

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ КАЧЕСТВ СОЧЛЕНЕННОГО ВАГОНА-ПЛАТФОРМЫ НА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЯХ

Робота присвячена дослідженню динамічних якостей з'єднаного зчеп двох 18 м вагонів-платформ з установкою зйомного обладнання для перевезення трьох 40-футових контейнерів, розробленого ВАТ «НВЦ «Вагоны» за замовленням ВАТ «ТрансКонтейнер». Проведені розрахунки дозволили визначити схеми завантаження, що забезпечують нормативні показники ходових якостей та безпеки руху.

Работа посвящена исследованию динамических качеств сочлененного сцепа двух 18 м вагонов-платформ с установкой съемного оборудования для перевозки трех 40-футовых контейнеров, разработанного ОАО «НВЦ «Вагоны» по заказу ОАО «ТрансКонтейнер». Проведенные расчеты позволили определить схемы погрузки, обеспечивающие нормативные показатели ходовых качеств и безопасности движения.

The paper is devoted to the study of dynamic qualities of combined tractive connection of two 18 m platform wagons with installing the removable equipment for transportation of three 40-foot containers developed by the JSC «NVTs «Vagony» according to order of the JSC «TransContainer». The calculations performed allowed determining the schemes of loading ensuring the normative indices of running qualities and traffic safety.

### 1. Особенности конструкции и модели движения сочлененного вагона-платформы

Сочлененный вагон-платформа состоит из двух 18 м вагонов-платформ (модели 13-470), на которые установлено съемное оборудование для перевозки трех 40-футовых контейнеров (рис. 1). Связь рам между собой осуществляется посредством соединительного устройства SAC-1 компании Cardwell Westinghouse (США). Сочлененный вагон-платформа устанавливается на три тележки модели 18-100, модернизированные по проекту М 1698 ПКБ ЦВ. Рамы имеют стандартное опирание на крайние тележки через плоский подпятник и боковые скользуны с зазором, а на среднюю – через соединительное устройство SAC-1, оборудованное переходником для подпятника диаметром 302 мм, и четыре упругих скользуна постоянного контакта, на первую пару скользунов опирается первая рама сочлененного вагона-платформы, а на вторую – вторая.



Рис. 1. Общий вид сочлененного вагона-платформы

Крайние контейнеры установлены на рамы через стандартные фитинговые упоры. Средний контейнер опирается на две турникетные опоры, каждая из которых установлена на свою раму через две жесткие беззазорные боковые опоры и шкворень с возможностью поворачиваться вокруг него. Опора среднего контейнера на один турникет происходит через фитинговые упоры, а на другой – через ограничители,

допускающие относительные продольные перемещения при проходе кривых.

Исследование динамических качеств сочлененного вагона-платформы, установленного на три тележки модели 18-100, проводилось с использованием нелинейной и линеаризованной моделей движения.

Сочлененный сцеп был представлен системой 26 (23 для порожнего сочлененного сцепа) твердых тел: три контейнера, две рамы, шесть боковых рам тележек, три надрессорные балки, шесть колесных пар, шесть участков пути.

При создании моделей особое внимание уделялось описанию работы узла сочленения – связи двух рам между собой и со средней тележкой, а также турникетных опор.

Узел сочленения представляет собой шарнирное соединение, кинематическая схема которого представлена на рис. 2. Связь рам между собой, моделирующая сочленение, реализовывала возможность трех угловых перемещений, а в нелинейной модели – еще и момент сухого трения на сопротивление вилению. Связь сочленения с подпятником средней тележки описывалась сферическим шарниром с разрешенными тремя угловыми перемещениями и упругим элементом с заданными угловыми жесткостями на боковую качку и галопирование, демпфирование виления в тележке под вагоном в линейной модели описывалось элементом вязкого трения, а в нелинейной – элементом сухого трения.

Связь крайних контейнеров с рамой вагона, осуществлялась через фитинговые упоры, смоделированные жесткими. Турникетные опоры отдельными телами не моделировались. Связь среднего контейнера с рамой вагона в зоне

шкворня была описана сферическим шарниром, разрешающим три угловые перемещения (с возможностью вертикального и продольного перемещения в одной из связей), и упругим элементом с заданной угловой жесткостью на галомирование. При повороте в зоне боковых опор в нелинейной модели был реализован момент трения на влияние, в линеаризованной модели боковые опоры не моделировались.

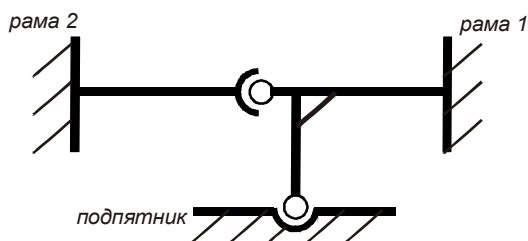


Рис. 2. Кинематическая схема узла сочленения

Работа скользунов тележки (жестких с зазором и упругих постоянного контакта), центрального подвешивания, буксового узла, контакта колесо-рельс в динамической линеаризованной и нелинейной моделях подробно описана в [1].

## 2. Оценка собственных форм колебаний и устойчивости невозмущенного движения

Линейная модель движения сочлененного вагона-платформы, установленного на тележки модели 18-100, позволила оценить величину критической скорости, форму потери устойчивости и степень демпфирования основных форм колебаний при трех режимах загрузки вагона: до полной грузоподъемности (87,5 т), платформа, загруженная тремя порожними контейнерами, и порожняя платформа.

Формой потери устойчивости вагона-платформы с порожними и грузеными контейнерами является совместное синфазное влияние и боковая качка двух рам с установленными на них контейнерами, а порожнего – синфазное влияние рам (рис. 3).

У вагона-платформы с порожними (грузеными) контейнерами, помимо формы потери устойчивости, имеется еще три недостаточно демпфированные формы колебаний (коэффициент демпфирования формы ниже 0,3): совместное влияние (в противофазе) и боковая качка двух рам с установленными на них контейнерами, влияние одной из рам с двумя контейнерами, боковая качка рам с контейнерами, а у порожнего – четыре формы, которые связаны с влиянием и боковой качкой рам. Среди основных форм колебаний нет формы подпрыгивания рам, но есть две формы галопирования (рис. 4).

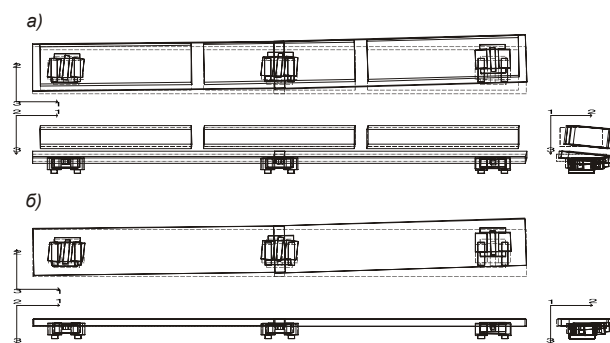


Рис. 3. Форма потери устойчивости: а – вагон-платформа с порожними (грузеными) контейнерами; б – порожний вагон-платформа

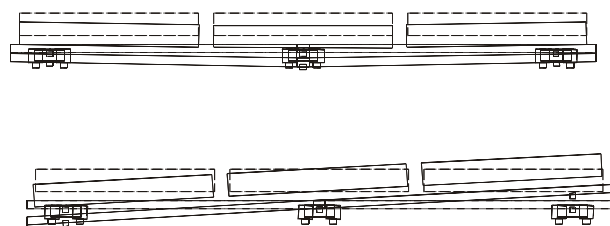


Рис. 4. Две формы колебаний галопирования вагона-платформы

Критическая скорость невозмущенного движения составила:

- 146 км/ч для грузеного вагона-платформы;
- 70 км/ч для вагона-платформы, загруженного порожними контейнерами;
- 83 км/ч для порожнего вагона-платформы,

что соответствует критической скорости четырехосного грузового вагона, установленного на тележки модели 18-100.

## 3. Исследование динамических качеств на нелинейной модели сочлененного вагона-платформы

Созданная нелинейная модель движения сочлененного вагона-платформы позволила оценить величину показателей ходовых качеств, безопасности движения вагона на прямом и криволинейном участке пути и определить схемы погрузки, удовлетворяющие [2].

Для исследования ходовых качеств использовалось численное интегрирование уравнений динамики экипажа с учетом случайной реализации неровностей рельсового пути [3]. Для анализа ходовых качеств использовались максимальные значения величин, указанных в [2], с доверительной вероятностью 0,97 в диапазоне частот до 20 Гц.

На стадии проектных исследований были рассмотрены симметричные схемы погрузки, представленные в табл. 1, многие из которых по результатам расчетов не соответствовали

требованиям «Норм...» [2] по устойчивости от опрокидывания или показателям ходовых качеств.

Следует отметить, что все несимметричные схемы погрузки (например, один порожний, один груженный до средней грузоподъемности и один груженный до максимальной грузоподъемности контейнер) не удовлетворили требованиям «Норм...» по устойчивости от опрокидывания. По показателям ходовых качеств удовлетворяют требованиям «Норм...» все схемы погрузки, у которых отношение нагрузки, действующей на надрессорную балку средней тележки, к нагрузке, действующей на надрессорную балку крайней тележки,  $P_{cp}/P_{кр}$ , превышает 1,2.

Таким образом, для сочлененного вагона-платформы большое значение имеет распределение вертикальной нагрузки, действующей на пятники тележек. Если отношение  $P_{cp}/P_{кр}$  меньше 1,2, происходит обезгрузка средней тележки, и форма виляния рам в противофазе становится формой потери устойчивости.

В результате для сочлененного вагона-платформы по показателям ходовых качеств и устойчивости от опрокидывания были выбраны восемь схем погрузки (рис. 5), образованные из трех основных: порожний, груженный и вагон-платформа, загруженный порожними контейнерами. Схема с одним контейнером экономически нецелесообразна. Схема погрузки тремя контейнерами, загруженными до средней грузоподъемности, а также схема погрузки двумя контейнерами, загруженными до средней грузоподъемности, и одним до полной, расположенным с краю, с точки зрения динамического поведения вагона, являются схожими со схемой вагона с одним контейнером, загруженным до средней грузоподъемности, расположенным в центре, и двумя контейнерами, загруженным до полной грузоподъемности.

Для этих схем погрузок показатели ходовых качеств соответствуют нормативным при движении со скоростями вплоть до конструкционной (120 км/ч):

- коэффициенты вертикальной динамики не превосходят нормативных значений и соответствуют оценке «отлично» для порожнего вагона и вагона с порожними контейнерами, а для груженого не превышают значение показателя, соответствующего оценке «хорошо» (рис. 6);
- величины рамных сил, действующих на необрессоренные части экипажа, не превосходят нормативные значения (рис. 7);
- для груженого и порожнего вагона, а также для вагона с порожними контейнерами коэффициент запаса устойчивости от схода с рельсов по условию вкатыва-

ния гребня колеса на головку рельса соответствует нормативам, т.е. превышает минимально допустимое значение 1,3 в прямых участках пути при движении со скоростями вплоть до конструкционной (120 км/ч) и 1,2 в кривых радиусом 350 м и 650 м с максимально допустимыми скоростями движения в них (рис. 8).

Таблица 1

**Основные схемы погрузки сочлененного вагона-платформы**

Масса контейнера, кг			$P_{cp}/P_{кр}$	Соответствие требованиям «Норм...» по устойчивости от опрокидывания и показателям ходовых качеств
крайний 1	средний	крайний 2		
0	4150	0	1,93	Полностью удовлетворяет
0	30480	0	4,23	Полностью удовлетворяет
4150	0	4150	1,20	Не удовлетворяет по показателям ходовых качеств при скорости выше 90 км/ч
30480	0	30480	0,81	Не удовлетворяет по показателям ходовых качеств
30480	4150	30480	0,88	Не удовлетворяет по показателям ходовых качеств
4150	30480	4150	2,02	Не удовлетворяет по устойчивости от опрокидывания
0	0	0	1,48	Полностью удовлетворяет
4150	4150	4150	1,37	Полностью удовлетворяет
30480	26500	30480	1,19	Полностью удовлетворяет

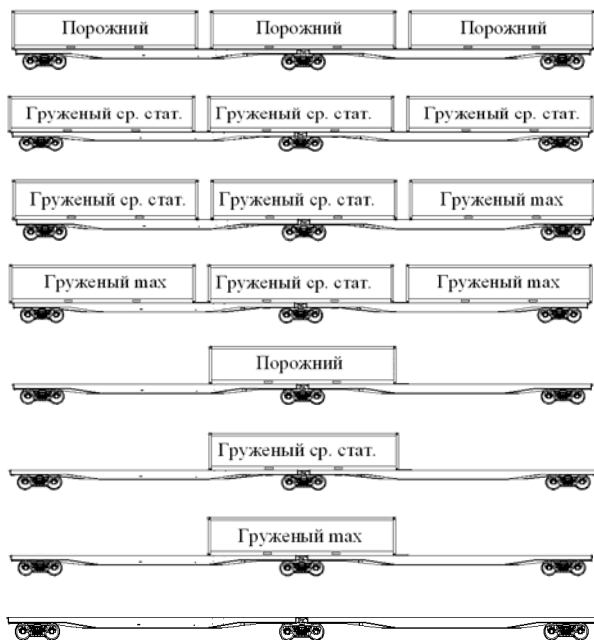


Рис. 5. Схемы погрузки сочлененного вагона-платформы, удовлетворяющие требованиям «Норм...» по показателям ходовых качеств

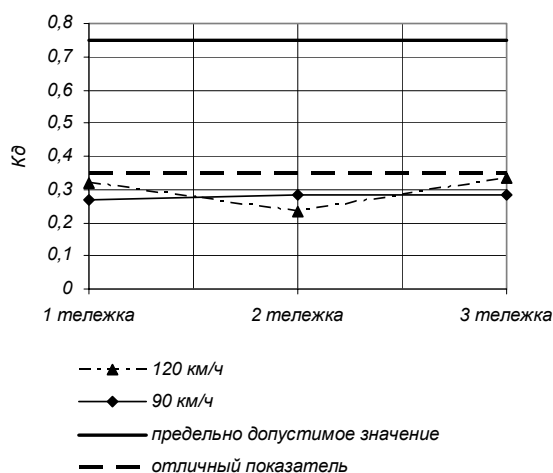


Рис. 6. Максимальные значения коэффициента вертикальной динамики при движении груженого вагона-платформы по прямой

### Заключение

Разработанные модели движения сочлененного сцепа из двух 18 м вагонов-платформ с установкой съемного оборудования для перевозки трех 40-футовых контейнеров позволили установить взаимосвязь между нагрузкой на подпятник тележек и показателями ходовых качеств и безопасности движения: для обеспечения нормативных динамических показателей отношение нагрузки, действующей на наддресорную балку средней тележки, к нагрузке, действующей на наддресорную балку крайней тележки, должно превышать 1,2.

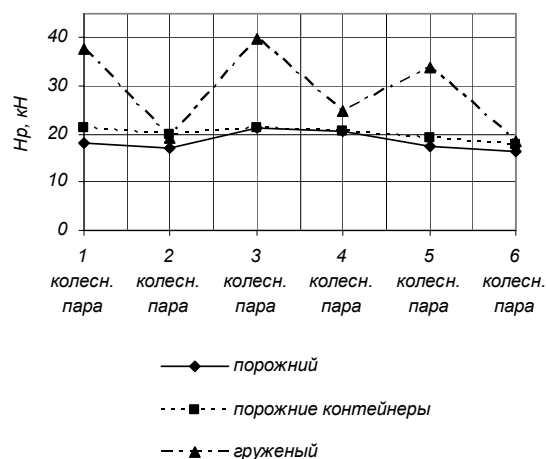


Рис. 7. Максимальные значения рамной силы при движении груженого вагона-платформы по прямой со скоростью 120 км/ч

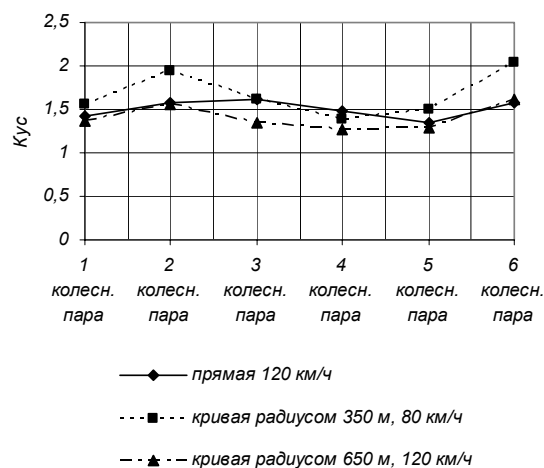


Рис. 8. Минимальный коэффициент запаса устойчивости от схода с рельсов порожнего вагона-платформы

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Лесничий, В. С. Компьютерное моделирование задач динамики железнодорожного подвижного состава. Часть 3: Моделирование динамики грузовых вагонов в программном комплексе MEDYNA: учеб. пособие [Текст] / В. С. Лесничий, А. М. Орлова. – СПб.: ПГУПС, 2002. – 35 с.
- Нормы расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) [Текст]. – М.: ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996. – 319 с.
- РД 32.68-96. Расчетные неровности железнодорожного пути для использования при исследованиях и проектировании пассажирских и грузовых вагонов [Текст].

Поступила в редколлегию 23.06.2008.