

УДК 629.424.2

Д.И. Гончаров, В.В. Кобищанов, Д.Я. Антипин

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК САМОХОДНОЙ АВТОМОТРИСЫ МЕТОДАМИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

На основе твердотельного компьютерного моделирования движения самоходной автомотрисы «Север» исследованы параметры ее ходовой динамики. Верификация полученных результатов выполнена по данным натурных ходовых испытаний.

Ключевые слова: самоходная автомотриса, твердотельное компьютерное моделирование, динамические характеристики, безопасность движения.

В условиях существующей на рынке железнодорожного подвижного состава конкурентной среды формируются новые тенденции, связанные с необходимостью создания новых конструкций, ориентированных на потребности конкретных заказчиков. Для обеспечения конкурентоспособности продукции ее проектирование должно проводиться в сокращенные сроки с минимальными материальными затратами. При этом необходимо обеспечение повышения безопасности, надежности и качества продукции. Решение указанных задач возможно путем активного внедрения в процесс проектирования методов математического и компьютерного моделирования, позволяющих на ранних стадиях создания подвижного состава с достаточной степенью надежности прогнозировать его параметры и в случае необходимости принимать обоснованные решения по их корректировке. Методы компьютерного моделирования значительно сокращают затраты на создание подвижного состава за счет уменьшения объема необходимых дорогостоящих натурных испытаний и объемов работ, связанных с доработкой опытных образцов. Получение положительного эффекта от использования методов моделирования при проектировании возможно только при обеспечении жесткого контроля достоверности и надежности получаемых результатов на основе данных натурных экспериментальных исследований.

С учетом изложенного целесообразным является использование методов математического и компьютерного моделирования при исследовании динамических характеристик единиц специального мотор-вагонного подвижного состава, в частности самоходных автомотрис.

В качестве объекта исследования рассматривается самоходная автомотриса «Север», спроектированная ЗАО «НО «Тверской институт вагоностроения» по заказу фирмы «ТВЕМА». Автомотриса используется как платформа для универсальных путеизмерительных и диагностических комплексов [1].

Теоретическая оценка динамических характеристик автомотрисы проведена на основе компьютерного моделирования ее движения по реальным неровностям пути на прямых, кривых участках пути и стрелочных переводах со скоростями в диапазоне 40 – 120 км/ч.

Динамическая модель автомотрисы представляет собой систему связанных твердых тел, описывающую ее пространственные колебания (рис. 1). Разработка и расчет модели выполнены в среде программного комплекса моделирования динамики систем тел «Универсальный механизм» [2].

При создании компьютерной модели использован метод подсистем [3]. В частности, в качестве подсистем представлены моторные тележки 2 (рис. 1).

Кузов автомотрисы 1 (рис. 1) представляется в виде абсолютно твердого тела, обладающего шестью степенями свободы. Инерционные и геометрические характеристики кузова соответствуют полностью экипированному кузову с экипажем и получены на основе детализированной трехмерной модели, включающей в себя элементы внутреннего и навесного оборудования.

Кузов вагона объединен с подсистемами, моделирующими ходовые части, посредством силовых контактных элементов и шарниров.

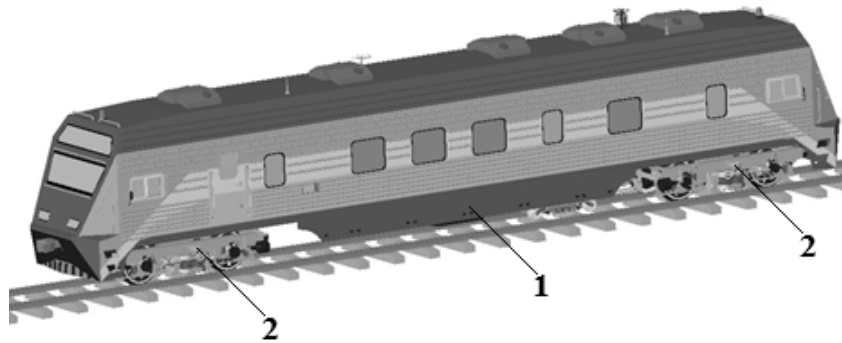


Рис. 1. Твёрдотельная компьютерная модель самоходной автомотрисы «Север»: 1 - кузов; 2 - моторные тележки

Подсистема, описывающая моторную тележку автомотрисы, представляет собой систему абсолютно твердых тел, моделирующих основные элементы тележки (колесные пары, редукторы, буксы, поддоны, рама с элементами тормозного и навесного оборудования, электродвигатель с муфтой, надрессорный брус, элементы буксового фрикционного гасителя колебаний и маятниковой подвески центральной ступени подвешивания), связанных силовыми элементами и шарнирами (рис. 2). Геометрические и инерционные характеристики твердых тел, представляющих элементы тележки, определялись на основе их детализированных трехмерных моделей.

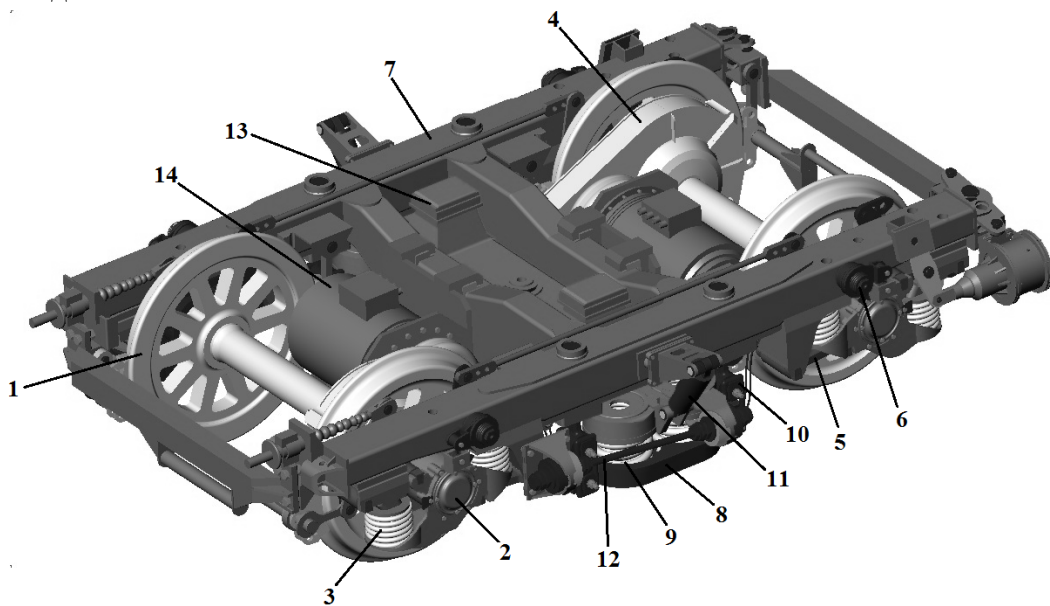


Рис. 2. Компьютерная модель моторной тележки:

1 – колесная пара; 2 – букса; 3 – пружины буксовой ступени подвешивания; 4 – редуктор; 5 – буксовый поводок; 6 – дисковый фрикционный гаситель колебаний; 7 – рама тележки с навесным и тормозным оборудованием; 8 – поддон; 9 – пружины центральной ступени подвешивания; 10 – элементы маятниковой подвески; 11 – гидравлический гаситель центральной ступени подвешивания; 12 – поводок центральной ступени подвешивания; 13 – надрессорный брус; 14 – электродвигатель

Пружины буксовой и центральной ступеней подвешивания 3, 9 (рис. 2) моделируются специальными линейными силовыми элементами, работа дискового фрикционного гасителя колебаний 6 и гидравлического гасителя центральной ступени подвешивания 11 - диссипативными линейными биполярными силовыми элементами. Резинометаллические элементы крепления поводков буксовой ступени подвешивания 5 и центральной 12 представляются в модели

в виде упругодиссипативных линейных силовых элементов. Маятниковая подвеска 10 поддона 8 моделируется совокупностью твердых тел, объединенных вращательными шарнирами.

При моделировании движения автомотрисы тяговое усилие моделировалось с помощью специальных сил в соответствии с тяговыми характеристиками. Тяговое усилие прикладывалось в виде крутящих моментов, действующих на соответствующие оси динамической модели электровоза.

При моделировании движения сцепа силы сопротивления движению автомотрисы учитывались согласно рекомендациям, приведенным в [4;5].

Полученные усилия сопротивления движению вагона прикладывались соответственно к центрам тяжести колесных пар и кузова автомотрисы.

Упругодиссипативные характеристики верхнего строения пути принимаются в соответствии с рекомендациями работы [5] для летнего периода при хорошем состоянии пути и рельсов типа Р65 (исполнение I) ГОСТ 8161-75 длиной 25 м, уложенных на железобетонные шпалы.

Микрогеометрия кривых участков пути в плане определяется исходя из скорости прохождения кривой. Параметры кривых, рассматриваемых при моделировании, определены в соответствии с рекомендациями [6].

Моделирование движения вагона рассматривается с учетом микронеровностей пути. Случайные неровности пути формируются на основании функции спектральной плотности эквивалентной расчетной неровности в вертикальном и горизонтальном направлениях, определяемой по методике, приведенной в РД 32.68-96 [7].

В исследовании динамических характеристик автомотрисы использованы два варианта компьютерной модели. В первом варианте силовая установка автомотрисы MTU Power Pack является частью абсолютно твердого тела, моделирующего кузов вагона. Во втором варианте силовая установка представляется в виде отдельного абсолютно твердого тела с реальными геометрическими и инерционными характеристиками, связанного с кузовом автомотрисы через специальные упругодиссипативные элементы, моделирующие характеристики опор установки. Для учета эффекта Зоммерфельда согласно [8] телу, моделирующему силовую установку, задаются дополнительные возмущающие воздействия, описывающие вибрационную нагрузку на кузов в процессе ее работы.

При моделировании движения автомотрисы по реальным неровностям пути оценивались следующие показатели ходовой динамики: вертикальные и горизонтальные ускорения кузова, коэффициенты вертикальной динамики, рамные силы, коэффициент плавности хода, а также коэффициент запаса устойчивости колеса от вкатывания на головку рельса.

Верификация результатов, полученных с использованием разработанных твердотельных моделей движения автомотрисы, выполнена на основе данных динамических ходовых испытаний, проведенных испытательным центром ЗАО «НО «Тверской институт вагоностроения».

При моделировании движения вагона в кривых участках пути принимались минимально допустимые значения радиуса кривой для рассматриваемой скорости в соответствии с [6].

Расчетные значения коэффициентов вертикальной динамики центральной ступени подвешивания тележки определялись по величинам полученных динамических прогибов рессор.

Анализ полученных при моделировании движения вагона осциллограмм временных зависимостей показателей ходовой динамики вагона осуществляется по их средним значениям (с вероятностью не превышения $P=0,999$), определенным с учетом рекомендаций РД 24.050.37.

В качестве примера на рис. 3,4 приведены результаты сопоставления динамических показателей автомотрисы, полученных экспериментальным путем и методами компьютерного моделирования с использованием двух вариантов модели, в виде графиков зависимостей вертикальных ускорений кузова и рамных сил от скорости движения вагона по прямому участку пути и в кривой.

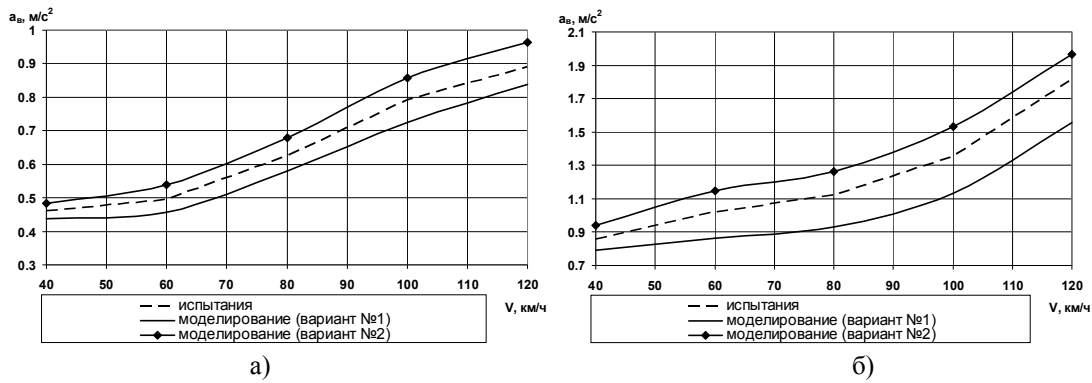


Рис. 3. Зависимость вертикальных ускорений кузова от скорости движения: а – по прямой; б – в кривой

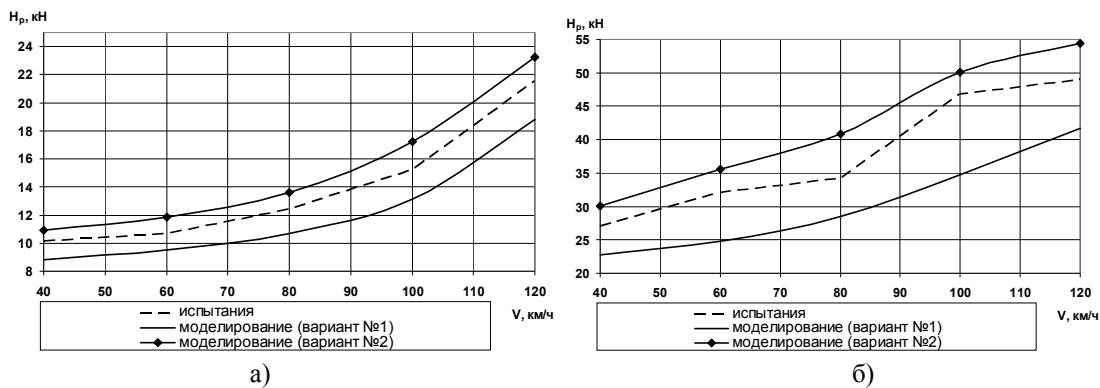


Рис. 4. Зависимость рамных сил от скорости движения: а – по прямой; б – в кривой

Анализ результатов моделирования показал, что динамические характеристики самоходной автомотрисы «Север», полученные при моделировании движения с использованием модели, не учитывающей возмущающие воздействия, возбуждаемые силовой установкой, оказываются ниже данных динамических ходовых испытаний на 8-23%. Данные, полученные с использованием модели, учитывающей колебания силовой установки, напротив, превышают экспериментальные на 10-16%. Таким образом, можно сделать вывод, что предложенные динамические модели позволяют с достаточной степенью точности исследовать динамические характеристики самоходных автомотрис. Учет колебаний силовой установки при моделировании позволяет получать более точные результаты, обеспечивающие больший резерв параметров безопасности движения в сравнении с результатами, полученными без учета колебаний.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Многофункциональные автомотрисы «Север». Режим доступа: <http://www.tvema.ru/catalog/mobile-diagnostics.html>.
2. Программный комплекс «Универсальный механизм». Режим доступа: <http://www.umlub.ru>.
3. Pogorelov, D. Differential-algebraic equations in multibody system modeling. Numerical algorithms/ D. Pogorelov. – 1998. – P. 183-194.
4. Гребенюк, П.Т. Тяговые расчеты: справочник/ П.Т. Гребенюк, А.Н. Долганов, А.И. Скворцов. – М.: Транспорт, 1987. – 272 с.
5. Вершинский, С.В. Динамика вагона/С.В. Вершинский, В.Н. Данилов, И.И. Челноков. – М.: Транспорт, 2004. – 304 с.
6. Изыскания и проектирование железных дорог: учеб. для вузов ж.-д. транспорта / А.В. Горинов, И.И. Кантор, А.П. Кондратченко, И.В. Турбин. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1979. – Т. I. – 319 с.
7. РД 32.68-96. Расчетные неровности железнодорожного пути для использования при исследованиях и проектировании пассажирских и грузовых вагонов. - М.: ВНИИЖТ, 1997. - 20с.
8. Пановко, Я.Г. Устойчивость и колебания упругих систем. Современные концепции, парадоксы и ошибки/ Я.Г. Пановко, И.И. Губанова.– М.: Наука, 1987. - 352 с.

Материал поступил в редколлегию 9.12.14.