УДК 629.423.24:629.488.27:681.518.5

Диагностика качества сборки

Алексей КОСТЮКОВ
Alexey V.KOSTUKOV

Александр ЛАГАЕВ
Alexander A.LAGAEV

Андрей ЗАЙЦЕВ
Andrey V.ZAITSEV

Костюков Алексей Владимирович *– кандидат технических наук, технический директор НПЦ «Динамика» Омского государственного университета путей сообщения.*
Лагаев Александр Александрович *– ведущий инженер НПЦ «Динамика».*
Зайцев Андрей Валерьевич *– инженер НПЦ «Динамика».*

Автоматическая система оценки состояния узлов электроподвижного состава. В том числе колесно-моторных блоков и колесных пар.

Ключевые слова: качество, диагностика, автоматическая система.

Diagnostics of Assembling Quality

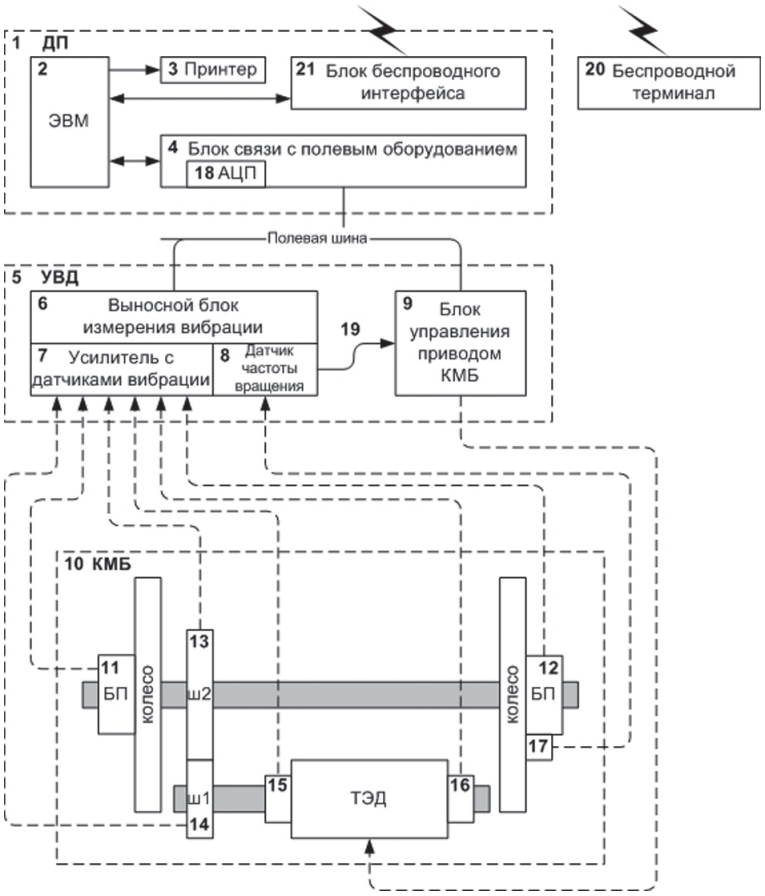
Kostukov, Alexey V. *– Ph.D. (Tech), technical director of research and industrial center «Diagnostics, reliability of machinery and complex automation» (RIC «Dynamics») of Omsk State University of Railway Engineering.*
Lagaev, Alexander A. *– principal engineer of RIC «Dynamics».*
Zaitsev, Andrey V. *– engineer of RIC «Dynamics».*

The article refers to automated system of diagnostics of units and devices of electric rolling stock, especially of wheel-motor units and wheel pairs.

Key words: quality, diagnostics, automated system.

Качество производства и ремонта колесно-моторных блоков и колесных пар всегда стояло на первом месте, поскольку отказы подобного оборудования наиболее опасны из-за последствий, которые они могут повлечь. Отказы машинных агрегатов подвижного состава железнодорожного транспорта снижают коэффициент их технического использования и коэффициент готовности, что приводит к высоким эксплуатационным издержкам в отрасли. Главной причиной такого положения является высокий износ подвижного состава, а также недостаточный контроль за техническим состоянием агрегатов при их изготовлении, ремонте и эксплуатации. Существенно уменьшить число внеплановых ремонтов и, как следствие, снизить эксплуатационные издержки можно путем внедрения систем диагностики качества на заводах и в депо, систем контроля и мониторинга технического состояния узлов подвижного состава в процессе ТО и ТР [1].

Система должна позволять оперативно оценить качество изготовления и/или ремонта колесно-моторных и колесно-редукторных блоков, выявить скры-



1 – ДП – диагностический пост; 2 – ЭВМ – электронно-вычислительная машина; 3 – принтер; 4 – блок связи с полевым оборудованием; 5 – УВД – устройство вибродиагностики; 6 – выносной блок измерения вибрации; 7 – усилитель с датчиками вибрации; 8 – датчик частоты вращения; 9 – блок управления приводом колесно-моторного блока; 10 – КМБ – колесно-моторный блок; 11 – подшипник буксы правой; 12 – подшипник буксы левой; 13 – подшипник ведомой шестерни; 14 – подшипник ведущей шестерни; 15 – подшипник левый ТЭД; 16 – подшипник правый ТЭД; 17 – место установки датчика частоты вращения; 18 – АЦП – аналогово-цифровой преобразователь; 19 – вход обратной связи стабилизации частоты вращения; 20 – беспроводной терминал; 21 – блок беспроводного интерфейса; БП – буксовый подшипник; ТЭД – тяговый электродвигатель; Ш1 – ведущая шестерня; Ш2 – ведомая шестерня.

Рис. 1. Автоматическая система диагностики колесно-моторных блоков моторвагонного подвижного состава.

тые дефекты подшипников, шестерен редукторов, качество смазки, дефекты балансировки, центровки и крепления узлов.

В локомотивных депо страны внедрены и эксплуатируются различные системы диагностики колесно-моторных блоков (КМБ) электропоездов, отличающиеся не только конструктивными особенностями, но и методикой, техпроцессом проведения диагностики, методами определения дефектов и т. д. Недостатком этих систем является низкая степень автоматизации диагностического процесса, что увеличивает его продолжительность, снижает достоверность и пропускную способность систем. В данной статье описывается автоматическая система виброакустического диагностирования КМБ, предложенная авторами [2]. Блок-схема ее приведена на рис. 1.

МЕТОДИКА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ

Сначала производится подготовка к работе, которая заключается в установке датчиков вибрации и частоты вращения на соответствующие узлы 11-17 КМБ 10. Одновременная установка датчиков вибрации на буксы колесной пары, опоры тягового двигателя, подшипники ведущей и ведомой шестерен редуктора колесно-моторного блока в зонах действия максимальных суммарных сил позволяет осуществлять комплексную диагностику КМБ с высокой степенью достоверности, исключив отрицательное влияние анизотропии каналов распространения колебаний. Установка датчиков вибрации в нагруженной зоне подшипников букс, тягового двигателя и редуктора помогает исключить отрицательное влияние зазоров на прохождение сигналов вибрации и существенно повышает качество диагностирования. Датчик частоты вращения 8 устанавливают на буксу в месте 17 для измерения частоты мелькания спиц колеса для стабилизации частоты вращения путем организации цифровой, через ЭВМ 2 или непосредственной, через вход 19, обратной связи.

Диагностический пост 1 обеспечивает организацию рабочего места оператора, который управляет процессом с помощью ЭВМ 2. Машина осуществляет выполнение диагностических процедур, обработку сигналов, вычисление диагностических признаков, оценку технического состояния КМБ, формирование, сохранение и передачу на принтер 3 актов испытаний, при этом ЭВМ 2 через блок связи с полевым оборудованием 4 управляет блоками УВД 5, в том числе задает необходимый скоростной режим блоку 9 управления приводом КМБ 10 и дает команды на измерение выносному блоку измерения вибрации 6. Сигналы с датчиков 7 и 8 поступают в выносной блок измерения вибрации 6, где усиливаются и передаются на входы блока связи с полевым оборудованием 4, который с помощью встроенного АЦП 18 преобразует их в цифровой вид и передает в ЭВМ 2. При этом машина каждый раз вычисляет и передает откорректированное значение частоты вращения тягового электродвигателя КМБ на вход блока 9 управления приводом КМБ 10 и тем самым обеспечивает обратную связь для поддержания заданного скоростного режима работы КМБ в процессе диагностики.

Беспроводной терминал 20 регулярно запрашивает и считывает с ЭВМ 2 через блок беспроводного интерфейса 21 информацию о процессе диагностирования КМБ и соответственно обновляет ее на своем экране. Оператор управляет процессом путем активации управляющих элементов на экране беспроводного терминала 20, при этом терминал отправляет команды ЭВМ 2 через блок беспроводного интерфейса 21 и машина исполняет команды оператора.

Обработка информации, поступающей от вибропреобразователей, для повышения достоверности осуществляется на основе принципа информационной полноты (¶-принцип) в частотной и временной областях [3].

Методика реализует установленную закономерность существования основного вибрационного процесса с максимальной энергией, определяемого структурой агрегата. Предложен алгоритм рекуррентной фильтрации шумовых и периодических составляющих (ШПС) вибрации, который позволяет одновременно оценить амплитуду и частоту периодической составляющей ШПС по максимуму функционала правдоподобия $\rho(j)_{max} = \max_{1<j<P_{ка}} \rho(j)$, если задать ядро $V_j(t)$ неоднородного интегрального уравнения Винера – Хопфа в спектральной области $V_j(k\omega_j)$ в виде решетчатой функции известной структуры (зубьями гребенки вверх):

$$\rho(j) = [s(\omega)][V_j(k\omega_j)],\ \rho(j) = \sum_{k=1}^{N} s_{pkj} \cdot 1(p_{kj}),$$

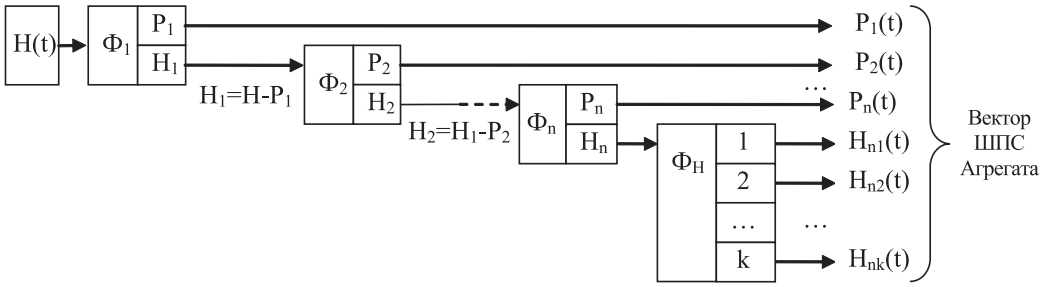
$$V_j(t) = \sum_{1}^{N} 1 \cdot \cos(k\omega_z t) = \sum_{1}^{N} 1 \cdot \cos\left(k \frac{F_{mj}}{N} 2\pi t\right),$$

где $s(\omega)$ — сигнал, содержащий ШПС; $1(\cdot)$ — единичная амплитуда; $k\omega_z$ — перестраиваемые в заданных пределах поисковые частоты гармоник основного периодического процесса; N — число искомых гармоник; F_{mj}, p_{kj} — предполагаемая частота N-й гармоники основного периодического процесса и номер k-й гармоники при j-й итерации (на j-м шаге).

Максимум функционала достигается на той частоте F_{m0}, которая совпадает с N-й гармоникой основного процесса с заданной погрешностью, лежащей в полосе анализа df. Результат пропорционален мощности искомого полигармонического процесса и однозначно определяет частоту и амплитуду s_{pkj} каждой его гармоники.

Для выделения шумовой компоненты H(t) из вибросигнала s(t) ядро $V_{Hj}(t)$ задают в виде решетчатой функции (зубьями гребенки вниз) вида $V_{Hj}(t) = 1 - V_j(t)$. Глобальный минимум функционала правдоподобия p_{Hj}, достигаемый при перестройке в диапазоне частот возможного нахождения основных гармоник, соответствует максимальному подавлению гармоник периодической компоненты в спектре вибросигнала и наиболее «чистому» выделению шумовой компоненты H(t) из сигнала.

Структура разработанного алгоритма автоматического распознавания спектра путем фильтрации ШПС приведена на рис. 2 и составляет основу способа и устройства диагностики, защищенного патентом [4]. Предложенные



H (t) – исходный вибрационный «шум» агрегата; $P_1(t)$… $P_n(t)$ – отфильтрованные периодические составляющие; $H_{n1}(t)$…$H_{nk}(t)$ – отфильтрованные шумовые составляющие – случайные процессы; $Ф_1$…$Ф_n$ – фильтры, с ядром по выходу P и с ядром $V_{Hj}(t)$ по выходу H; $Ф_н$ – набор полосовых фильтров.

Рис. 2. Алгоритм рекуррентной фильтрации шумовых и периодических составляющих виброакустического сигнала (ШПС) как функций времени.

способ, устройство и адаптивный алгоритм автоматического распознавания спектральной матрицы ШПС по максимуму выходного сигнала гребенчатого фильтра, достигаемого настройкой на основной виброакустический процесс $P_1(t)$, инвариантны к конструкции машины и режиму ее функционирования и обеспечивают оценку частоты вращения и уточнение структуры машины по спектру вибрации.

Предложенная автоматическая система и методика диагностирования КМБ обладает рядом преимуществ перед известными:

1. Одновременная установка датчиков вибрации на буксы колесной пары, опоры тягового двигателя, подшипники ведущей и ведомой шестерен редуктора колесно-моторного блока в зонах действия максимальных суммарных сил позволяет осуществлять единовременную комплексную диагностику КМБ МВПС с высокой степенью достоверности, исключив отрицательное влияние на достоверность анизотропии каналов распространения колебаний;

2. Включение в состав системы устройства вибродиагностики, содержащего выносной блок измерения вибрации с датчиком частоты вращения и блок управления приводом КМБ, их подключение через общую полевую шину и блок связи с полевым оборудованием к ЭВМ позволяет оперативно, удобно и с высокой степенью достоверности осуществлять автоматическую диагностику любого КМБ всего состава на заданном скоростном режиме без привлечения дополнительных устройств для питания и управления приводом КМБ;

3. Введение в состав диагностического поста блока связи с полевым оборудованием, содержащего аналого-цифровой преобразователь, соединенного двунаправленной связью с ЭВМ и через двунаправленную шину с выносным блоком измерения вибрации и входом блока управления приводом колесно-моторного блока, обеспечивает передачу измерительных сигналов и сигналов управления по единой полевой шине, что существенно упрощает монтаж системы в реальных условиях депо при протяженности диагностического стойла под поездом до нескольких сотен метров;

4. Снабжение блока управления приводом колесно-моторного блока входом обратной связи и подключение к нему выхода датчика частоты вращения обеспечивает высокую точность поддержания стабильной частоты вращения, что повышает достоверность диагностики КМБ;

5. Установка датчиков вибрации в нагруженной зоне подшипников букс, тягового двигателя и редуктора упрощает реализацию системы диагностики в разных вариантах ее использования — при ремонте на стенде и под вагоном в депо;

6. Введение в состав диагностического поста блока беспроводного интерфейса, подключенного к ЭВМ, и включение в состав системы беспроводного терминала обеспечивают удаленное управление процессом диагностирования из любой точки участка испытаний, что позволяет одному оператору без помощников осуществлять диагностику всех КМБ электропоезда без увеличения трудоемкости и дополнительных временных затрат.

Таблица 1

Критерий эффективности	Год эксплуатации													
	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	Всего
Кол-во продиагностированных КМБ	-	23	25	163	999	1668	1934	1994	2264	2453	2125	2438	1718	17804
Кол-во отбракованных КМБ	-	2	3	17	27	68	54	61	35	31	25	40	25	388
Процент отбракованных КМБ	-	9	12	10	3	4	3	3	1,5	1	1	1,5	1,5	4,2
Кол-во брака в поездной работе	5	2	2	1	0	0	0	0	0	0	2	1	0	-

7. Автоматическое распознавание ШПС виброакустического сигнала лежит в основе автоматической экспертной системы, снижающей субъективное влияние человеческого фактора на диагностический процесс.

Анализ совокупности отличительных признаков показал, что структура и состав предложенной системы обеспечивают единовременную автономную автоматизированную комплексную с высокой степенью достоверности и полноты диагностику КМБ в сборе на участке испытаний как отдельно, так и под вагоном, что позволяет значительно сократить трудоемкость и временные затраты на их ремонт и поэлементную диагностику, исключает возникновение неисправностей в КМБ в результате проведения подготовительных и заключительных операций.

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОМЫШЛЕННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМ

При ремонте колесно-моторных блоков широко используются стационарные посты диагностики на базе систем КОМПАКС®-ЭКСПРЕСС с автоматическим электроприводом тягового электродвигателя.

Продолжительность автоматической диагностики одного КМБ с печатью протокола не превышает 3 минут. Система выдает целеуказующие сообщения персоналу для приведения состояния КМБ в норму.

В таблице 1 приведена эффективность внедрения КОМПАКС®-ЭКСПРЕСС на примере одного из моторвагонных депо. После начала эксплуатации системы наблюдается уменьшение процента отбракованных КМБ и как следствие — уменьшение брака в поездной работе. В 2005 году увеличение количества отбракованных КМБ связано с реконструкцией моторвагонного депо.

Система диагностирования КМБ реализована и внедрена самостоятельно в системе КОМПАКС®-ЭКСПРЕСС и в составе систем комплексного диагностирования качества сборки и ремонта оборудования электропоездов КОМПАКС®-ЭКСПРЕСС-ТРЗ в 26 моторвагонных депо на пяти дорогах ОАО «РЖД».

Данная методика используется в системах КОМПАКС®-Агрегат для диагностирования колесно-моторных блоков и колесных пар после ремонта на испытательных стендах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сизов С.В., Аристов В.П., Костюков В.Н., Костюков А.В. Непрерывный мониторинг состояния моторвагонного подвижного состава // Железнодорожный транспорт. — 2008. — № 6.
2. Костюков В.Н., Костюков А.В., Лагаев А.А., Зайцев А.В.. Система диагностики колесно-моторных блоков моторвагонного подвижного состава. Заявка на изобретение № 2008138515/11 (049628), G01M 17/08 (2006.01). Положительное решение о выдаче патента на изобретение от 20.07.2009 года.
3. Костюков В.Н. Мониторинг безопасности производства. — М.: Машиностроение, 2002.
4. Костюков В.Н. Способ виброакустической диагностики машин периодического действия и устройство для его осуществления. Патент РФ на изобретение № 1280961, F04B51/00, G01M13/02. Бюл.1986, № 48.

Координаты авторов (contact information):
Костюков А. В. – post@dynamics.ru
Лагаев А. А. – metrologaev2007@rambler.ru
Зайцев А. В. – zaycevandrew@gmail.com