

УДК 629.4

Е. А. Милованова, И. А. Любченко

Иркутский государственный университет путей сообщения

РАЗРАБОТКА ПОДХОДОВ СОЗДАНИЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО КОМПЛЕКСА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Дата поступления: 20.03.2017

Решение о публикации: 27.03.2017

Дата публикации: 30.04.2017

Аннотация: Предложены способы организации процесса научных исследований на железнодорожном транспорте при достижении высокой точности объективной оценки динамики железнодорожного подвижного транспортного средства во всем диапазоне изменения измеряемых параметров, с использованием опыта поточных исследований динамики летательных аппаратов, и адаптацией этого опыта к объекту исследования.

Ключевые слова: поточные исследования, взаимодействие пути и подвижного состава, динамические характеристики, экипажная часть.

Evgeniya A. Milovanova, Irina A. Lyubchenko

Irkutsk State Transport University

THE DEVELOPMENT OF APPROACHES OF CREATION OF RESEARCH COMPLEX OF RAILWAY TRANSPORT

Abstract: The ways of organizing the research process in railway transport in achieving a high precision objective evaluation of dynamics of railway rolling stock vehicles throughout the range of variation of the measured parameters, using the experience of flow studies of the dynamics of aircraft, and adapting that experience to the object of study.

Keywords: stream study, the interaction paths and rolling stock, dynamic characteristics, undercarriage part.

Введение

С целью достижения высокой точности объективной оценки динамики железнодорожного подвижного транспортного средства во всем диапазоне изменения измеряемых параметров, использован опыт поточных исследований динамики летательных аппаратов [1-4], с адаптацией этого опыта к объекту исследования. Однако, адаптация привлекаемых математических моделей к исследованию динамических характеристик

объектов, реализующих в процессе движения большое количество степеней свободы (каковыми, например, являются железнодорожные подвижные транспортные средства) [5], затруднена в связи с чисто техническими трудностями, обусловленными:

- сложностью и трудоемкостью математических вычислений;
- необходимостью предварительного определения большого количества коэффициентов уравнений, зачастую являющихся нелинейными;
- погрешностью вычислений, предопределенной принимаемыми упрощениями.

Поиск решения

Облегчение поиска решения этой задачи осуществляется путем рассмотрения частных задач движения в горизонтальной и вертикальных плоскостях [6, 7].

Приведем алгоритм решения одной из частных задач движения, например бокового движения транспортного средства, отвечающий предлагаемой методике поточных исследований. Суммирование решений частных задач, полученных по аналогичному алгоритму, даст возможность обобщения полной картины поведения динамических характеристик транспортного средства.

Динамика транспортного средства в плоскости поперечного движения определяется значениями ускорений, действующих на него в направлении поперечной оси ОУ и угловой скорости его вращения относительно продольной оси ОХ.

Величина перегрузки в боковом движении, измеренная акселерометром, представлена двумя составляющими:

$$n_y = n_{y_{отн}} + \dot{\omega}_x \cdot \frac{L}{g}, \quad (1)$$

где $n_{y_{отн}}$ - линейная перегрузка в боковом движении кузова относительно тележки (в данной точке транспортного средства суммирует характеристику движения кузова в горизонтальной плоскости: относительное влияние), ед.;

$n_{б.к.} = \dot{\omega}_x \cdot \frac{L}{g}$ - перегрузка, вызванная вращением кузова относительно оси продольного движения экипажа ОХ (боковая качка), ед.;

$\dot{\omega}_x$ - угловое ускорение вращения кузова относительно оси ОХ, с⁻²;

L - расстояние по вертикали от оси вращения кузова ОХ до места установки датчика измерений, м;

$g = 9,81$ м/с².

Для количественной оценки динамики бокового движения используется интегральный критерий (N – критерий) вида:

$$N = \int_{t_1}^{t_2} |n_y(t)| dt, \quad \text{или} \quad N = \int_{S_1}^{S_2} |n_y(S)| dS, \quad (2)$$

где n_y – перегрузка по оси измерения ОУ;

S - пройденный путь;

N – сумма абсолютных значений перегрузок за время от t_1 до t_2 или на участке пути от S_1 до S_2 .

Для установления связи полученных результатов измерений с характером продольного движения экипажа, нормирование N – критерия производится по скорости. Тогда выражение (2) приводится к виду:

$$N = \frac{1}{V_x} \int_{t_1}^{t_2} |n_y(t)| dt, \quad \text{или} \quad N = \frac{1}{V_x} \int_{S_1}^{S_2} |n_y(S)| dS, \quad (3)$$

где V_x – средняя скорость продольного движения транспортного средства за время $\Delta t = t_2 - t_1$, или на участке $\Delta S = S_2 - S_1$.

Для уменьшения зависимости вычислений от погрешности скоростемеров локомотива вычисление скорости движения производится интегрированием величины перегрузки действующей по продольной оси движения экипажа ОХ.

$$V_x = \int_{t_1}^{t_2} |n_x(t)| \cdot g \cdot dt, \quad \text{или} \quad V_x = \int_{S_1}^{S_2} |n_x(S)| \cdot g \cdot dS, \quad (4)$$

где n_x – продольная перегрузка по показаниям акселерометра, ед.

Все измерения производятся при одинаковой высоте установки датчиков L .

Оценка боковой динамики осуществляется сравнением полученных значений N для исследуемого произвольного и эталонного участков пути или для совокупности одноименных транспортных средств, эксплуатируемых одновременно на одном и том же участке пути, эталонном среди которых является тот, для которого значение N – минимально.

Реализация предложенной методики качественной и количественной оценки боковой динамики электровоза осуществляется с помощью микропроцессорной информационно-измерительной системы, пример построения структурной схемы которой для бокового движения представлен на рис.1, где:

– ДЛУ – датчик линейных ускорений предназначен для измерения величины перегрузок (n_x, n_y, n_z);

– ДУС – датчик угловой скорости измеряет угловую скорость вращения кузова ($\omega_x, \omega_y, \omega_z$);

– ГВ – гидровертикаль измеряет углы отклонения от нейтрального положения вертикальной оси транспортного средства в плоскостях продольного (θ) и поперечного (γ) движения (соответственно при галопировании и боковой качке);

– МК – микроконтроллер осуществляет обработку информации и запись результатов, полученных в соответствии с заданным алгоритмом, в память;

- память инструментального компьютера используется для сравнения полученных значений N – критерия с эталонными;
- результаты обработки информации могут быть преобразованы в управляющий сигнал для системы автоматического управления (САУ) движением транспортного средства.

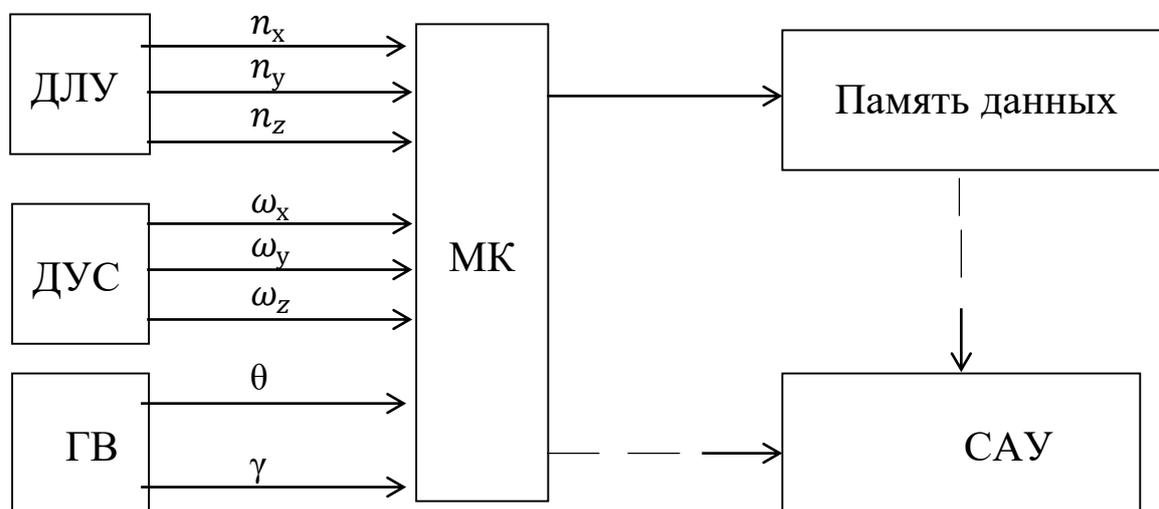


Рис.1. Структурная схема микропроцессорной информационно-измерительной системы

Предложенный алгоритм для реализации нового способа исследования динамики железнодорожного подвижного транспортного средства, заключается в измерении характеристических параметров динамики объекта наблюдения и в последующей математической обработке результатов измерений, и отличается тем, что измеряемые величины кинематических и динамических характеристик движения экипажа представляют в виде массивов мгновенных значений перегрузок, действующих на транспортное средство в направлении координатных осей в данном промежутке времени или на данном участке пути; интегрированием значений перегрузок, определяют среднюю скорость движения экипажа, а также нормированный по этой скорости N -критерий, представляющий собой интегральное значение перегрузки для тех же пределов интегрирования; сравнивая значение N -критерия с эталонным для участка пути или транспортного средства, судят о динамических качествах объекта наблюдения.

Преимущества

Конкурентные преимущества разрабатываемого устройства определены в сравнении с применяемыми для экспериментальной оценки

динамики подвижного состава на железнодорожном транспорте системами: автоматизированной системой обнаружения отрицательной динамики (АСООД) и устройством регистрации ускорений поезда (УРУП-1).

Система АСООД предназначена для выявления вагонов, имеющих повышенные колебания кузова на ходу поезда. Однако возможности использования системы АСООД для оценки динамики железнодорожного подвижного транспортного средства во всем диапазоне измерения характерных параметров его движения – ограничены. Это объясняется тем, что она является стационарной, устанавливается на подходе к станции и предназначена для проведения измерений в ограниченном диапазоне измерения скоростей движения транспортного средства (60-80 км/ч).

Устройство регистрации ускорений поезда (УРУП-1), предназначено для измерения линейных перегрузок, действующих на транспортное средство и его части в процессе движения. К достоинствам следует отнести его конструктивную простоту и надежность в эксплуатации, однако, возможности его использования для оценки динамики железнодорожного транспортного средства ограничены:

- необходимостью проверки диапазона измерения перегрузок, что требует включения в комплект устройства вибростола эталонной вибрационной установки;
- отсутствием возможности регистрации угловых перемещений и скоростей при вращательном движении кузова транспортного средства относительно координатных осей;
- диапазоном значений регистрируемых перегрузок, превышающих по модулю значение $3g$ (которое редко реализовывалось в ходе исследований).

По этим причинам высокая точность объективной оценки динамики железнодорожного подвижного транспортного средства во всем диапазоне измерения измеряемых параметров системой АСООД и устройством УРУП-1 не может быть обеспечена.

Разрабатываемое устройство решает задачу непрерывного измерения динамических характеристик подвижного транспортного средства во всем диапазоне их изменения по шести составляющим этого движения (три поступательных в направлении координатных осей и три вращательных относительно этих осей) и обеспечивает возможность оперативного вмешательства в управление процессом движения.

Наиболее надежным способом получения точных результатов исследований по взаимодействию пути и подвижного состава, а также проверки правильности теоретического описания этих процессов были и остаются экспериментальные методы, обладающие высокой надежностью конечных результатов.

В рамках проводимых Иркутским Государственным Университетом Путей Сообщения исследований динамических характеристик электровоза

возникла необходимость в оценке его боковой динамики. Натурные испытания проводились на электровозах ВЛ-80Р №№ 1729, 1556, 1581 при скорости движения 60 км/ч на перегоне между станциями Боготол – Мариинск с 3861 по 3866 км, выбранном по признаку большого количества кривых, в том числе кривых малого радиуса.

Возможности использования системы АСООД ограничены в силу ее стационарности, поэтому она не была использована в эксперименте.

Информация о величине линейной перегрузки, действующей вдоль боковой оси, полученная с помощью УРУП-1, в силу эксплуатационных характеристик этой системы оказалась не полной.

К исследованиям был привлечен виброколлектор СК-1100, являющийся быстродействующей портативной системой сбора и хранения информации о вибросостоянии машин и оборудования. С его помощью на каждом из вышеперечисленных электровозов были проведены циклы испытаний. Длительность единичного испытания составляла 5,2 с, что определено техническими возможностями устройства. За это время устройством фиксировалось 65536 измерений, которые впоследствии были обработаны и проанализированы.

Для количественной оценки динамики был использован интегральный критерий по техническому решению, предлагающему способ исследования динамики железнодорожного подвижного транспортного средства [8]. Сравнение результатов интегрирования (интегральная оценка) с результатами натурных испытаний дает право утверждать, что предложенный способ оценки боковой динамики электровозов обеспечивает возможность получения (в удобной форме для оперативного вмешательства в управление движением) результатов оперативной регистрации динамических качеств железнодорожного транспортного средства – объекта наблюдения. При этом, наличие этой информации непосредственно в процессе движения обеспечивает возможность мгновенного реагирования системы автоматического управления движением экипажа на сложившуюся сиюминутную обстановку.

Необходимым условием эффективного применения этого способа является расширение разрешающих возможностей средств измерения динамических характеристик – датчиков измерительных систем. Например, тот же виброколлектор СК-1100 малоэффективен, так как за 5,2 с единичного испытания невозможно получить статистически верную картину движения: информация искажается за счет алгоритмически ограниченной полосы пропускания устройства, к тому же одно устройство позволяет производить измерения линейной перегрузки только в направлении одной оси. Перспективным представляется поиск в использовании акселерометров (аналогичных, например, применяемым в авиации), в комплекте с современными средствами микропроцессорной техники.

Под понятием «поточные исследования» подразумевается возможность исследования динамических характеристик, отвечающих всем состояниям исследуемой системы во все моменты времени. Способ исследования динамики подвижного транспортного средства по техническому решению [8], позволяющий в каждый момент движения судить об изменении величин кинематических и динамических характеристик экипажа и сравнивать их с эталонными значениями, отвечает этому понятию. Однако, реализация этого способа, обеспечивая интегральную оценку поведения всей совокупности материальных объектов, включенных в конструкцию экипажа, не дает возможности изучить индивидуальный характер изменения технического состояния отдельных материальных объектов совокупности, при попытках совершенствования их конструкции.

Общепринята практика стендовых исследований индивидуальных технических свойств узлов и деталей - составляющих элементов конструкции экипажа, однако при объединении их в единое транспортное средство требуется корректировка этих технических свойств для обеспечения, по возможности, оптимального их сочетания.

Известны способы осуществления исследований, например, в ходе создания новых конструкций летательных аппаратов, основанные на применении принципа обращения движения, при котором сочетание приемов математического и физического моделирования обеспечивают высокую эффективность результатов исследований [1-4]. Наиболее известным объектом, на котором этот способ реализуется на практике, является аэродинамическая труба ЦАГИ.

По объему и значительности результатов исследований этому объекту в железнодорожном хозяйстве страны соответствует экспериментальное кольцо ВНИИЖТ с его комплексом лабораторного и производственного обеспечения. Однако, при высоком уровне технической оснащенности экспериментального кольца, на его базе не обеспечена возможность получения достоверной информации о техническом состоянии элементов транспортной системы в любой точке пространства, в любой момент времени («поточные исследования»). Главными факторами ограничения этой возможности являются протяженность кольца и невозможность комплексного сочетания всех возможных случаев движения на выбранном узком участке наблюдения одновременно.

Предлагаемый способ исследования динамических характеристик взаимодействия железнодорожного подвижного транспортного средства и рельсового пути [8] решает задачу обеспечения возможности поточных исследований динамических характеристик взаимодействия железнодорожного подвижного транспортного средства и рельсового пути при стационарном расположении измерительной оснастки и средств исследования.

Согласно этому способу поставленная задача решается применением принципа обращения движения. При этом один из объектов исследования, представляющий собой транспортное средство или комплекс его элементов (колесные пары, тележки, кузов, системы подвешивания, т.д.), как вариант - их физическую модель, снабженный измерительной оснасткой, средствами исследования, а также средствами имитации различных видов нагрузки, сообщаемых транспортному средству в процессе движения, зафиксирован неподвижно на участке наблюдения. Возмущающий импульс неподвижному объекту исследования сообщается со стороны колесной пары, взаимодействующей с подвижным объектом исследования, которым является набегающий на колесо рельсовый путь, состоящий из совокупности стандартных рельсов и представляющий собой аналог подвижного звена, например, ремня (цепи) в ременной (цепной) передаче. Взаимодействие с колесом транспортного средства осуществляется на горизонтальном участке «бесконечного» подвижного рельсового пути, с возможностью обеспечения регулировки упругости основания рельсового пути, а также интенсивности и направленности силового взаимодействия колеса и рельса.

Заключение

Технический результат реализации предлагаемой методики поточных исследований заключается в возможности оперативной регистрации сравнительных динамических качеств железнодорожного транспортного средства – объекта наблюдения в процессе его движения и, таким образом, обеспечения условий мгновенного реагирования системы автоматического управления движением экипажа на сложившуюся сиюминутную обстановку, с учётом рекомендаций, сформулированных в ходе теоретических исследований [6, 7, 9].

Библиографический список

1. Гайфуллин А. М. Вихревые течения. Москва: Наука, 2015. – 319 с.
2. Остроухов С. П. Аэродинамика воздушных винтов и винтокольцевых движителей. Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2014. – 328 с.
3. Хлебников В. С. Аэротермодинамика элементов летательных аппаратов при стационарном и нестационарном сверхзвуковом отрывном обтекании. Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2014. – 168 с.
4. Башкин В. А., Егоров И. В. Численное исследование задач внешней и внутренней аэродинамики. Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2013. – 332 с.

5. Камаев В. А. Оптимизация параметров ходовых частей железнодорожного подвижного состава. Москва: Машиностроение, 1989. – 216 с.
6. Демченко И. П. Вертикальные и продольные колебания электровоза ВЛ65-1-016 на прямых участках пути. Новочеркасск: Электровозостроение. – Т. 39, 1998. – С. 25-31.
7. Демченко И. П. Боковые колебания электровоза ВЛ65-016 на прямых участках пути. Новочеркасск: Электровозостроение. Т. 39, 1998. – С. 31-37.
8. Патент РФ № 2273013. Способ исследования динамики железнодорожного подвижного транспортного средства. Бюл. № 9. 2006.
9. Кожевников С. Н. Механизмы. Москва: Машиностроение, 1976. – 784 с.

References

1. Gaifullin A. M. Vihrevye techeniya [A vortex flow]. Moscow, 2015. 319 p.
2. Ostroukhov S. P. Aehrodinamika vozdushnyh vintov i vintokol'cevyh dvizhitelej [Aerodynamics of propellers and propulsion vinokurtseva]. Moscow, 2014. 328 p.
3. Khlebnikov V. S. Aehrotermodynamika ehlementov letatel'nyh apparatov pri stacionarnom i nestacionarnom sverhzvukovom otrivnom obtekanii [Aerothermodynamics components of aircraft at supersonic steady and unsteady separated flow]. Moscow, 2014. 168 p.
4. Bashkin V. A. & Egorov I. V. CHislennoe issledovanie zadach vneshnej i vnutrennej aehrodinamiki [Numerical study of internal and external tasks of aerodynamics]. Moscow, 2013. 332 p.
5. Kamaev V. A. Optimizaciya parametrov hodovyh chastej zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava [Optimization of the parameters of the undercarriage of rolling stock]. Moscow, 1989. 216 p.
6. Demchenko I. P. *EHlektrovozostroenie – Locomotive Building*, vol. 39, 1998, pp. 25–31.
7. Demchenko I. P. *EHlektrovozostroenie – Locomotive Building*, vol. 39, 1998, pp. 31–37.
8. RF patent № 2273013. Method of studying the dynamics of railway vehicles. Bull. no. 9, 2006.
9. Kozhevnikov S. N. Mashinostroenie [Mechanical engineering]. Moscow, 1976, 784 p.

Сведения об авторах:

МИЛОВАНОВА Евгения Алексеевна, кандидат технических наук, доцент кафедры ЭПС, Иркутский государственный университет путей сообщения

E-mail: evakami@yandex.ru

ЛЮБЧЕНКО Ирина Алексеевна, студентка, Иркутский государственный университет путей сообщения

E-mail: lubchenco.i@yandex.ru

Information about authors:

Evgeniya A. MILOVANOVA, Ph.D. (Tech), associate professor of the department EPS, Irkutsk State University of Railway Engineering (IrGUPS)

E-mail: evakami@yandex.ru

Irina A. LYUBCHENKO, student of the Irkutsk State University of Railway Engineering

E-mail: lubchenco.i@yandex.ru