических средств измерения, контроля, диагностики и мониторинга в процессе обеспечения безопасности движения поездов, а также на причины возможных ошибок в оценке технического состояния подшипников.

Авторы надеются, что изложенные результаты исследований в какой-то мере смогут ответить хотя бы на часть вопросов специалистов, связанных с разработкой и эксплуатацией средств теплового контроля подвижного состава, а также будут полезны студентам, аспирантам и преподавателям кафедр колледжей и университетов железнодорожного транспорта.

В основу книги положены результаты исследований авторов, выполненных совместно с учеными кафедры «Вагоны» УрГУПС и специалистами предприятия ООО «Инфотэкс Автоматика Телемеханика», которое является разработчиком микропроцессорных комплексов КТСМ-01 и КТСМ-01Д для модернизации широко распространенных ранее на железных дорогах

СССР (России и СНГ) средств контроля типа ПОНАБ-3 и ДИСК-БТ, микропроцессорных комплексов нового поколения КТСМ-02 и автоматизированной системы централизованного контроля подвижного состава АСК ПС, позволяющей осуществлять мониторинг состояния буксовых узлов колесных пар и тормозов на участках безостановочного следования поездов.

Книга включает **шесть разделов**, которые достаточно насыщены иллюстративным материалом, поясняющим смысл излагаемых положений.

**В первом разделе** книги рассматриваются особенности конструкции буксовых узлов подвижного состава, даются общие сведения по силовому и тепловому режимам работы роликовых цилиндрических и конических подшипников, приводятся основные неисправности буксовых узлов, возникающие в процессе эксплуатации. В разделе приводятся также основные теоретические сведения о тепловом балансе вагонной буксы, представлены результаты расчета температурных полей в буксовом узле при движении вагона. Приводятся примеры влияния конструктивных особенностей корпусов букс и рам тележек на теплоотдачу наружных поверхностей буксовых узлов и их пригодность к тепловому контролю. В разделе рассмотрены оригинальные методы и результаты экспериментальных исследований теплового состояния буксового узла при различных режимах нагружения.

**Второй раздел** посвящен изложению основных положений бесконтактного теплового контроля букс, показано, как на основе фундаментальных законов теплообмена излучением проводится расчет мощности излучения от буксы, выполнен анализ критериев оценки работоспособности буксовых узлов и порогов тревожной сигнализации СТК при тепловом контроле в различных странах. Рассмотрен статистический характер результатов теплового контроля.

**В третьем разделе** представлены основные положения разработки комплексной диагностической модели бесконтактного

---

теплового контроля буks при движении поезда, описана структура комплекса моделей, предложены программные средства компьютерной реализации блоков диагностической модели.

**В четвертом разделе** показано применение предложенной диагностической модели для решения практических задач, возникающих при эксплуатации средств теплового контроля, использовании на железных дорогах подвижного состава различных типов, проектировании и создании подвижного состава.

**В пятом разделе** представлены данные по истории создания систем теплового контроля перегретых буks и неотпущеных тормозов в СССР и Российской Федерации, рассматривается устройство основных современных зарубежных и отечественных систем. Изложено описание устройства основных узлов микропроцессорного комплекса технических средств многофункционального (КТСМ-02) и автоматизированной системы централизованного контроля подвижного состава (АСК ПС), предназначенных для мониторинга нагрева буksовых узлов и элементов колес в процессе движения подвижного состава, накопления, хранения и выдачи по запросам пользователей статистических данных о результатах теплового контроля.

**В шестом разделе** книги приведены результаты эксплуатации средств теплового контроля ходовых частей подвижного состава на железных дорогах России, приведены данные о влиянии технических средств контроля и параметров их настройки на задержки поездов, отцепки вагонов и безопасность движения.

**В Заключении** обобщены результаты теоретических и экспериментальных исследований, разработок авторов и сотрудников ООО «Инфотэкс АТ», кафедры «Вагоны» УрГУПС, а также ученых и специалистов лаборатории буksового узла и колесных пар ОАО «ВНИИЖТ», принимавших участие в исследованиях тепловых режимов буksовых узлов и разработке рекомендаций по оптимизации настройки средств теплового контроля.

Появлению книги и ее содержанию во многом способствовали тематика совещаний, проводимых старшим вице-президентом, главным инженером ОАО «РЖД» В.А. Гапановичем по развитию средств измерения, неразрушающего контроля и диагностики ответственных узлов подвижного состава, в особенности, его принципиальная позиция по выбору перспективных направлений совершенствования средств теплового контроля буксовых узлов и поручения о необходимости разработчикам СТК оперативно решать возникающие в эксплуатации проблемы внедрения подвижного состава нового поколения. Отмечая это, авторы выражают искреннюю признательность и благодарность старшему вице-президенту ОАО «РЖД» Валентину Александровичу Гапановичу.

Мы благодарим за многолетнюю совместную работу, помощь и творческую атмосферу всех сотрудников предприятия ООО «Инфотэкс Автоматика Телемеханика», кафедры «Вагоны» УрГУПС, Лаборатории колесных пар и буксовых узлов и Экспериментального кольца ОАО «ВНИИЖТ», начальника Управления вагонного хозяйства Д.Н. Лосева и начальника Управления автоматики и телемеханики Н.Н. Балуева центральной дирекции инфраструктуры – филиала ОАО «РЖД», специалистов департаментов и управлений железных дорог за содействие в организации и проведении экспериментальных исследований тепловых режимов буксовых узлов, внедрении опытных образцов и программного обеспечения КТСМ и АСК ПС.

За ценные замечания по доработке текста при прочтении и рецензировании данной книги авторы благодарят сотрудников кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» Иркутского государственного университета путей сообщения и заведующего кафедрой доктора технических наук Н.Н. Пашкова.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Техническое состояние буксовых узлов колесных пар подвижного состава в значительной мере определяет уровень безопасности движения поездов.

Значительная часть неисправностей буксовых узлов в пути следования связана с повышением нагрева подшипников, что иногда приводит к их разрушению и последующему «горячему» излому шейки оси колесной пары с тяжелыми последствиями. На буксовый узел приходится от 30 до 60% от общего количества браков по вагонному хозяйству, особенно в период гарантийного срока после выпуска из ремонта.

Напольные средства теплового контроля (СТК) являются основными программно-аппаратными средствами контроля буксовых узлов на Российских железных дорогах и большинстве зарубежных дорог, обеспечивающих безопасность движения поездов.

Напольные СТК являются распределенными по участкам безостановочного движения поездов системами, расположеными на расстоянии от 20 до 50 км. Практически задача теплового контроля сводится к тому, чтобы по нагреву доступных для контроля внешних поверхностей корпусов буks оценивать техническое состояние подшипников и колесных пар в целом. Системы теплового контроля подвижного состава позволяют своевременно выявлять возникающие в процессе эксплуатации неисправности подшипниковых (буксовых) узлов и тормозов подвижного состава и тем самым предупредить возникновение необратимых отказов, способных привести к авариям и крушениям со сходом подвижных единиц с рельсов.

---

Подшипники с цилиндрическими роликами будут эксплуатироваться в буксовых узлах грузовых и пассажирских вагонов, электровозов, тепловозов и электропоездов в течение ближайшего десятилетия. Основным достоинством конических подшипников является более эффективное восприятие горизонтальной – аксиальной нагрузки и более высокая эксплуатационная надежность. Передача аксиальной нагрузки в буксе с цилиндрическими подшипниками происходит при контакте небольшой площади торцов роликов с бортами колец в условиях трения скольжения. Имеются существенные особенности в конструкциях корпусов букс, обусловленные использованием в буксовом подвешивании локомотивов пружин, рессор, гасителей колебаний, а также совмещением корпусов букс с кронштейнами для поводков и устройствами различного назначения, которые могут ограничивать возможности напольных средств контроля.

Нагрев буксовых подшипников возникает вследствие трения качения роликов по кольцам, трения скольжения торцов роликов о борта колец и гидродинамического трения смазки о детали подшипников. Выделяющееся в процессе работы подшипников тепло расходуется на повышение температуры самих подшипников, смазки, шейки оси и сопряженных с осью ступиц колес, корпуса буксы и сопряженных с ним челюстей боковой рамы, при этом часть тепла рассеивается через поверхность буксового узла, боковой рамы и колесной пары в окружающую среду.

Различный эксплуатационный нагрев элементов подшипников, например, разность температур нагрева роликов и наружных колец более 40°C вызывает температурные деформации, которые при недостаточном радиальном и особенно осевом зазорах в подшипниках могут привести к защемлению (заклиниванию) роликов между бортами наружного кольца, к провороту внутренних колец и

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

разрушению буксового узла с горячим изломом шейки оси. Поэтому температура буксового узла является важнейшим критерием, характеризующим техническое состояние подшипников. Причиной повышенного нагрева буks может быть излишнее количество в них смазки, что чаще всего происходит после ревизии буks, загрязнение продуктами износа или обводнение смазки.

Наиболее интенсивный нагрев буks наблюдается при заклинивании роликов между бортами колец, при провороте внутренних колец на шейке оси и при нарушении торцового крепления подшипников со смещением корпуса буksы. При нарушениях торцового крепления подшипников со смещением корпусов буks, которые хотя и не носят массовый характер, создается прямая угроза безопасности движения поездов из-за разрушения на первой стадии процесса переднего подшипника без повышенного нагрева сканируемых СТК поверхностей корпусов буks. После смещения корпуса буksы наружу до 50 мм под действием повышенных осевых и радиальных нагрузок происходит скоротечное разрушение переднего подшипника. Начало разрушения переднего подшипника с выпадением первого ролика возможно через 10-12 минут после срыва торцового крепления. При этом относительная температура нагрева наружных колец и внешних поверхностей корпуса буksы не превышает минимальных пороговых значений, принятых для настройки средств теплового контроля. Поэтому полностью исключить случаи несвоевременного обнаружения аварийного разрушения подшипников при нарушении торцового крепления и сползании корпуса буksы средствами теплового контроля нельзя.

Основным источником информации о нагреве подшипников, установленных в корпусах буks, является температура нагрева их наружных поверхностей. Для бесконтактной тепловой ди-

---

агностики подшипников немаловажное значение имеет конструкция рамы тележки в зоне буксовых узлов, наличие и расположение в этой зоне элементов буксовой (первичной) ступени рессорного подвешивания тележки: датчиков противоюзных устройств и скоростемеров, пружин, гасителей колебаний, балансиров, кронштейнов и поводков. Эти узлы могут препятствовать обзору нагретых буксовых узлов, исказить показания ИК приемников, а при полном игнорировании требований тепловой диагностики при проектировании новых тележек могут быть созданы конструкции полностью или частично неконтролепригодные к инфракрасной диагностике.

Характер распределения температурных полей тележек в процессе движения показывает, что колесные пары с разными типами подшипников, размещенных в корпусах букс и в полу-буксах – адаптерах, нагреваются по схожим закономерностям. Например: верхняя нагруженная зона – это наиболее нагретая зона, наиболее достоверно отражающая температуру наружных колец подшипника; крепительная крышка и нижняя зона корпуса (наружное кольцо кассеты) также нагреваются синхронно с нагруженной зоной. Менее всего нагреваются смотровые крышки корпуса (передние крышки кассет с адаптером). По температуре нагрева смотровых крышок нельзя судить о нагреве задних подшипников. Ступицы и диски колес практически не отражают динамику нагрева передних подшипников, в том числе с проворотом внутренних колец. Но верхняя зона корпуса буксы практически недоступна для контроля средствами ИК техники, так как она закрывается боковой рамой тележки грузового вагона, а у тележек некоторых серий локомотивов – рессорами и балансарами. Чаще всего доступными для бесконтактного контроля являются нижние части и крышки корпусов букс.

Таким образом, для оценки каждого типа буксового узла применительно к тепловому контролю необходимо не только знание особенностей теплового баланса данной буксы и распределения тепловых полей по корпусу буксы, но и знание точной траектории сканирования приемником ИК излучения буксового узла в процессе движения подвижной единицы. Задача может быть решена для каждого типа буксы и типа тележки либо экспериментальным путем, либо теоретическим через математическое описание пересечения в пространстве конуса обзора приемника с поверхностью буксы и близлежащих деталей тележки (рамы, элементов подвешивания).

Для изучения распределения полей температур при нагреве буксового узла особенное значение имеют экспериментальные исследования. Результаты испытаний необходимы для общей оценки теплового состояния букс с различными подшипниками в эксплуатации, исследования динамики изменения температуры в процессе движения, определения статистических оценок разбросов температур в эксплуатации и для обоснования порогов браковки (тревожной сигнализации СТК) буксовых узлов по температурным критериям. Результаты эксперимента позволяют оценить достоверность расчетных моделей, а также подобрать значения отдельных расчетных параметров, которые невозможно получить теоретически.

В результате натурных испытаний в реальных условиях эксплуатации с применением современных измерителей температуры – термохронов типа Dallas Semiconductor 1921 с памятью на основе устройства iButton установлено, что у подшипника кассетного типа с адаптером нижняя открытая часть (наружное кольцо кассеты) имеет более высокую температуру рабочего нагрева, чем у такого же подшипника, размещенного в корпусе бук-

---

сы. То же самое касается и различия температур нагрева передних крышек (торцов кассет с адаптером) и верхних частей адаптера над подшипником в сравнении с теми же зонами контроля при размещении кассет в корпусах букс. Наиболее нагретой зоной буксового узла с двухрядным цилиндрическим подшипником в корпусе буксы также является верхняя – нагруженная часть корпуса буксы, по температуре которой действующей нормативной документацией установлены критерии браковки подшипников. Температура рабочего нагрева буксы в интервале возможных температур окружающего воздуха (от -40 °C до +40 °C) может изменяться, например, в нижней части корпуса, от -20 °C до + 90 °C). В большинстве стран абсолютная<sup>3</sup> температура нагрева буксы на уровне 90 – 100 °C считается критической, соответствующей наивысшему уровню тревоги, но в эксплуатации для целей контроля и диагностики подшипников чаще всего используется избыточная температура нагрева, как разность между измеренной – абсолютной по шкале Цельсия температурой буксы и температурой окружающего воздуха.

Для оценки достоверности показаний СТК необходимо измерять относительные температуры тех поверхностей буксовых узлов (кассет), которые сканируются ИК-оптикой, причем не ранее 3–5 минут после остановки поезда и не позднее, чем через 15–20 минут. Это связано с естественным процессом перераспределения тепла от более нагретых частей (подшипников и шейки оси) к менее нагретым частям корпуса буксы с последующим выравниванием их температур при охлаждении без обдува встречным воздухом после остановки поезда.

Для изучения распределений температур по буксовому уз-

---

<sup>3</sup> Здесь, как и ранее, под абсолютной температурой буксы понимается общая температура буксы.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

лу, изучения продолжительности выхода на стационарный режим, исследования влияния отдельных неисправностей на тепловой баланс буксы, огладки по экспериментальным данным расчетных моделей буксового узла и оценки достоверности результатов расчетов на моделях исключительно важное значение имеют экспериментальные исследования с использованием стендов для испытаний букс. В отличие от эксплуатационных испытаний на стенах можно изучать живучесть подшипников с различными неисправностями, создающими реальную угрозу безопасности движения поездов. В то же время компьютерное моделирование позволяет изучать критические тепловые режимы буксовых узлов, которые невозможно воспроизвести ни на стенах, ни в условиях эксплуатации.

Потенциальные возможности СТК во многом зависят от используемых в них приемников ИК излучения и алгоритмов обработки снимаемых с них тепловых сигналов от букс. Тепловые приемники интегрального излучения (термисторные полупроводниковые болометры) являются неселективными, длинноволновая граница которых определяется в основном пропускающей способностью оптики (от 2 до 14...20 мкм), то есть, такие приемники воспринимают максимум спектральной плотности излучения буксовых узлов. Для этих приемников зависимость амплитуды выходного сигнала от избыточной температуры букс можно считать практически линейной во всем диапазоне возможных температур нагрева (от -40 °С до +100 °С). Применяющиеся в отечественной аппаратуре контроля тепловые приемники реагируют на превышение мощности излучения нагретого тела (корпуса буксы) над мощностью излучения деталей вагона, на которые до начала измерения был сориентирован приемник ИК излучения. В этом случае электрический сигнал на выходе теплового

---

приемника излучения будет пропорционален разности температур (по шкале Кельвина) в четвертой степени буксы и боковой рамы тележки вагона.

Фотонные приемники, например, чаще всего имеют длинноволновую границу только до 6 мкм. Чувствительность таких селективных приемников с узким спектральным диапазоном (2...6 мкм) имеет нелинейность выходного сигнала от температуры контролируемого объекта, что проявляется при температурах контролируемого объекта ниже 0°C. Эти приемники целесообразно использовать для контроля букс с температурой выше 0°C, в основном, в южных регионах России.

Преимуществом тепловых приемников является чувствительность в очень широкой области спектра и равномерность чувствительности по спектру. Основным их недостатком является низкое быстродействие по сравнению с фотонными приемниками. Фотонные приемники обладают лучшими характеристиками по уровню чувствительности и по быстродействию в рабочем диапазоне спектра воспринимаемого инфракрасного излучения.

Эксплуатационные допуски на нагрев буксовых узлов целесообразно регламентировать исходя из конструктивных особенностей подшипников и свойств буксовых смазок:

- рабочим диапазоном температур разнотипных подшипников и температурой каплепадения применяемых смазок;
- нагревом элементов буксовых узлов, при котором разница температур между роликами и кольцами приводит за счет температурных деформаций к ликвидации осевого и радиального зазоров в подшипниках;
- разницей температур нагрева внутреннего кольца подшипника и шейки оси, при которой происходит ослабление мон-

---

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

---

тажного натяга и создаются условия для проворота внутренних колец на шейке оси.

Поскольку температура нагрева буксы является случайной величиной, зависящей от многих факторов, то при выборе пороговых значений допускового или диагностического контроля полагаться только на использование измеренных и допускаемых в эксплуатации значений температур нельзя. При одной и той же абсолютной или относительной температуре корпуса буксы она может быть в исправном состоянии (рабочий режим с выходом на стационарный режим теплообмена с окружающей средой), в предотказном или в аварийном состоянии с разными темпами нагрева. С точки зрения диагностического контроля особое значение должно придаваться программным методам обработки исходной информации в виде амплитуд тепловых сигналов от букс. Объединение напольных систем теплового контроля в единую сеть централизованного контроля с функцией мониторинга позволяет выявлять потенциально опасные случаи нагрева подшипников в начальной стадии разрушения.

С точки зрения эффективности теплового контроля буксовых узлов нет принципиальной разницы, в условных или в физических величинах представляется диагностическая информация. В зарубежных детекторах греющихся букс (Servo Corp., General Electrik, CSEE) до 1990 года электрические сигналы от букс фиксировались на ленте самописца, а результаты измерялись в миллиметрах линейной шкалы. В аппаратуре ПОНАБ уровни нагрева букс измерялись в вольтах. Для сравнительной оценки состояния буксовых узлов вагона важным при этом является тот факт, что условным единицам в миллиметрах, в вольтах или в квантах в результате калибровки ставится в соответствие определенная избыточная температура излучателя – имитатора греющейся буксы.

---

Способ оценки относительного нагрева по условным в квантах или по физическим единицам в миллиметрах или в вольтах имеет принципиальные недостатки:

- сложность соотнесения квантов (миллиметров и вольтов) с температурой, измеряемой работниками при осмотре буксовых узлов переносными контактными или бесконтактными термометрами;
- необходимость производить периодическую калибровку аппаратуры при резком изменении температуры наружного воздуха, причем летом, особенно в континентальном климате, теоретически, необходимо калибровать СТК до двух раз в сутки, что практически невозможно;
- сложности оценки качества настройки СТК при проверке мобильными средствами, размещенными в вагонах-лабораториях дорог.

В практике применения систем теплового контроля установленось несколько вариантов назначения порогов тревожной сигнализации СТК, в том числе с критериями превышения заданных значений по:

- а) абсолютной температуре корпуса буксы (кассеты);
- б) избыточной (относительной) температуры корпуса (разность между абсолютной температурой корпуса и температурой окружающей среды);
- в) уровня нагрева в условных единицах (квантах), значение которых пропорционально относительной температуре корпуса буксы;
- г) отношение температуры максимально нагретой буксы к среднему значению температур остальных букс по данной стороне вагона;

- д) разность температуры максимально нагретой буксы и среднего значения температур остальных букс по стороне вагона;
- е) абсолютная разность температур букс на одной оси колесной пары;
- ж) приращение температуры нагрева буксы между смежными пунктами теплового контроля;
- з) темп нагрева буксы на участке безостановочного движения поезда – приращение температуры буксы в единицу времени или на километр пути пробега вагона.

Прогресс в области теплового контроля буксовых узлов стал возможным после оснащения подвижного состава коническими подшипниками кассетного типа (в корпусе буксы и с адаптером – полубуксой), когда СТК сканировали непосредственно наружные кольца подшипников или нижние части корпусов букс, которые в отличие от крышек букс более адекватно отображали динамику температурного состояния подшипников. Из всех рассмотренных авторами признаков распознавания неисправных подшипников по тепловым сигналам средств контроля от корпусов букс и кассет с адаптером наиболее информативными в эксплуатации оказались относительные признаки («б», «е» и «ж»), особенно в начальной стадии развития повреждений. Программное обеспечение и алгоритмы распознавания неисправных буксовых узлов по совокупности нескольких признаков, использованных в КТСМ и АСК ПС на железных дорогах России, являются наиболее эффективными для всех типов буксовых подшипников и разнородных подвижных единиц.

В алгоритмах пересчета мощности ИК излучения буксовых узлов в градусы по шкале Цельсия используется температура наружного воздуха. Поэтому для достоверной оценки состояния буксовых узлов необходимо обеспечить повышенную точность

измерения температуры наружного воздуха. Этим требованиям полностью удовлетворяют датчики температуры наружного воздуха (ДТНВ-2А), разработанные в 2008 г. специалистами ООО «Инфотекс АТ» для КТСМ-02.

В условиях ограниченных средств и возможностей для экспериментальных исследований тепловых режимов работы разнотипных подшипников разнородного подвижного состава при воздействии случайных факторов внешней среды существенное значение имеет создание диагностического обеспечения процессов контроля. Диагностическое обеспечение должно включать в себя перечень диагностических параметров, методы оценки их информативности, условия работоспособности и признаки наличия дефектов в объекте контроля, алгоритмы и программу диагностирования, показатели контролепригодности объекта и эффективности процесса диагностирования. Использование математических моделей контролируемых узлов в совокупности с компьютерными моделями обработки исходной информации позволяет решить задачи создания диагностического обеспечения процесса теплового контроля, включая задачи повышения эффективности контроля и контролепригодности ходовых частей подвижного состава нового поколения.

В процессе создания диагностического обеспечения процессов теплового контроля решены задачи: компьютерного моделирования движения колесных пар тележки по неровностям пути для оценки силового взаимодействия колес с рельсами; исследования на термомеханических моделях тепловыделения в работающих подшипниках и процессов теплообмена разнотипных подшипников с окружающей средой; изучения процесса пространственного сканирования буксовых узлов напольными сред-

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

ствами ИК техники и преобразования мощности ИК излучения объектов контроля в тепловой сигнал, пропорциональный абсолютной или относительной температуре контролируемых узлов. При этом, по возможности, учитываются все факторы, влияющие на передачу/прием ИК излучения – от свойств внешней среды до геометрических параметров систем контроля. По существу, результатом компьютерного моделирования является осциллограмма теплового сигнала от объекта контроля, содержащая всю информацию о его тепловом состоянии в процессе движения подвижной единицы.

Для создания математических моделей, объединенных в комплексную диагностическую модель, использованы методы теплопередачи и теплообмена, конечного элемента (МКЭ), имитационного моделирования, теоретической механики, виртуального трехмерного моделирования, идентификации, аналитической геометрии, статистики и теории вероятности, объектно-ориентированного программирования, компьютерных технологий.

Компьютерная реализация математических моделей позволяет проводить численные исследования процессов теплового контроля и разрабатывать рекомендации по созданию новых систем теплового контроля и совершенствования технологии контроля существующими системами, значительно сократив объем экспериментальных исследований.

Достоверность математических моделей подтверждена результатами экспериментальных исследований, проведенных на стендах и в реальных условиях. Результаты расчетов температурных полей в боковых узлах на разработанных моделях качественно и количественно соответствуют полученным результатам в стендовом эксперименте и измерениям, проведенным на магист-

---

ральных путях и на экспериментальном полигоне. Полученные при контактных измерениях уровни нагрева буксовых узлов в поездных условиях и зарегистрированные при этом СТК КТСМ-02 значения уровней нагрева букс, в сравнении с результатами расчетов уровней нагрева на диагностической модели процесса бесконтактного контроля хорошо сопоставимы (расхождение не более 10 %).

Результаты многочисленных расчетов на трехмерных компьютерных моделях использованы авторами для обоснования конкретных программно-технических решений при создании средств теплового контроля нового поколения типа КТСМ-02 со сканированием нижних секторов корпусов букс и кассет с коническими подшипниками под адаптером.

На базе созданных математических моделей разработана методика оценки контролепригодности ходовых частей подвижного состава к тепловой бесконтактной диагностике букс, которая может быть использована для оценки эффективности применяемых средств теплового контроля и при проектировании нового подвижного состава.

Методика применена для оценки контролепригодности буксовых узлов локомотивов постоянного и переменного тока различных серий, грузовых и пассажирских вагонов нового поколения, в том числе с коническими подшипниками кассетного типа. Результатом применения методики явилось:

- обоснование преимуществ контроля установками КТСМ-02 высокоскоростного пассажирского подвижного состава на тележках моделей 68-4076, 68-4075, 68-4096, 68-4095, что было в первую очередь внедлено (замена КТСМ-01 на КТСМ-02) на магистралях ОАО «РЖД» с высокоскоростным движением;

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

– научно обоснована необходимость создания комбинированных пунктов контроля буксовых узлов тягового подвижного состава, обеспечивающих эффективный контроль теплового состояния подшипников, независимо от конструкции тележек, то есть, совмещение на одной ординате напольных средств контроля с разной ориентацией ИК оптики в пространстве – совместное использование средств контроля типа КТСМ-01Д и КТСМ-02.

Анализ результатов, полученных при моделировании движения пассажирского вагона на тележках модели 68-4075 со скоростью 180 км/час (в программном комплексе FlooWorks), показывает, что по различным поверхностям корпуса буксы, скорости обтекания на первой оси в 1,3–2 раза выше, чем на второй оси тележки. Это приводит к тому, что теплоотдача от буксы со всех поверхностей в атмосферу на первой оси выше, чем на второй. Выполненные в программном комплексе ANSYS расчеты температурных полей в буксовых узлах первой и второй осей при прочих равных условиях дают аналогичное различие температур – соотношение избыточных температур по осям составляет 1,36–1,7 в зависимости от выбранной зоны на корпусе буксы или подшипника. Более высокие избыточные температуры нагрева буксовых узлов с коническими подшипниками на четных осях характерны и для тележек грузовых вагонов. В случае смены направления движения поезда на противоположное процесс симметричен. Так, менее нагретые буксы в исходном направлении движения поезда на нечетных осях вагонов становятся более нагретыми в противоположном направлении, потому что эти оси становятся вторыми (четными) в тележке по ходу движения и меняется их расположение по отношению к воздушному потоку. Таким образом, достоверно установлено, что у вагонов с цилиндрическими подшипниками, не-

---

смотря на более интенсивный обдув встречным воздухом, преимущественно греются буксы на первых (нечетных) осях тележек, а у вагонов с коническими подшипниками – буксы на вторых (четных) осях. То есть, для конических подшипников определяющим является фактор обдува буксовых узлов (наружных обойм кассет) встречным воздухом, а для цилиндрических подшипников фактор оптимальной восприимчивости к аксиальным нагрузкам. На практике задача состоит в выборе такого типа средства контроля, ориентация приемника которого позволяла бы производить оценку теплового состояния буксовых узлов и подшипников на первой и второй осях тележек разнородных подвижных единиц с максимальной достоверностью.

Учитывая, что в реальных условиях и экспериментально на стендах практически невозможно исследовать процесс движения вагона при наличии основных неисправностей буксового узла (разрушение торцевого крепления подшипников со смещением корпуса буксы, проворот внутреннего кольца подшипника), то прогнозирование возможного развития состояний буксового узла с указанными неисправностями проводилось на математических моделях. При этом получено, с одной стороны, что буксовый узел может сохранять относительную работоспособность при данных неисправностях относительно долго, не вызывая повышенный нагрев, а с другой стороны – при наступлении определенных условий данные неисправности приводят к многократному рассчитанному на моделях увеличению темпа нагрева подшипников и шейки оси, приводящему к разрушению последней между постами контроля. Эти результаты могут служить основанием для определения рациональной величины уменьшения расстояния между пунктами теплового контроля, а также свидетельствуют о том, что для раннего обнаружения неисправностей буксового узла це-

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

лесообразно на дорогах использовать кроме средств теплового контроля и другие средства, основанные, например, на акустическом принципе, геометрическом и др.

Расчеты на термомеханической модели подтвердили, что при экстренном и длительном торможении поверхности обода, диска и ступицы колеса нагреваются в существенно разном темпе. При экстренном торможении нагревается обод колеса, а при длительном торможении – диск и ступица колеса с наружной стороны. Этот факт использован в алгоритме обнаружения заторможенных колесных пар. На нагрев контролируемых зон буксовых узлов повышенный нагрев элементов колес в процессе торможения не оказывает существенного влияния. Таким образом, подтверждены данные эксплуатации, что по вспомогательным напольным камерам СТК, ориентированным на ступицы колес, можно обнаруживать лишь заторможенные колесные пары и они не могут восприниматься как средства дублирования теплового контроля буксовых узлов. На нагрев шеек осей, подшипников и буксовых узлов в целом также не оказывает влияние нагрев тормозных дисков, совмещенных с дисками колес или размещенных на средних частях осей колесных пар тягового и самоходного подвижного состава, включая скоростные электропоезда («Сапсан», «Allegro», «Talgo» и др.).

Анализ полей и графиков температур в различных сечениях показывает, что при развернутом сканировании нижней части корпуса буксы возможно распознавание местоположения неисправного подшипника в буксе. При этом неисправность переднего подшипника (при заклинивании роликов или при провороте внутреннего кольца) выражена превышением температур в сечении переднего подшипника, а неисправность заднего подшипника – в сечении заднего подшипника. Эта функция идентификации

---

может быть реализована и при использовании многоэлементного приемника ИК излучения матричного типа.

В результате моделирования установлено, что в интервале скоростей от 20 км/час до 80 км/час температура подшипника повышается на 40%, а температура корпуса буксы при этом на 25–30%. В то же время, при скорости 100 км/час и 200 км/час температуры внешних поверхностей буксового узла различаются незначительно (показания средств теплового контроля соответственно будут одинаковыми или незначительно различаться), а температура подшипников отличается на 16–20%. Таким образом, при одинаковых показаниях аппаратуры теплового контроля получим «недооценку» температуры подшипника на скорости 200 км/час всего на 16–20% в сравнении со скоростью поезда 100 км/час. Характер и величина данных различий позволяет не вводить специальные пороговые значения теплового контроля для скоростного подвижного состава.

Упругие элементы, являющиеся амортизаторами надбуксового подвешивания тележки, могут устанавливаться между адаптером и буксой, между подшипником и адаптером. При установке упругих элементов между подшипником и адаптером теплопередача в направлении адаптера уменьшается, поэтому температура подшипника выше, чем без упругого элемента. С точки зрения оптимизации температурных и силовых режимов работы подшипника целесообразно упругие элементы располагать между адаптером и рамой тележки. В этом случае тепло от подшипника отводится в окружающую среду через адаптер, а не только через наружное кольцо.

Системы обнаружения (детекторы) перегретых букс доказали свою важность и экономическую эффективность в течение

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

многолетней эксплуатации на всех железных дорогах мира. Использование на участках безостановочного движения поездов аппаратуры ПОНАБ, ДИСК и КТСМ позволило в десятки раз сократить количество случаев разрушения буксовых узлов и так называемых «горячих» изломов шеек осей колесных пар грузовых вагонов. В сравнении с зарубежными образцами 60–70 годов отечественные приборы и системы выгодно отличались степенью автоматизации обработки результатов теплового контроля букс с использованием нескольких признаков распознавания. Модернизация ПОНАБ и ДИСК микропроцессорными комплектами типа КТСМ позволила придать им новое качество, продлить срок их полезного использования с минимальными затратами. Созданный в конце 90-х годов микропроцессорный комплекс типа КТСМ-02 явился основой для создания систем контроля 5-го поколения. В комплексе реализованы функция автокалибровки измерительных каналов, цифровая обработка диагностической информации и применены более совершенные алгоритмы принятия диагностического решения.

Минимальное расстояние между пунктами контроля на скоростных и грузонапряженных направлениях, рассчитанное из условия предотвращения изломов шеек осей, должно быть в пределах 20 – 25 км. Требованиям обеспечения безопасности движения поездов по буксовому узлу удовлетворяют практически все участки железных дорог России 1 и 2-й категорий. На участках 3 и 4-й категории, как правило, требуется организовать новые посты контроля в промежутках между имеющимися.

На дорогах России установлены более щадящие пороги срабатывания тревожной сигнализации СТК, что связано с преобладанием в рабочем парке грузовых вагонов с цилиндрически-

---

ми подшипниками, которые, как уже упоминалось, имеют более низкий эксплуатационный нагрев, чем конические, но и меньшую надежность.

Исключительным достоинством созданной ООО «Инфотекс АТ» автоматизированной системы контроля подвижного состава (ACK ПС) является возможность мониторинга технического состояния ходовых частей подвижного состава в пути следования, так и оборудования самих средств контроля, включенных в региональные и дорожные системы централизации. При слежении за нагревом буks по нескольким постам контроля, последовательно расположенным на участках безостановочного движения поездов, учитывается динамика нагрева буks и нагрева колес для выявления вагонов с неисправным тормозным оборудованием.

Обновление средств теплового контроля путем модернизации ПОНAB-3 и ДИСК-БТ микропроцессорными комплексами типа КТСМ-01 и КТСМ-01Д, внедрение многофункциональных комплексов типа КТСМ-02 с оценкой состояния буksовых узлов в градусах позволило за десять лет сократить количество отказов оборудования в 10 раз, время простоя СТК в неисправном состоянии в 15 раз, количество задержек поездов на промежуточных станциях в 6 раз и количество отцепок грузовых вагонов во внеплановый ремонт по состоянию буksовых узлов – в 2.3 раза, повысить достоверность показаний СТК с 88,3 до 96,6%.

## **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Лукин В.В., Шадур Л.А. и др. Конструирование и расчет вагонов. – М.: УМК МПС, 2000. – 726 с.
2. Классификатор дефектов и повреждений подшипников качения ЦВТ-22. – ОАО «РЖД». Утверждено: вице-президент ОАО «РЖД» Гапанович В.А. от 07.12.2007.
3. Петров В.А., Цюренко В.Н. Натяги и зазоры в роликовых подшипниках букс вагонов. – М.: Транспорт, 1976. – 45 с.
4. Трестман Е.Е., Лозинский С.Н., Образцов В.Л. Автоматизация контроля буксовых узлов в поездах. – М.: Транспорт, 1983. – 352 с.
5. Миронов А.А., Образцов В.Л., Павлюков А.Э. Температурный режим буксового узла при нарушении торцевого крепления и тепловой контроль // Железнодорожный транспорт. – 2005. – №6. – С. 60–61.
6. Миронов А.А., Образцов В.Л., Пигалев Н.Г., Павлюков А.Э. Особенности теплового контроля буксовых узлов со смешением корпуса // Вагоны и вагонное хозяйство (Приложение к журналу «Локомотив»). – 2005. – №3. – С. 44–47.
7. Миронов А.А., Образцов В.Л., Занкович А.В., Пигалев Н.Г., Балабанов Е.В., Павлюков А.Э. Кинетика разрушения роликовых подшипников и обнаружение неисправностей букс средствами тепловой диагностики // Безопасность движения, совершенствование конструкций вагонов и ресурсосберегающие технологии в вагонном хозяйстве. Сб. научн. тр. / Под. ред. проф. Смольянинова А.В. – Екатеринбург, УрГУПС. – № 38(121). – 2006. – С. 71–85.
8. Михеев М.А. Основы теплопередачи. – М.: Госэнергоиздат, 1956. – 373 с.
9. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. – М.: Энергоиздат, 1981. – 416 с.

- 
10. Стромский П.П. Определение потерь на трение осей в подшипниках по тепловому балансу буксы// Вестник ВНИИЖТ. – 1973. – №4. – С.25–29.
  11. Орлов М.В. Исследование температурного режима буксово-го узла грузовых вагонов // Вестник ВНИИЖТ. – 1962. – №2. – С. 34–37.
  12. Шайдуров П.С. Исследование вопросов автоматического выявления перегретых букс железнодорожных вагонов. Дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук / ВНИИЖТ. – Москва, 1969. – 173 с.
  13. Рябцев В.В. Повышение качества контроля перегретых букс в движущихся поездах. Дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук / Омский ин-т инж. ж.д. тр-та – Омск, 1987. – 223 с.
  14. Поляков А.И. Тепловой баланс вагонной буксы // Работы вагонных букс с роликовыми подшипниками при высокоскоростном движении: Тр. ЦНИИ МПС, вып. 405. М., Транспорт, 1970. – С. 80–88.
  15. Карслу Г., Егер. Д. Теплопроводность твердых тел. – М.: Наука, 1964. – 488 с.
  16. ANSYS Theory Reference. Release 5.5, Edited by Ph.D. Peter Kohnke. – Canonsburg: ANSYS Inc., 1998.
  17. Основы теплопередачи в авиационной и ракетно-космической технике: Учебник для авиационных специальностей вузов/ Авдуевский В.С., Галицкий Б.М., Глебов Г.А. и др.; Под. общей ред. Авдуевского В.С., Кошкина В.К.– М.: Машиностроение. – 1992. – 528 с.
  18. Миронов А.А. Виртуальная модель бесконтактного теплового контроля буксовых узлов подвижного состава// Транспорт Урала. – 2008. – №3(18). – С. 59–65.
  19. Миронов А.А. Совершенствование методов и средств бесконтактной тепловой диагностики букс. Дис. на соискание уч. степени канд.техн.наук / Ур. гос. ун-т путей сообщ. – Екатерин-

---

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

---

бург, 2004. – 153 с.

20. Миронов А.А., Образцов В.Л., Павлюков А.Э., Митюшев В.С., Пигалев Н.Г. Тепловая диагностика подшипников кассетного типа пассажирских вагонов // Автоматика, связь, информатика. – 2007. – № 10. – С. 20–22.
21. Миронов А.А. Вычислительная технология оценки приспособленности проектируемых ходовых частей подвижного состава к тепловой бесконтактной диагностике букс // Безопасность движения поездов / Труды 7-й научно-практической конференции.– М., МИИТ, 2006. – С. V–25 – V–26.
22. Миронов А.А., Образцов В.Л., Павлюков А.Э. Проблемы теплового контроля кассетных подшипников в высокоскоростных поездах // Безопасность движения поездов / Труды 7-й научно-практической конференции. – М., МИИТ, 2006. – С. VI–16 – V–119.
23. Миронов А.А., Ефимов В.П., Павлюков А.Э. Буксовый узел тележки – преемственность технологий моделирования при решении задач жизненного цикла // Тяжелое машиностроение.– 2005. – №8. – С. 29–33.
24. Миронов А.А., Образцов В.Л., Павлюков А.Э. Использование экспериментальных методов исследований в вопросах повышения эффективности тепловой диагностики букс // Безопасность движения поездов / Труды 5-й научно-практической конференции.– М., МИИТ, 2004. – С. IV–20 – IV–21.
25. Миронов А.А., Павлюков А.Э., Образцов В.Л., Пигалев Н.Г. Температурные режимы работы букс // Вагоны и вагонное хозяйство (Приложение к журналу «Локомотив»). – 2006. – № 3(7). – С. 8–13.
26. Миронов А.А., Образцов В.Л., Павлюков А.Э. Резервы повышения эффективности тепловой диагностики буксовых узлов// Автоматика, связь, информатика. – 2004. – №2.– С. 5–9.
27. Миронов А.А. Научные и технические основы бесконтакт-

---

ного теплового контроля букс железнодорожного подвижного состава. Дисс. на соискание уч. степени доктора. техн. наук / Ур. гос. ун-т путей сообщ. – Екатеринбург, 2009. – 362 с.

28. Криксунов Л.З. Справочник по основам инфракрасной техники. – М.: Сов. радио, 1978. – 400 с.
29. Спэрроу Э.М., Сесс Р.Д. Теплообмен излучением. – Ленинград: Энергия, 1971. – 294 с.
30. Комбинированные системы обнаружения нагрева букс и захлинивания тормозов (НОА/FBOA) / Технические требования. Служба сети железных дорог DB Управление по модернизации оборудования NES 3. Составитель: NES 3 KI; (089)1308-6260. – 15.01.1999.
31. Критерии для остановки поездов по показаниям датчиков грения букс (Бюлл.техн.эконом.инф. ЦНИИТЭИ МПС № 8, 1971. – Railway system control, 1970, №8, s.22–27).
32. Канадская национальная дорога. Выявление дефектов сегодня и взгляд на перспективу// Доклад г-на Вильяма Блевинса, главного инженера дороги по подвижному составу и электрическим цепям. Визит специалистов ВНИИЖТ, Канада. Ноябрь 2000 г.
33. Датчики нагрева букс для скоростных линий Германских федеральных железных дорог// Eisenbahningenieurkalender. – 1992.– Р.347–358.
34. Биргер И.А. Техническая диагностика. – М.: Машиностроение, 1978. – 280 с.
35. Самодуров В.И. Разработка и исследование потенциальных возможностей устройств автоматического бесконтактного обнаружения перегретых букс: Дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук. – Свердловск, 1972. – 136 с.
36. Трестман Е.Е., Лозинский С.Н., Самодуров В.Н., Образцов В.Л. Автоматическое обнаружение неисправностей ходовых частей подвижного состава – задача статистической теории.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- рии распознавания // Автоматизация контроля ходовых частей вагонов при движении поезда. М., Транспорт. Труды ВНИИЖТ, вып. 494. 1973. – С. 4–9.
37. Погорелов Д.Ю., Толстошеев А.К., Ковалев Р.В. и др. Динамический анализ и синтез механизмов с использованием программы UM // Брянск: Изд-во БГТУ, 1997. – 16 с.
38. Погорелов Д.Ю. Введение в моделирование динамики систем тел: Учеб. пособие. – Брянск: Изд-во БГТУ, 1997. – 156 с.
39. Погорелов Д.Ю., Павлюков А.Э., Юдакова Т.А., Котов С.В. Моделирование контактных взаимодействий в задачах динамики систем тел / Динамика, прочность и надежность транспортных машин: Сб. науч. тр. / Под ред. В.И. Сакало. Брянск: БГТУ, 2001. С. 11 – 23.
40. Ковалев Р.В., Погорелов Д.Ю. Параметрическая оптимизация механических систем в программном комплексе «Универсальный механизм» // Тезисы докладов пятого международного симпозиума по классической и небесной механике, 23–28 августа, 2004 года, Великие Луки. – С. 107.
41. Погорелов Д.Ю. Компьютерное моделирование динамики рельсовых экипажей // Сб. докл. междунар. конгресса «Механика и трибология транспортных систем – 2003»: В 2 т. – Ростов-на-Дону, 2003. – Т. 2, С. 226 – 232.
42. Михальченко Г.С., Погорелов Д.Ю., Симонов В.А., Круговых А.В., Симонов В.В. Исследование пространственных колебаний рельсовых экипажей с использованием программного комплекса «Универсальный механизм»// Проблемы механики железнодорожного транспорта: Динамика, надёжность и безопасность подвижного состава: Тез. докл. IX Междунар. конф. – Днепропетровск: ДГТУ, 1996. – С.107–108.
43. Павлюков А.Э. Прогнозирование нагруженности ходовых частей грузовых вагонов повышенной грузоподъемности методами имитационного моделирования. Дисс. на соискание уч. степени д-ра техн. наук: 05.22.07 / Уральский гос. ун-т путей

- 
- сообщения. – Екатеринбург, 2002.
44. Кобищанов В.В., Антипин Д.Я., Забелин А.Л. Оценка динамической нагруженности несущих конструкций кузовов пассажирских вагонов // Труды IV научно-практической конференции «Безопасность движения поездов», МГУПС (МИИТ), 2003. – С. IV–41.
45. Расчетные неровности железнодорожного пути для использования при исследованиях и проектирования пассажирских и грузовых вагонов. РД 32.68-96 – М.: ВНИИЖТ, 1996. – 17 с.
46. Краткий физико-технический справочник. / Под. ред. Яковлева К.П. – М.: ГИФМЛ, 1962. – Т. 3 – 688 с.
47. Черненский О.Н., Федотов Н.Н. Подшипники качения: Справочник-каталог. – М.: Машиностроение , 2003. – 576 с.
48. Чередниченко Г.И., Фройштетер Г.Б., Ступак П.М. Физико-химические и теплофизические свойства смазочных материалов.– Ленинград: Химия, 1986. – 203 с.
49. ГОСТ 26656–85. Техническая диагностика. Контролепригодность. Общие требования.
50. Казаринов В.М., Карвацкий Б.Л. Расчет и исследование автотормозов. – М.: Трансжелдориздат, 1961. – 232с.
51. Киселев С.Н., Иноземцев В.Г., Петров С.Ю., Киселев А.С. Температурные поля, деформации и напряжения в цельнокатанных вагонных колесах при различных режимах торможения// Вестник ВНИИЖТ. – 1994. – №7. – С. 13–17.
52. Иноземцев В. Г., Казаринов В. М., Ясенцев В. Ф. Автоматические тормоза: Учебник для вузов ж.-д. транспорта. М.: Транспорт, 1981. 464 с.
53. Hot wheel finder. «Progressive railroading». – 1978. – №1. – p. 61–62.
54. Опыт применения устройств контроля перегретых букс на железных дорогах США и Канады // Railway Systems Control. –

---

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

---

1971. – Т.2 – №10. – С. 10, 13–17.

55. Берзин В.А. Зарубежный опыт эксплуатации устройств обнаружения перегретых букс // Железнодорожный транспорт за рубежом. – 1977. – №7. – С.44–49.

56. Лозинский С.Н., Трестман Е.Е., Алексеев А.Г., Быков С.Я. Аппаратура автоматического обнаружения перегретых букс на ходу поезда (ДИСК-Б) // Автоматика, телемеханика и связь. – 1986. – №2. – С.34–37.

57. Миронов А.А. Ретроспективные аспекты создания, совершенствования и модернизации тепловой диагностики перегретых букс //Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта /Материалы Всероссийской научн.-техн. конф. «Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта». – Екатеринбург, УрГУПС, 2003. – Том 1. – С. 165–172.

58. Швалов Д.В., Шаповалов В.В. Системы диагностики подвижного состава. – Учебник для техникумов и колледжей ж.д. транспорта/ Под. ред. Швалова Д.В. – М.: Маршрут, 2005. – 268 с.

59. Комплекс технических средств для модернизации аппаратуры ПОНАБ-3 и ДИСК-Б «КТСМ – 01Д». Эксплуатационная документация. Екатеринбург, НПЦ «Инфотэкс», 2001.

60. Комплекс технических средств многофункциональный «КТСМ-02». Руководство по эксплуатации. ИН7.410.000 РЭ. Екатеринбург, ООО «Инфотэкс АТ», 2007.

61. Подсистема контроля состояния букс (ПКСБ-01 ИН7.410.100). Подсистема контроля состояния тормозов (ПКСТ-01 ИН7.410.200). Руководство по эксплуатации ИН7.410.100 РЭ. Екатеринбург, ООО «Инфотэкс АТ», 2007.

62. Концентратор информации КИ-6М. Руководство по эксплуатации ИН7.120.000 РЭ. Екатеринбург, НПЦ «Инфотэкс», 2000.

63. Автоматизированная система контроля подвижного состава

- контроля подвижного состава «АСК ПС». Подсистема речевого оповещения и сигнализации ПРОС-1. Руководство по эксплуатации. ИН7.520.000 РЭ. Екатеринбург, НПЦ «Инфотэкс», 2000.
64. Миронов А.А. Новые функциональные возможности комплексов КТСМ и систем централизованного контроля АСК ПС // Автоматика, связь, информатика. – 2005. – № 12. – С. 64–67.
  65. Миронов А.А. Перспективные направления совершенствования средств контроля типа КТСМ-02 и АСК ПС // Автоматика, связь, информатика. – 2009. – № 1. – С. 34–37.
  66. Миронов А.А., Тагиров А.Ф. Применение комплектов КТСМ в современных условиях // Автоматика, связь, информатика. – 2002. – № 9. – С. 5–9.
  67. Миронов А.А. Создание отраслевой системы мониторинга безопасности железнодорожного подвижного состава в пути следования // Транспорт Урала. – 2006. – № 2(9). – С. 42–47.
  68. Автоматизированная система контроля подвижного состава «АСК ПС». Автоматизированное рабочее место оператора поста контроля «АРМ ЛПК». Руководство пользователя. Екатеринбург, НПЦ «Инфотэкс», 2001.
  69. Пат. 2386562. Российская Федерация, МКИ В 61 К 9/00. Информационное взаимодействие систем контроля технического состояния подвижного состава с графиком исполненного движения железной дороги / Митюшев В.С., Можевилов А.Б., Миронов А. А., Образцов В.Л.; заявитель и патентообладатель ОАО «РЖД». – №2008149871/11; заявл. 18.12.08; опубл. 20.04.2010, Бюл. № 11. – 7с.: ил.
  70. E. Eisenbrand. Phönix MB – die neue Heißlaufentortungsanlage. Signal+Draht. – 1998. – №12. – S. 9–11.
  71. Айзенбранд Э. Техническая документация для комбинированного устройства обнаружения перегрева букс и блокированных тормозов PHOENIX MB. Sygnal & System Technik. – 37s.
  72. Schöbel A., Karner J. Optimierungspotenziale bei der Stati-

---

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

---

- onierung von Heißläufertungsanlagen. ETR – Eisenbahntechnische Rundschau, 54 (2005), 12; S. 805 – 808.
73. Sünder M., Schöbel A., Pisek M., Maly T. Sicherungssystemintegrierte Checkpoint-Anlagen für automatische Zugüberwachung. Vortrag: 36. Tagung Moderne Schienenfahrzeuge, Graz; 18.09.2005 – 21.09.2005; in: «Sonderheft Tagungsband», Glasers Annalen / Georg Siemens Verlag, 129/11/Berlin (2005), 1618–8330; S. 130 – 135.
74. A. Schöbe , J. Karner «Über die Anwendung der heißläufertungsanlagen bei den ÖBB». Kroatische Eisenbahn, 4 (2005), 4; S. 45 – 46.
75. A. Schöbel, M. Pisek, J. Karner «Hot box detection systems as a part of automated train observation in Austria». Vortrag: EURNEX – ZEL 2006, Zilina; 30.05.2006 – 31.05.2006; in: «Towards the competitive rail systems in europe», (2006), 8080705518; S. 157 – 161.
76. Schöbel A. «Ansatz zur wirkungsvollen Positionierung von Zuglaufüberwachungseinrichtungen». Signal&Draht, 97 (2005), 9; S. 21 – 24.
77. Rotternsteiner U. VAE – HOA 400 DS – Heißlaufentfernungsanlagen für finische Hochgeschwindigkeitsstrecken // Signal+Draht.–2003. № 7– 8. S. 6–10.
78. Povse H. Hot box detector VA-HOA 350 // Railway International. – 1992. – P. 183–184.
79. VAE-HOA 400 DS, Техническое описание, Версия 1.5, ноябрь 2005 г. Система обнаружения нагрева букс для Финляндии, VAE Eisenbahnsysteme GmbH.
80. По материалам сайта фирмы: GE Transportation Systems Global Signaling <http://www.getransportation.com>.
81. По материалам сайта фирмы: ООО «ДСКТБ СКАТ» <http://dsktb-scat.narod.ru/>.

- 
82. Виммер Й. Новое поколение устройств обнаружения греющихся букс и заклиниенных колес // Железные дороги мира.– 2000.– №1. – С. 24–29.
83. Системы обнаружения перегретых букс и заклиниенных тормозов для высокоскоростных линий // Железные дороги мира.– 1993.– № 3 . – С. 10–15.
84. Рыбак В.В., Скляренко С.К., Строкач А.А. Прибор на основе пироэлектрического приемника ИК излучения для дистанционного измерения температуры буксовых узлов рельсового транспорта в процессе движения// Наука та інновації. 2007. – Т 3. – № 2. – С. 34–47.
85. Лозинский С.Н., Алексеев А.Г., Карпенко П.Н. Аппаратура автоматического обнаружения перегретых букс в поездах. – М.: Транспорт, 1978. – 160 с.
86. По материалам сайта фирмы AMSKAN: <http://www.amskan.com>.
87. По материалам сайта: <http://www.tc.gc.ca/railway>.
88. По материалам сайта: <http://www.veic.com.cn/eb1.htm>.
89. По материалам сайта фирмы Southern Technologies Corporation (STC): [www.southern-tech.com](http://www.southern-tech.com).
90. Approved Code of Practice –Hot Axle Bearing GE/RC8514. Detection Published by: Railway Safety Evergreen House 160 Euston Road London NW1 2DX © Copyright 2001 Railway Safety.
91. Аппаратура для диагностики подшипников. HBD/HWD systems get smarter // Railway Age – 1996, 197, № 1, С. 51–53. РЖ 11, 1997, 8B19.
92. Образцов В.Л., Самодуров В.И., Лозинский С.Н. О перспективах применения информационно-логических систем контроля в вагонном хозяйстве// Труды УЭМИИТ, вып.29, Свердловск,1970. – С.19–30.
93. Образцов В.Л., Орлов М.В., Самодуров В.И. Совершен-

---

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

---

- ствование технического обслуживания буксовых узлов с применением аппаратуры ПОНАБ // Труды ВНИИЖТ, вып. 587, Москва, Транспорт, 1977. – С. 37–54.
94. Трестман Е.Е., Берzin В.А., Лозинский С.Н. О влиянии размещения аппаратуры ПОНАБ на безопасность движения поездов. Труды ВНИИЖТ, вып. 609, Москва, Транспорт, 1979. – С. 72–83.
95. Миронов А.А., Митюшев В.С., Григорьев К.В., Образцов В.Л. Распознавание буксовых узлов по тепловым сигналам // Вагоны и вагонное хозяйство (Приложение к журналу «Локомотив»). – 2007. – № 3. – С. 42–45.
96. Миронов А.А., Образцов В.Л., Павлюков А.Э., Митюшев В.С., Пигалев Н.Г. Тепловая диагностика подшипников кассетного типа грузовых вагонов // Автоматика, связь, информатика. – 2007. – № 9. – С. 12–14.
97. Инструкции по размещению, установке и эксплуатации средств автоматического контроля технического состояния подвижного состава на ходу поезда. ЦВ–ЦШ–453, утв. 30.12.1996.– МПС РФ.
98. Лисенков В.М. Статистическая теория безопасности движения поездов. – М., ВИНТИ РАН, 1999. – 332 с.

Александр Анатольевич Миронов  
Валентин Леонидович Образцов  
Александр Эдуардович Павлюков

Теория и практика  
бесконтактного теплового  
контроля буксовых узлов  
в поездах

Дизайн и верстка А. Дехановой  
Корректор А. Лущанов

Подписано в печать 16 апреля 2012 г. Тираж 300 шт.

Рекламно-производственная компания «Ассорти»  
620049, г. Екатеринбург, ул. Первомайская, 109 д  
Тел.: (343) 379-08-50  
E-mail: assorti-ural@mail.ru

© А.А. Миронов, В.Л. Образцов, А.Э. Павлюков  
© «Ассорти»

