

УДК 629.463.62.015

**С.В. МЯМЛИН, А.В. ШАТУНОВ, А.В. СОРОКО-
ЛЕТ (ДНУЖТ), Е.Н. КОВТУН, О.М. МАРКОВА
(ИТМ, г. Днепропетровск)**

Исследование пространственных колебаний длиннобазного вагона-платформы

Ключевые слова: вагон-платформа, контейнер, математическая модель.

Исследование пространственных колебаний подвижного состава с учетом динамических характеристик перевозимых грузов связано с рассмотрением сложных механических систем с большим числом степеней свободы. К таким случаям относится также и изучение динамических процессов, происходящих при перевозке на железнодорожных платформах контейнеров различной длины и массы. При этом необходимо рассматривать разветвленные механические системы. Математическое описание движения таких систем по пути произвольного очертания даже при существенной идеализации расчетных схем приводит к достаточно сложным моделям [1].

Но основополагающими исследованиями в области динамики рельсовых экипажей являются исследования [2–5], в которых представлен классический подход к моделированию пространственных колебаний рельсовых экипажей. Расчетная схема железнодорожной платформы модели 13-7024 на трехэлементных тележках серийной конструкции, движущейся по упруго-инерционному пути, представлена механической системой 11-ти твердых тел — кузов, две надрессорные балки, четыре боковые рамы и четыре колесные пары. Путь рассматривается инерционным упруго-вязким. Он моделируется приведенной к каждому колесу массой (восемь приведенных масс), имеющей только вертикальное и поперечное горизонтальное перемещения и опирающейся в этих направлениях на пружины и демпферы вязкого трения, моделирующие упруго-диссипативные свойства рельсов и подрельсового основания.

При определении числа степеней свободы рассматриваемой механической системы приняты во внимание ограничения, наложенные на перемещения тел в силу общепринятых допущений и конструктивных особенностей ходовых частей вагона. Учитывая связи, получаем, что число степеней свободы железнодорожного экипажа на тележках серийной конструкции (ЦНИИ-ХЗ) равно 12.

При моделировании пространственных колебаний платформы, с установленными на ней контейнерами,

принимая во внимание конечную жесткость платформы с грузом, т.е. считаем эту систему деформируемым телом. Поэтому платформа вместе с контейнерами рассматривается как упругая балка с дискретно расположенными сосредоточенными массами (грузами), которая опирается на тележки. Сосредоточим всю массу системы платформа — контейнеры в пяти точках (две массы по концам платформы, две массы в точках опирания кузова на тележки и одна масса в центре масс платформы с установленными контейнерами). Будем рассматривать перемещения этой системы только в вертикальном направлении, в горизонтально-поперечной плоскости считаем платформу вместе с установленными на ней контейнерами одним твердым телом. В таком случае система пяти сосредоточенных масс имеет пять степеней свободы. За соответствующие обобщенные координаты примем абсолютные перемещения грузов, отсчитанные от положения устойчивого равновесия системы. Массы грузов выбираются следующим образом. Обозначим погонную массу платформы с грузом, т.е. массу, приходящуюся на единицу длины, через ρ . Участок платформы, расположенный между точками опирания на тележки, разделим на две части: от одной из точек опирания до центра масс системы и от центра масс системы до второй точки опирания платформы на тележку. Примем массы, сосредоточенные на концах консолей, равными $0,3$ где s — длина консоли, а массы, отнесенные к опорам, — по $0,7$ Остальные массы распределим по длине платформы равномерно [2].

Таким образом, при исследовании динамических качеств платформы с установленными на ней контейнерами рассматривается система с тридцатью тремя степенями свободы.

Дифференциальные уравнения движения платформы по пути произвольного очертания получены в форме уравнений Лагранжа второго рода:

где q_i — обобщенные координаты и их скорости; T — кинетическая энергия; Π — потенциальная энергия; Φ — функция рассеяния; Q_i — обобщенные силы, не имеющие потенциала.

После подстановки в приведенное уравнение выражений кинетической и потенциальной энергий, функций рассеяния и обобщенных сил получена система нелинейных дифференциальных уравнений 66-го порядка, описывающая вынужденные колебания железнодорожной платформы с ходовыми частями серийной конструкции.

На основе построенной математической модели был разработан алгоритм и создана компьютерная программа вычислений, предназначенная для оценки динамических характеристик рассматриваемой платформы.

Расчетная оценка динамических характеристик платформы, загруженной контейнерами, проводилась путем анализа результатов решения нелинейных дифференциальных уравнений, представляющих динамическую модель колебаний платформы. Разработанная математическая модель, алгоритм и компьютерная программа позволяют имитировать широкий спектр различных случаев, охватывающих всевозможные сочетания параметров тех-

нического состояния ходовых частей, вагона в целом и пути. В результате расчетов может быть получен практически любой набор необходимых выходных величин. Для достоверной оценки динамических качеств платформы, транспортирующей контейнеры различной массы и размеров, в соответствии с требованиями Норм [6] определялись величины, являющиеся основными показателями хода грузовых вагонов. К таким величинам относятся: — горизонтальные и вертикальные ускорения кузова; — коэффициенты вертикальной динамики и отношение рамной силы к статической нагрузке на ось; — коэффициент запаса устойчивости вагона от схода с рельсов.

Горизонтальные и вертикальные ускорения определялись в районе пятниковых опор. Отношение рамной силы к нагрузке на ось определялось по формуле $H_p/2P$, где H_p — горизонтальные рамные силы, т.е. силы, действующие на колесные пары в поперечном горизонтальном направлении; P — статическое давление колеса на рельс.

Коэффициенты вертикальной динамики определялись как отношение динамических добавок вертикальных усилий, действующих в рессорном подвешивании, к статической нагрузке.

Значения коэффициента устойчивости от схода с рельсов платформы с автомобилем определялись по формуле, приведенной в [7]:

Таблица 1

Предельные значения динамических показателей грузовых вагонов

u_r, g	u_B, g	$k_{ДГ}$	$k_{ДВ}$	$k_{УС}$
0,45/0,55	0,65/0,75	0,38/0,40	0,85/0,90	1,4

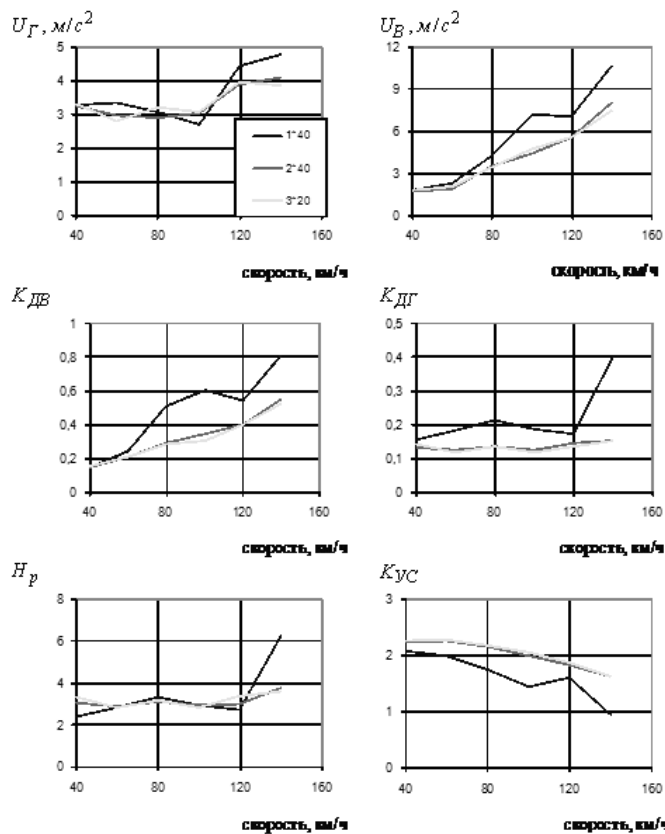


Рис. 1.

где β — угол наклона образующей гребня колеса к горизонтальной оси; $\mu = 0,25$ — коэффициент трения скольжения; $P_{ш}$ — статическая нагрузка на шейку оси; q — вес необорудованных частей; μ_1 и μ_2 — коэффициенты вертикальной динамики для набегающего и ненабегающего колес.

Предельные значения показателей ходовых динамических качеств грузовых вагонов для груженого (числитель) и порожнего (знаменатель) состояния приведены в табл. 1.

Движение платформы моделируется с учётом действия внешних возмущений, связанных с геометрическим несовершенством рельсовой колеи (просадки, стыки, неравномерный износ). Возмущения, имеющие случайный характер, подаются под колёса вагона с транспортным запаздыванием, которое зависит от расстояния между колёсными парами и скорости движения.

В качестве возмущений, действующих на колесные пары платформы вследствие неровностей рельсовой колеи, приняты случайные функции, полученные путем реальных измерений на фиксированном участке железнодорожного пути [8].

В ходе исследований проводилась оценка влияния на ходовые качества экипажа веса перевозимых на платформе контейнеров и их расположения. При этом рассматривались следующие шесть вариантов:

1. На платформу установлены три контейнера массой 20 т каждый, центр масс системы находится посередине между точками опирания платформы на тележки.
2. На платформу установлены два контейнера массой 40 т каждый, центр масс системы находится посередине между точками опирания платформы на тележки.
3. На платформу установлен один контейнер массой 40 т, центр масс системы находится посередине между точками опирания платформы на тележки.
4. На платформу установлены три контейнера массой 20 т каждый, центр масс системы смещен на 0,6 м от середины расстояния между точками опирания платформы на тележки.
5. На платформу установлены два контейнера массой 40 т каждый, центр масс системы смещен на 1,2 м от середины расстояния между точками опирания платформы на тележки.
6. На платформу установлен один контейнер массой 40 т, центр масс системы смещен на 0,6 м от середины расстояния между точками опирания платформы на тележки.

Далее приведены результаты, полученные при исследовании движения платформы с контейнерами различной массы и длины при движении по прямолинейному участку пути со скоростями 60—140 км/ч.

Полученные в результате расчетов значения динамических характеристик вагонов приведены в работе в виде графиков.

На рис. 1 приведены расчетные данные для платформы, загруженной контейнерами по вариантам 1—3. Из рассмотрения приведенных графиков видно, что динамические характеристики платформы, загруженной контейнерами по вариантам 1 и 2, отличаются мало. Для этих вариантов движение платформы возможно со скоростью, не превышающей 125 км/ч. Ограничение выз-

вано вертикальными ускорениями платформы в районе пятниковых опор, которые при большей скорости движения превышают предельный уровень, указанный в Нормах. Другие рассмотренные показатели ходовых качеств платформы, загруженной контейнерами по вариантам 1 и 2, не выходят за допустимые значения при движении со скоростями до 140 км/ч.

Наиболее неблагоприятным по условиям безопасности движения является режим загрузки платформы одним контейнером (первый вариант загрузки). В этом случае анализируемые динамические показатели при некоторых значениях скорости движения превышают допустимые значения. Так, например, горизонтальные ускорения платформы в районе пятниковых опор выходят за рамки допустимых величин при скорости, большей 120 км/ч, а вертикальные ускорения этих же точек превышают предельный уровень при скорости, большей 95 км/ч. При этом очень существенно с увеличением скорости снижается величина коэффициента запаса устойчивости колесной пары от схода с рельсов, и уже при скорости движения 100 км/ч его значение оказывается ниже нормативного значения.

Аналогичные описанным выше результаты для движения платформы с контейнерами в случае, когда центр масс платформы с контейнерами является смещенным (варианты 4—6) приведены на рис. 2. Обозначения здесь такие же, как и на приведенных выше рисунках. В целом результаты, полученные для этого случая, несущественно отличаются от соответствующих данных, полученных для платформы с несмещенным центром тяжести и описанных выше. Отметим, что здесь также как и в вариантах 1—3 в случае установки на платформе одного сорокатонного контейнера со смещенным центром масс движение даже со скоростью 100 км/ч является опасным с точки зрения схода вагона с рельсов.

Комплексное рассмотрение всех приведенных выше расчетных данных позволяет заключить, что движение платформы, на которой установлены три контейнера по 20 т или два контейнера по 40 т, по прямолинейным участкам пути может осуществляться со скоростями до 125 км/ч. В случае установки на платформу одного контейнера весом 40 т движение может осуществляться со скоростью до 95 км/ч.

Таким образом, разработана математическая модель пространственных колебаний вагона-платформы с длинной базой, которая позволяет рассматривать динамическую нагруженность вагона-платформы при ее движении по инерционному упруго-вязкому пути с различными схемами установки контейнеров. Определены допустимые скорости движения вагона-платформы в зависимости от схем загрузки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Математическое моделирование колебаний рельсовых транспортных средств / Под ред. В.Ф. Ушкалова. — Киев: Наук. думка, 1989. — 240 с.
2. Лазарян В.А. Динамика вагонов. — М.: Транспорт, 1964. — 256 с.
3. Мямлин С.В. Моделирование динамики рельсовых экипажей. — Д.: Новая идеология, 2002. — 240 с.
4. Блохин Е.П., Данович В.Д., Морозов Н.И. Математическое моделирование пространственных колебаний четырехосного

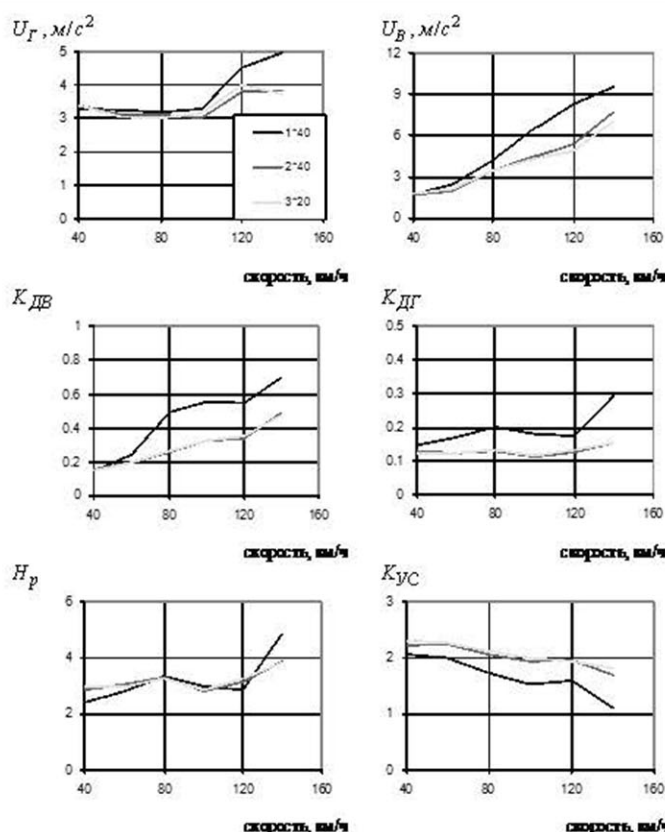


Рис. 2.

экипажа / ДИИТ. — Д., 1986. — 39 с. — Деп. В ЦНИИТЭИ МПС 29.09.86, №7252 ж.д.

5. Вериги М.Ф., Коган А.Я. Взаимодействие пути и подвижного состава. — М.: Транспорт, 1986. — 560 с.

6. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). — М.: ГосНИИВ — ВНИИЖТ, 1996. — 319 с.

7. ОСТ 24.050.37-84 «Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и ходовые качества».

8. Белоусов В.Н., Демин Ю.В., Ковтун Е.Н., Маркова О.М. Базовая математическая модель поперечных колебаний грузового вагона. — Техническая механика, 1995, № 4. — С. 49—53.