

УДК: 625.23: 531.3

Г. И. БОГОМАЗ, д-р. техн. наук

Е. Н. КОВТУН, канд. техн. наук

О. М. МАРКОВА, канд. техн. наук

В. В. МАЛЫЙ, инженер

В. В. РАЗНОСИЛИН, инженер

Институт технической механики НАН Украины и НКА Украины (ИТМ НАНУ и НКАУ)

ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ ХОДОВЫХ ЧАСТЕЙ РЕЛЬСОВЫХ ЭКИПАЖЕЙ В ПРОЦЕССЕ ДВИЖЕНИЯ

У статті розглядається можливість оцінки технічного стану ходової частини екіпажів по їхніх динамічних характеристиках, одержаних під час руху поїзда за допомогою спеціально розробленої системи діагностики.

В статье рассматривается возможность оценки технического состояния ходовой части экипажей по их динамическим характеристикам, полученным в процессе движения поезда с помощью специально разработанной системы диагностики.

The possibility of estimating the technical state of railway vehicle running gears by their dynamic characteristics obtained during train motion with the help of developed diagnostic system is considered in the paper.

В связи с увеличением интенсивности грузо- и пассажиропотоков и ростом скорости движения поездов все большее значение приобретает безопасность движения подвижного состава. Одним из эффективных средств решения указанной задачи является использование автоматических систем управления движением и диагностики подвижного состава. В настоящее время используется множество систем с различными функциональными возможностями [1, 2]. Для Укрзалізничці задачі діагностики подвижного состава также достаточно актуальны [3].

В предлагаемой работе рассматривается возможность оценки технического состояния ходовых частей экипажей по их динамическим характеристикам, полученным в процессе движения поезда с помощью специально разработанной системы диагностики. В качестве динамических характеристик экипажа предполагается использовать вертикальные, горизонтальные и продольные ускорения кузова в шкворневых зонах, коэффициенты вертикальной динамики экипажа, относительное влияние тележек и кузова, вертикальные и горизонтальные ускорения в буксовых узлах.

На рис. 1 показана структурная схема предлагаемой системы диагностики.

Как видно из рисунка, система состоит из двух основных подсистем: сбора и обработки информации. Первая из подсистем состоит из

информационно-управляющих шин передачи данных (шины А, В) и оборудования вагона. В состав оборудования вагона входят датчики $D_1 \dots D_n$, которые через аналого-цифровой преобразователь подключены к микроконтроллеру (МК) вагона. МК вагона в свою очередь через последовательный порт вывода подключается к одной из шин передачи данных. Задачей МК является опрос датчиков, определение максимальных значений ускорений, прогибов рессорных комплектов, углов виляния тележек, времени их регистрации, а также передача полученных данных в ЭВМ. Частотный диапазон датчиков – 0,5...20 Гц, частота опроса – 200 Гц. На рис. 2 и 3 представлены временные диаграммы процессов инициализации подсистемы сбора информации и цикла передачи данных.

Для подготовки микроконтроллеров к работе ЭВМ посылает команду инициализации (1), после чего последовательно присваивает специальный номер каждому МК (2). В ответ МК передает в ЭВМ конфигурационную информацию (3). Если в течение 10 секунд ЭВМ не получает ответа от МК, то инициализация завершается (6).

Цикл опроса и тестирования начинается с того, что ЭВМ посылает специальную команду, по которой МК сохраняют полученные к этому времени результаты обработки сигналов датчиков (1). После этого ЭВМ последовательно опрашивает МК (2) и в ответ получает результаты работы МК (3).

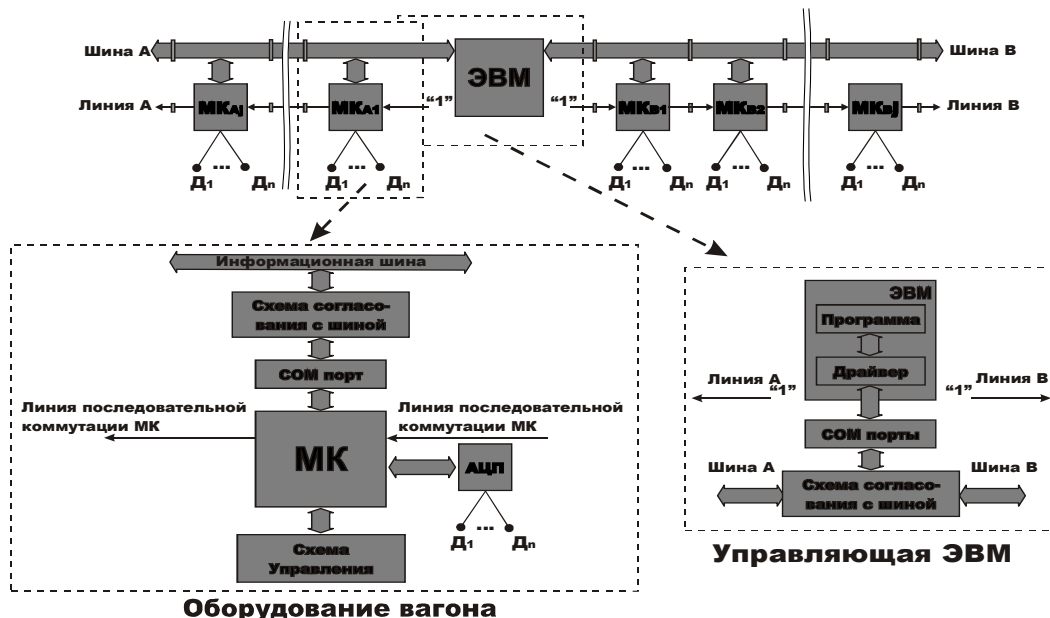


Рис. 1. Структурная схема системы диагностики

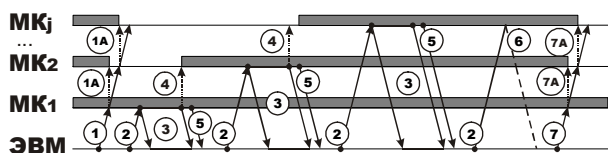


Рис. 2. Временная диаграмма инициализации подсистемы сбора информации

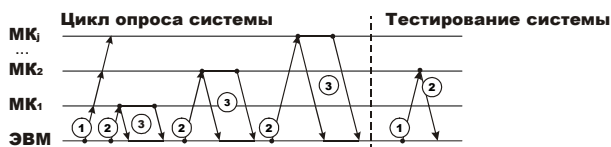


Рис. 3. Временная диаграмма цикла опроса и тестирования системы

Управляющая ЭВМ, которая устанавливается в штабном вагоне, выполняет три основные задачи.

1. Управление сбором данных, подготовка данных для оперативной обработки в течение поездки или обработки в конце поездки.
2. Сравнительная оценка состояния различных участков пути.
3. Сравнительная оценка состояния тележек поезда.

На первом этапе разработки программного обеспечения системы диагностики планируется использовать только вертикальные и горизонтальные ускорения кузова в шкворневых зонах. В течение поездки система опрашивает микроконтроллеры, установленные на вагонах поезда, через определенные промежутки времени (не менее 5 с). На каждом интервале времени ЭВМ получает значения максимумов ускоре-

ний кузовов вагонов в шкворневой зоне, а также фиксирует время их появления. Для интервалов времени не менее 200 с рассчитываются показатели плавности хода.

Используя полученные данные, можно определить положения точек пути, в которых для данной тележки был зафиксирован максимум ускорений. Далее каждый из участков пути оценивается следующим образом: если значения максимумов ускорений не менее чем от половины тележек превышают допустимый уровень, то максимумы ускорений тележек и их положение относительно пути заносятся в отдельный файл. Максимальная длина участка при длительности интервала измерений 5 с и скорости движения до 40 м/с не будет превышать 200 м. Допустимые значения уровней выбраны в соответствии с «Нормами...» [4]: горизонтальные ускорения не должны превышать 1,5 м/с²; а вертикальные – 2,5 м/с².

При сравнительной оценке состояния тележек предполагается, что в начале эксплуатации состояние всех тележек поезда примерно одинаковое. В процессе эксплуатации могут появиться дефекты ходовых частей, которые усиливаются с течением времени (несколько поездок), и дефекты, которые появляются в течение одной поездки.

Для каждой тележки вычисляется математическое ожидание максимумов рассматриваемых ускорений на всем пройденном пути. Полученные значения записываются в массив результатов в убывающем порядке: первая строка содержит максимальные значения, последняя строка – минимальные значения. Вся информа-

ция, полученная в результате опроса вагонов поезда, а также результаты её анализа сохраняются в виде файла протокола, который может быть использован после завершения поездки.

По данным нескольких поездок можно судить о состоянии тележек. Если значение математического ожидания максимумов ускорений над какой-либо тележкой от поездки к поездке увеличивается, то этой тележке необходимо уделить повышенное внимание при очередном техническом осмотре. Также учитывается ситуация, когда состояние какой-либо тележки значительно ухудшится в течение одной поездки. Если максимумы ускорений над одной тележкой на нескольких интервалах опроса превышают допустимый уровень, а над остальными тележками остаются в норме, то информация о такой тележке оперативно передается машинисту поезда.

Для отработки системы диагностики на первом этапе методами математического моделирования исследовано движение сцепы из трех пассажирских вагонов на стандартных тележках. Расчетная схема каждого вагона сцепы представляется как система девяти твердых тел (кузов, две надрессорные балки, две рамы тележек и четыре колесных пары), соединенных упругими, диссипативными и фрикционными элементами [5].

При составлении математической модели учитывались нелинейности, вызванные действием сил сухого трения, геометрическим и физическим взаимодействием колес и рельсов, а также нелинейные характеристики работы автосцепного устройства, буферов и переходных площадок в соединениях вагонов сцепы между собой. Путь моделировался приведенной к каждому колесу массой, опирающейся в вертикальном и горизонтальном поперечном направлениях на пружины и демпферы вязкого трения, характеризующие упруго-диссипативные свойства рельсов и подрельсового основания. Таким образом, для исследования динамических качеств сцепы трех пассажирских вагонов рассматривалась система обыкновенных нелинейных дифференциальных уравнений сто тридцать восьмого порядка [6].

Разработанная модель позволяет оценить динамические характеристики экипажей при движении по пути произвольного очертания в плане и профиле, включающему прямолинейные участки, переходные и круговые кривые. В качестве возмущающих воздействий рассматривались случайные вертикальные и горизонтальные неровности рельсовой колеи, спек-

тральные плотности и дисперсии которых соответствуют состоянию пути различных классов.

Проведенные многовариантные расчеты показали существенное влияние состояния пути, по которому движется экипаж, на его динамические характеристики (рис. 4).

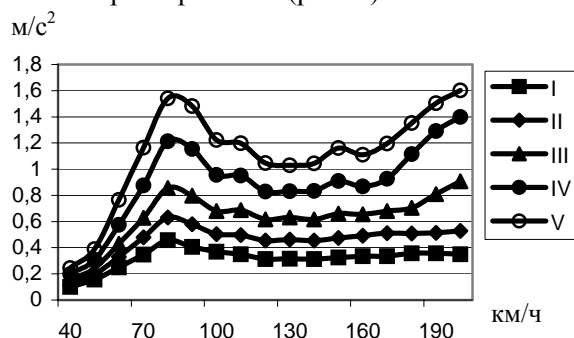


Рис. 4. Зависимость горизонтальных ускорений кузова от скорости движения и класса неровностей пути

Здесь по оси абсцисс приведена скорость движения поезда, а по оси ординат – среднее значение максимальных ускорений кузова для всех вариантов расчета при данной скорости движения. Цифрами I..V обозначены графики, полученные для соответствующих классов неровностей пути.

Изменение динамических качеств вагона может иметь место и при появлении ряда дефектов ходовых частей. В качестве примера на рис. 5 показано влияние отсутствия масла в одном из демпферов центрального подвешивания.

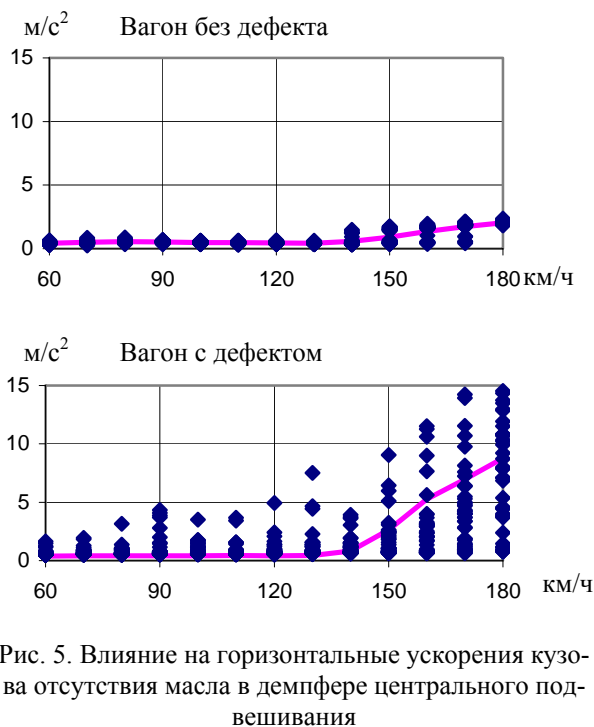


Рис. 5. Влияние на горизонтальные ускорения кузова отсутствия масла в демпфере центрального подвешивания

На графике рис. 5 по оси абсцисс показана скорость движения поезда, а по оси ординат – распределение максимальных горизонтальных ускорений кузова для всех вариантов расчета при данной скорости движения. Сплошная линия соответствует средним значениям максимальных ускорений кузова.

Для отработки программного обеспечения системы диагностики были подготовлены тестовые примеры выходных сигналов датчиков вертикальных и горизонтальных ускорений в шкворневых зонах. В первом тесте проверялась реакция программы на изменение класса неровностей пути. Для этого моделировалось движение сцепа по пути, состоящему из трех участков с различным классом неровностей: 1468 м – неровности II класса; 296 м – неровности IV класса; 396 м – неровности III класса. Результаты работы программы представлены на рис. 6. Видно, что ухудшение состояния пути может быть идентифицировано по значениям максимальных ускорений кузова в шкворневых зонах.

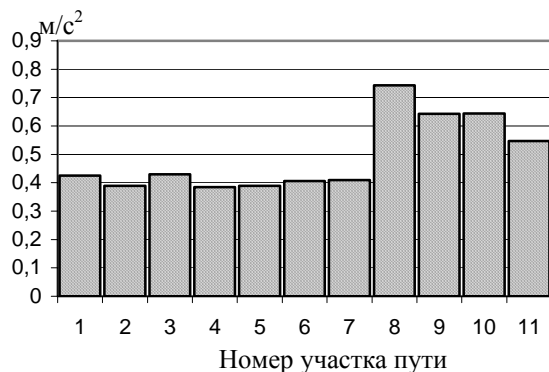


Рис. 6. Значения максимумов горизонтальных ускорений кузова для различных участков пути

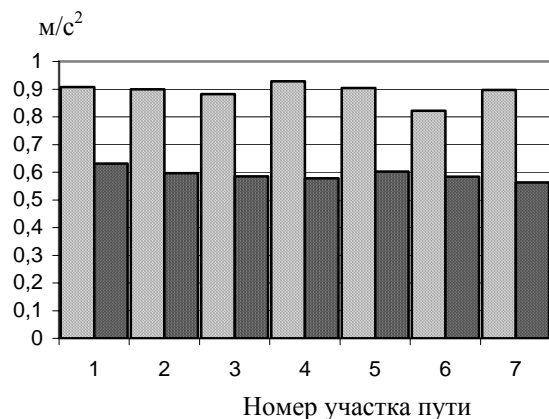


Рис. 7. Значения максимумов горизонтальных ускорений кузова для 1-й и 2-й тележек вагона

Во втором тесте проверялась реакция программы на различное состояние тележек вагона. Моделировалась ситуация, когда отсутствует масло в демпферах первой тележки. Результаты, представленные на рис. 7, показывают, что ухудшенное состояние тележки может быть выявлено при сравнении с другими тележками.

Исследование динамики сцепа трех пассажирских вагонов показало возможность использования вертикальных и горизонтальных ускорений кузова в шкворневых зонах для сравнительной оценки состояния пути и ходовых частей поезда. С использованием полученных данных разработан проект системы оперативной компьютерной диагностики для сравнительной оценки состояния пути и ходовых частей скоростного пассажирского поезда. В дальнейшем планируется провести отработку программного обеспечения системы с использованием экспериментальных данных.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бортовая система мониторинга пути // Железные дороги мира. – 2003. – №5 – С. 75-77.
2. Техническая диагностика токоприемников в эксплуатации // Железные дороги мира. – 2002. – №4 – С. 37-40.
3. Демин Р.Ю., Демин Ю.В., Дмитриев Д.В. Компьютерная система контроля состояния ходовых частей пассажирских вагонов // Залізничний транспорт України. – 2003. – №5 – С. 4-6.
4. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). – М.: ГосНИИВ – ВНИИЖТ, 1996. – 314 с.
5. Автоколебания и устойчивость движения рельсовых экипажей / Ю.В. Демин, Л.А. Длугач, М.Л. Коротенко, О.М. Маркова. – К: Наукова думка, 1984. – 160 с.
6. Богомаз Г.И., Ковтун Е.Н., Маркова О.М., Малый В.В. Влияние состояния ходовых частей экипажа на его динамические характеристики // Труды III научно-технической конф. «Подвижной состав XI века: идеи, требования, проекты». – С.-Пб. – 2003. – С. 81-83.