

4. Hsin-yu Shan. Mechanical Measurements [Electronic resource] / Hsin-yu Shan. — Available at: \www/URL: http://www.cv.nctu.edu.tw/chinese/teacher/Ppt-pdf/AG/Twk2%20Mechanical%20Measurement.pdf
5. Терехов, В. М. Системы управления электроприводов [Текст]: учеб. для ВУЗов / В. М. Терехов. — М.: Издательский центр «Академия», 2005. — 304 с.
6. Люгер, Дж. Ф. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем [Текст]: пер. с англ. / Дж. Ф. Люгер. — 4-е изд. — М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. — 864 с.
7. Nolfi, S. Evolutionary Robotics [Electronic resource] / S. Nolfi, D. Floreano. — Cambridge, MA, USA: MIT Press, 2000. — Available at: \www/URL: http://mitpress.mit.edu/sites/default/files/titles/content/9780262640565_sch_0001.pdf
8. Mason, M. T. Mechanics of Robotic Manipulation [Text] / M. T. Mason. — Cambridge, MA, USA: MIT Press, 2001. — 272 p.
9. Weiss, G. Multiagent Systems [Text] / G. Weiss. — Ed. 2. — Cambridge, MA, USA: MIT Press, 2013. — 920 p.
10. Choset, H. Principles of Robot Motion Theory, Algorithms, and Implementations [Text] / H. Choset, K. M. Lynch, S. Hutchinson, G. A. Kantor, W. Burgard, L. E. Kavraki, S. Thrun. — Cambridge, MA, USA: MIT Press, 2005. — 632 p.

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ АНАЛИЗА ВЕРОЯТНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ МЕХАНИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

На базе комплексного подхода к определению погрешностей реализовано интеллектуальную измерительную систему,

в рамках которой используются традиционные и оригинальные алгоритмы измерения вероятностных характеристик случайных процессов механических величин. Для каждого из них представлены оценки точности статистических измерений.

Ключевые слова: интеллектуальная система, измерения, механические величины, случайный процесс, база данных, интеллектуализация.

Квасніков Володимир Павлович, доктор технічних наук, професор, заслужений метролог України, кафедра комп'ютеризованих електротехнічних систем та технологій, Національний авіаційний університет, Київ, Україна.

Лещенко Юлія Павлівна, аспірант, кафедра інформаційно-вимірвальних систем, Національний авіаційний університет, Київ, Україна, e-mail: ulial@inbox.ru.

Квасников Владимир Павлович, доктор технических наук, профессор, заслуженный метролог Украины, кафедра компьютеризированных электротехнических систем и технологий, Национальный авиационный университет, Киев, Украина.

Лещенко Юлия Павловна, аспирант, кафедра информационно-измерительных систем, Национальный авиационный университет, Киев, Украина.

Kvasnikov Volodymyr, National Aviation University, Kyiv, Ukraine. Leschenko Yulia, National Aviation University, Kyiv, Ukraine, e-mail: ulial@inbox.ru

УДК 629.4.027.11:681.518.5

DOI: 10.15587/2312-8372.2015.51923

Петухов В. М.

РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ БУКСОВЫХ УЗЛОВ СОВРЕМЕННЫХ ВАГОНОВ

Разработана общая структура диагностического обеспечения буксовых узлов современных вагонов. Предложены дополнительные диагностические признаки, позволяющие исключить негативное влияние сторонних факторов на достоверность контроля, а также наиболее полно использовать технические и информационные возможности встроенных систем контроля. Построена диагностическая модель буксового узла с учетом дополнительных параметров, измерение которых технически возможно только встроенными системами.

Ключевые слова: буксовый узел, контроль технического состояния, диагностическая модель, встроенное средство контроля, диагностические признаки.

1. Введение

Повышение скоростей движения поездов, увеличение нагрузки на ось вагонов остро ставит проблему надежности ходовых частей. Именно от их технического состояния напрямую зависит безопасность перевозок, их своевременность, а также и конкурентоспособность железных дорог на рынке транспортных услуг.

Во многом этому способствует современная инфраструктура системы контроля технического состояния подвижного состава. Так, наиболее развитой системой,

является автоматическая система теплового контроля букс (СТК). Разработанная в середине прошлого столетия она позволяла выявлять нагретые буксы вагонов в любых метеоусловиях и в любое время суток [1].

Однако современные требования к системам диагностирования и контроля ходовых частей зачастую предъявляют к этим системам не только функцию обнаружения неисправных элементов, но также способность раннего выявления зарождающихся дефектов с целью недопущения выхода такого подвижного состава на перегон, своевременного ремонта узлов, не допуская

их безвозвратных потерь. Также становится актуальной задача прогнозирования остаточного ресурса для снижения негативных последствий от отцепок неисправных вагонов при их следовании по маршруту.

Качественно новый уровень контроля и диагностики буксовых узлов в эксплуатации появился с развитием встроенных систем контроля (ВСК). Размещение датчиков непосредственно на контролируемых элементах позволило в первую очередь повысить достоверность и оперативность контроля по сравнению с традиционным (дистанционным) методом [2]. Увеличить число контролируемых параметров (СТК, например, регистрируют только один параметр — температуру). Наличие микроконтроллеров и чипов памяти дает возможность определять техническое состояние контролируемого узла непосредственно в буксе, хранить данные контроля для их дальнейшего анализа и принятия решений. Такие устройства контроля букс вагонов становятся стандартным компонентом подвижного состава. Мировыми лидерами по производству железнодорожных подшипников, такие как SKF (Швеция), FAG (Германия), Timken (США), оснащают свои буксовые узлы различными сенсорами [3].

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Анализ публикаций, посвященный проблеме контроля буксовых узлов, показывает, что при конструировании букс, как правило, не учитывается их контролепригодность [4], что вызывает значительные трудности их теплового контроля. При этом значительная часть исследований направлена на решения проблем дистанционного теплового контроля [5–9]. Рассмотрению вопросов построения тепловой модели посвящена работа [8], но только для дистанционных систем контроля. Таким образом, проблемы создания универсального диагностического обеспечения букс вагонов остаются неразработанными, несмотря на значительный прогресс в создании новых ходовых частей подвижного состава.

3. Объект, цель и задачи исследования

Объект исследования — процесс контроля и диагностики технического состояния буксового узла.

Проведенные исследования и результаты эксплуатационных испытаний показывают, что возможности встроенных систем контроля и диагностики намного шире, чем традиционных СТК. Однако, ввиду сравнительно небольшого их срока эксплуатации, применяемые для них диагностические модели имеют, как правило, локальный характер. Поэтому *целью исследования* является обобщение и построение обобщенной структуры диагностической модели буксового узла для встроенных систем контроля и диагностики.

Для достижения поставленной цели требуется решить следующие задачи:

- Разработать структуру диагностического обеспечения буксовых узлов современных вагонов.
- Определить наиболее информативные диагностические признаки технического состояния буксового узла.
- Построить диагностическую модель буксового узла.

4. Результаты исследования разработки структуры диагностического обеспечения буксовых узлов

Достоверность контроля технического состояния буксового узла зависит не только от технических характеристик контрольно-диагностирующей аппаратуры, но и от алгоритма его контроля, диагностической модели объекта.

Встроенные средства контроля букс, которые предназначены для вагонов нового поколения, должны обеспечивать не только контроль параметров, но и получение дополнительной информации, на основе которой, используя статистику для всего парка таких вагонов, проводить коррекцию моделей и их диагностических признаков, т. е. реализовывать обратную связь.

При разработке диагностического обеспечения буксового узла вагонов требуется решить следующие вопросы:

1. Предложить диагностическую модель буксового узла, т. е. формализованное описание объекта, необходимое для решения задачи диагностирования. Так как основным диагностическим параметром, который характеризует техническое состояние буксового узла, есть его температура, то это будет тепловая модель.
2. Предложить процедуру определения его технического состояния, т. е. алгоритм диагностирования (контроля) — совокупность предписаний, которые определяют последовательность действий при проведении диагностирования (контроля).
3. Определить требуемое аппаратно-программное обеспечение, с помощью которого осуществляется диагностирование (контроль), его параметры и конфигурацию с учетом температурного режима и конструкции буксового узла.

Для этого предлагается комплекс взаимосвязанных методов, алгоритмов и средств, необходимых для осуществления диагностирования буксового узла в эксплуатации.

Структура диагностического обеспечения буксового узла для современных вагонов приведена на рис. 1.



Рис. 1. Структура диагностического обеспечения буксового узла вагона

Структура состоит из двух частей: аппаратного и информационно-методического, математического обеспечения. Аппаратное обеспечение представляет собой

электронные бортовые модули, наземные модули, а также аппаратуру, которая находится на линейном пункте контроля (станционное оборудование).

Другая часть состоит из комплекса математических моделей оценки и прогнозирования технического состояния объекта и его тепловой модели, а также из алгоритма принятия решения о влиянии на объект.

5. Обсуждение результатов разработки структуры комплекса математических моделей диагностического обеспечения буксовых узлов

Комплекс математических моделей буксовых узлов приведен на рис. 2.

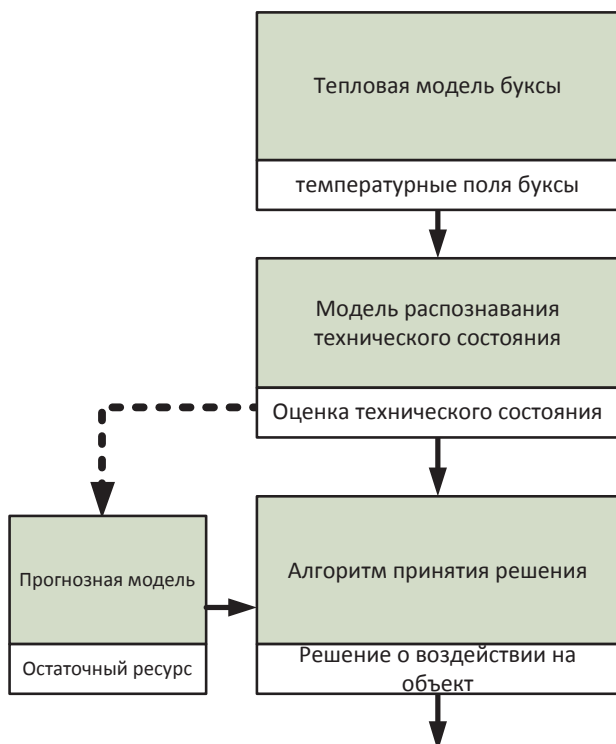


Рис. 2. Структура комплекса математических моделей

Комплекс состоит из следующих блоков:

- тепловая модель, которая является диагностической моделью, и описывает температурные зависимости от нагрузки, частоты вращения, времени движения и др.;
- модель распознавания технического состояния объекта, которая определяет процедуру оценки технического состояния объекта;
- прогнозная модель предназначена для оценки остаточного ресурса буксы с зарождающимся дефектом;
- блок алгоритма принятия решения о влиянии на объект (остановка поезда, отцепка вагона и т. п.).

Важнейшим элементом комплекса математического обеспечения диагностической модели является тепловая модель буксового узла:

$$\frac{dT}{d\tau} = \frac{P \cdot N \cdot \pi \cdot D \cdot f}{\sum_{i=1}^n c_i \cdot p_i} - \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot F_i \cdot (T_i - T_3)}{\sum_{i=1}^n c_i \cdot p_i}, \quad (1)$$

где P — нагрузка на буксу, Н; N — частота вращения, с^{-1} ; D — диаметр подшипника, м; f — приведенный коэффициент трения, который учитывает суммарное трение качения и скольжение рабочих поверхностей подшипников, сопротивление смазки и трение роликов с сепаратором; c_i — удельная теплоемкость элементов буксы и колесной пары, Дж/кг·К; p_i — масса элементов буксы и колесной пары, кг; $d\tau$ — время работы подшипника, с; α_i — коэффициент теплопередачи, $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot \text{К}$; F_i — площадь поверхности буксы, м^2 ; T_i , T_3 — соответственно температуры поверхности корпуса буксы и окружающего воздуха, К.

Температура буксового узла является важнейшим параметром, который характеризует техническое состояние подшипников.

Изучение процессов теплообразования и теплопередачи, которые происходят в работающем буксовом узле, имеет большое значение при решении практических задач диагностики букс на ходу поезда.

Модель распознавания предназначена для достоверной оценки технического состояния буксы. Для решения этой задачи требуется определить в первую очередь диагностические признаки (признаки распознавания), которые характеризуют техническое состояние узла.

При этом вводятся следующие ограничения на выбор признаков:

- использовать те признаки, относительно которых может быть получена априорная информация, достаточная для определения технического состояния буксового узла;
- исключить те признаки, которые малоинформативны и не имеют достаточных разделительных свойств;
- учитывать технические возможности встроенных средств контроля.

Выбранные признаки на основе [10, 11] представлены в табл. 1.

Таблица 1

Признаки распознавания технического состояния букс

Обозначение признака	Признак	Математическое выражение
X_1	Температура, °С	T
X_2	Темп роста температуры, °С/мин	T_i/τ
X_3	Отношение температуры буксы к средней температуре букс вагона, без учета максимальной температуры	$\Delta T_i/T_{cp}^*$
X_4	Зависимость температуры буксы от частоты вращения колесной пары	$T = f(N)$

Анализ непрерывных функций распределения значений признака X_1 (температура) для букс, которые нормально греются и перегретых показывает, что классы букс, которые нормально греются и перегретых пересекаются, создавая неопределенность при распознавании технического состояния [10].

Из-за этого возникает необходимость поиска дополнительных признаков, которые в совокупности с главным признаком (температура) повышали бы достоверность контроля букс.

Используя такой признак распознавания (X_2), как прирост температуры ΔT возможно сразу классифицировать неисправные буксовые узлы двух принципиально разных типов:

- «линейного» — для букс характерный равномерный, линейный рост температуры до достижения ею предельного значения;
- «экспонентного» — происходит настолько быстрое повышение температуры буксы, при которой нужна аварийная остановка поезда.

При движении поезда, анализируя динамику изменения температуры, можно определить предотказное состояние буксы (признак X_3). При исправных буксовых узлах во время движения соотношения между температурами букс одного вагона остаются практически неизменными. Положительная динамика приведенной температуры одной из них указывает на ухудшение технического состояния буксы.

Такая процедура исключает влияние сторонних факторов (температура окружающей среды, солнечное излучение, нагрузка вагона и др.).

При использовании встроенных средств контроля в отличие от дистанционных, где признак распознавания является результатом определенной обработки значений температуры, становится возможным использовать более информативный признак распознавания — зависимость температуры буксы от частоты вращения колесной пары (X_4).

Как видно из тепловой модели (1), температура буксы непосредственно зависит от частоты вращения колесной пары. Эти соотношения были также получены экспериментально для различных буксовых узлов, в том числе для кассетных конических подшипников в эксплуатации [12].

Таким образом, для каждого типа буксового узла при известной нагрузке и частоте вращения существует определенный температурный режим, который позволяет оценить техническое состояние узла.

6. Выводы

На основе проведенных исследований информационных и технических возможностей встроенных систем контроля (диагностики) были получены следующие результаты:

1. Была разработана общая структура диагностического обеспечения буксовых узлов современных вагонов со встроенными системами контроля, состоящая из аппаратной и программно-информационной частей.
2. Предложены наиболее информативные диагностические признаки технического состояния буксового узла, позволяющие исключить негативное влияние сторонних факторов на достоверность контроля, а также наиболее полно использовать технические и информационные возможности ВСК.
3. Построена диагностическая модель буксового узла на основе тепловой модели с учетом дополнительных параметров, измерение которых технически возможно только встроенными системами.

Литература

1. Миронов, А. А. Анализ опыта эксплуатации технических средств контроля ходовых частей подвижного состава в движущихся поездах [Текст] / А. А. Миронов, В. Л. Образцов, В. Я. Соболев, К. В. Григорьев // Автоматика, связь, информатика. — 2005. — № 3. — С. 28–30.
2. Мартынов, И. Э. Нагурные испытания встроенной системы контроля технического состояния буксовых узлов [Текст] / И. Э. Мартынов, В. М. Петухов // Мир транспорта. — 2013. — № 2. — С. 180–182.

3. Буксовые узлы с датчиками компании SKF для современного подвижного состава [Текст] // Железные дороги мира. — 2008. — № 4. — С. 47–51.
4. Миронов, А. А. Контролепригодность подвижного состава к тепловой бесконтактной диагностике [Текст] / А. А. Миронов, В. Л. Образцов, А. Э. Павлюков // Автоматика, связь, информатика. — 2006. — № 11. — С. 54–57.
5. Schobel, A. Betrieb und Verkehr — Optimierungspotenziale bei der Stationierung von Heißläuferortungsanlagen [Text] / A. Schobel, J. Karner // Eisenbahntechnische Rundschau ETR. — 2005. — № 12. — P. 805–808.
6. Fee, M. Optimierungspotenziale bei der Stationierung von Heißläuferortungsanlagen. ETR — Eisenbahntechnische Rundschau Preventive medicine for bearings [Text] / M. Fee, G. Anderson // Railway Age. — 1995. — № 54. — P. 70–73.
7. Eisenbrand, E. Phönix MB — die neue Heißläuferortungsanlage [Text] / E. Eisenbrand // Signal&Draht. — 1998. — № 12. — P. 9–11.
8. Павлюков, А. Э. Диагностическая модель теплового контроля букс подвижного состава [Текст] / А. Э. Павлюков, А. А. Миронов, А. В. Занкович // Транспорт Урала. — 2004. — № 2. — С. 44–52.
9. Панкратов, Л. В. Мониторинг нагрева букс [Текст] / Л. В. Панкратов, С. Н. Чистяков // Автоматика, связь, информатика. — 2008. — № 6. — С. 23–24.
10. Петухов, В. М. Статистические характеристики телеметрических сигналов букс [Текст] / В. М. Петухов // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2009. — № 1/6 (37). — С. 20–23. — Режим доступа: \www/URL: <http://journals.uran.ua/ejet/article/view/3144>
11. Петухов, В. М. Аналіз температурних ознак розпізнавання несправних букс [Текст] / В. М. Петухов // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. — 2009. — № 107. — С. 128–132.
12. Мартинов, І. Е. Результати температурних випробувань дослідних буксових вузлів вантажних вагонів [Текст] / І. Е. Мартинов // Східно-Європейський журнал передових технологій. — 2004. — № 1 (7). — С. 66–69.

РОЗРОБКА СТРУКТУРИ ДІАГНОСТИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА ДІАГНОСТИЧНОЇ МОДЕЛІ БУКСОВИХ ВУЗЛІВ СУЧАСНИХ ВАГОНІВ

Розроблено загальна структура діагностичного забезпечення буксових вузлів сучасних вагонів. Запропоновано додаткові діагностичні ознаки, що дозволяють виключити негативний вплив сторонніх факторів на достовірність контролю, а також найбільше повно використати технічні та інформаційні можливості вбудованих засобів контролю. Побудовано діагностичну модель буксового вузла з урахуванням додаткових параметрів, вимір яких технічно можливе тільки вбудованими системами.

Ключові слова: буксовий вузол, контроль технічного стану, діагностична модель, вбудований засіб контролю, діагностичні ознаки.

Петухов Вадим Михайлович, кандидат технічних наук, кафедра вагонів, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна, e-mail: hiitwagon@mail.ru.

Петухов Вадим Михайлович, кандидат технічних наук, кафедра вагонів, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна.

Petukhov Vadim, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine, e-mail: hiitwagon@mail.ru