

ВЛИЯНИЕ НЕРОВНОСТЕЙ ПУТИ НА ДИНАМИЧЕСКИЕ КАЧЕСТВА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ЦИСТЕРН

Белорусский государственный университет транспорта

Гомель, Беларусь

В настоящее время большой объем перевозок жидких и газообразных грузов на железнодорожном транспорте осуществляется четырехосными цистернами. Их динамические качества оказывают существенное влияние на сохранность перевозимого груза и безопасность движения. Динамические свойства подвижного состава определяются колебаниями обрессоренных масс и обусловлены неровностями пути, нестабильностью состояния контактирующих поверхностей, параметрами рессорного подвешивания и многими другими факторами.

Неровности железнодорожного пути являются источником колебаний цистерны. При них могут возникнуть большие силы взаимодействия между колесом и рельсом, что может привести к вкатыванию гребня колесной пары на рельс и к сходу вагона с железнодорожного пути. Поэтому целесообразно исследовать влияние неровностей пути на динамику обрессоренных масс цистерны.

Целью данной работы является оценка сил, действующих в вертикальной и горизонтальной плоскости на рессорные комплекты тележек, а также сил взаимодействия колес с рельсами в зависимости от амплитуд неровностей пути в плане в широком диапазоне эксплуатационных скоростей цистерн

Рассмотрены пространственные колебания четырехосного грузового вагона, установленного на двухосные тележки с жесткой рамой, как механической системы с 10 степенями свободы. Ее движение описывалось системой нелинейных дифференциальных уравнений [1]. В модели учтены основные особенности, присущие конструкции подвижного состава и ходовых частей. В их числе фрикционный гаситель колебаний тележки, реализующий силу сухого трения в двух перпендикулярных плоскостях при вертикальных и горизонтальных перемещениях клинового гасителя колебаний; пятниковый узел, в котором реализуются моменты сил сухого трения, возникающие при повороте тележек относительно кузова; упругие связи рессорного подвешивания в вертикальной и горизонтальной плоскости. Также учитывались силы контактного взаимодействия между гребнем колеса и рельсом, силы крипа, геометрические неровности ненагруженного пути в плане и профиле, описываемые периодическими детерминированными функциями.

При составлении математической модели рассматривался режим упругого

скольжения колес по рельсам, при котором сохраняется прямо пропорциональная зависимость между касательными реакциями T_j и относительной скоростью упругого скольжения (j – номер колеса; $j = 1 \dots 8$)

$$T_j = \gamma \frac{u}{V},$$

где u – скорость скольжения колеса по рельсу; V – скорость движения вагона вдоль пути; γ – коэффициент крипа, определяемый по формуле $\gamma = K \sqrt{Nr}$ [2], K – коэффициент, учитывающий физические свойства материалов колес и рельсов; N – вертикальная нагрузка от колеса на рельс; r – радиус катания колеса.

Для учета силы, возникающей между гребнем колесной пары и рельсом, использовалась зависимость, выведенная Герцем [3]. Это позволило записать соотношение между относительным сближением соприкасающихся тел в виде

$$F = K_n \alpha^{\frac{3}{2}},$$

где K_n – коэффициент, значение которого зависит от физико-механических свойств материалов колеса и рельса и радиусов кривизны соприкасающихся поверхностей.

Эта сила учитывалась только в тех случаях, когда поперечное горизонтальное смещение колесной пары превышало зазор между рельсом и наружной поверхностью гребня колеса.

Полученная система дифференциальных уравнений решалась методом Рунге-Кутты 4-го порядка. Следует отметить, что сходимость численного решения полученной системы дифференциальных уравнений при малых скоростях движения вагона (до 10 м/с) достигалась только при очень малом шаге интегрирования ($\Delta t = 10^{-4}$ с). Это связано с наличием ударных явлений, проявляющихся при входе вагона на участок с неровностями.

Определялись вертикальные P и горизонтальные Q силы, действующие на рессорные комплекты тележек в зависимости от амплитуд горизонтальных неровностей пути C при движения груженой и порожней цистерн, а также силы взаимодействия пути с колесными парами F в функции скорости движения поезда V и амплитуды горизонтальных неровностей рельсового пути C .

В результате многовариантных расчетов получены результаты, позволяющие дать рекомендации по улучшению динамических качеств цистерн. На рисунках приведены некоторые графики, иллюстрирующие влияние неровностей пути на силы в рессорном подвешивании и зоне контакта колеса с рельсом.

На рис. 1 кривая 1 описывает изменение вертикальных и горизонтальных сил для груженой цистерны, кривая 2 — для порожней. Из графиков видно, что при амплитуде горизонтальных неровностей пути до 6 мм вертикальные и горизонтальные

силы, действующие в рессорных комплексах, изменяются незначительно. При увеличении размеров неровностей свыше 6 ... 8 мм наблюдается рост названных сил. Существенное увеличение их значений имеет место при скоростях более 20 м/с.

Результаты аналогичных расчетов, проведенных при различных коэффициентах жесткости рессорного подвешивания тележек, подтверждают эту закономерность.

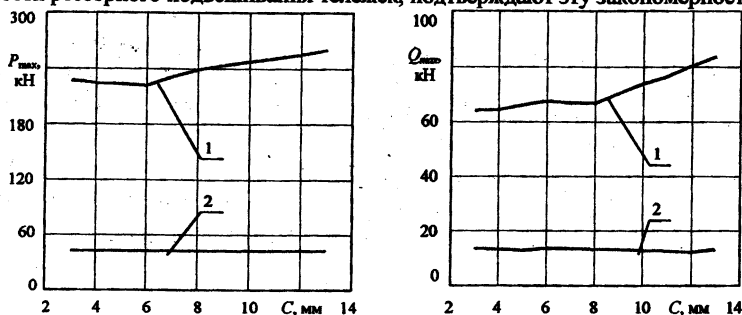


Рис. 1. Зависимости вертикальных P_{\max} и горизонтальных Q_{\max} сил от амплитуды горизонтальных неровностей пути C .

На рис. 2 приведены графики, демонстрирующие изменение сил взаимодействия каждой колесной пары с рельсом в функции амплитуды горизонтальной неровности пути C и скорости цистерны V . Нумерация кривых на графиках соответствует номеру каждой из четырех колесных пар тележек вагона.

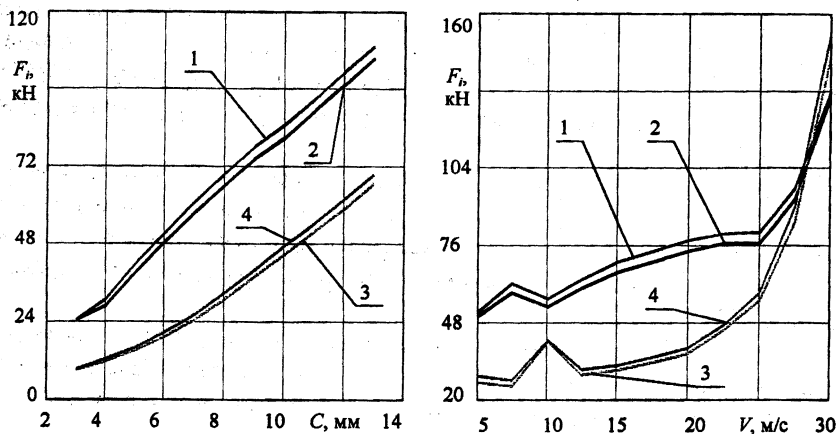


Рис. 2. Зависимости силы взаимодействия гребня колеса с рельсом от амплитуды горизонтальных неровностей C и скорости V .

Приведенные на рис. 2 зависимости показывают, что силы F_b взаимодействия

гребня колеса и рельса очень близки по численному значению для обеих колесных пар одной тележки. В то же время колеса первой тележки взаимодействуют в горизонтальной плоскости с рельсами силами, которые примерно в два раза больше аналогичных сил второй тележки вагона. В диапазоне эксплуатационных скоростей и при существующих отклонениях горизонтальных неровностей пути они могут изменяться от 24 до 70 кН. Эта закономерность не наблюдается при уменьшении амплитуды неровности пути.

Выполненные с применением разработанной математической модели расчеты показали, что существующая в настоящее время конструкция ходовых частей четырехосных железнодорожных цистерн обеспечивает безопасную их эксплуатацию при величинах горизонтальных неровностей пути до 8 мм и скоростях движения поездов до 22 м/с.

Полученные результаты показали возможность применения уточненной математической модели для исследования динамических качеств четырехосной цистерны

ЛИТЕРАТУРА

1. Ефремова З.Г., Шимановский О.А., Коваленко А.В. Оценка сил взаимодействия колес с рельсами при движении вагона по пути с неровностями // Актуальные проблемы динамики и прочности в теоретической и прикладной механике. – Мн.: УП «Технопринт», 2001. – С. 197-201.
2. Вершинский С.В., Данилов В.Н., Хусидов В.Д. Динамика вагона. – М.: Транспорт, 1991. – 360 с.
3. Гольдсмит В. Удар. Теория и физические свойства соударяемых тел. – М.: Стройиздат, 1965. – 448 с.

УДК 629.4.015

З.Г. Ефремова, А.О. Шимановский, А.В. Коваленко

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ РЕССОРНОГО ПОДВЕШИВАНИЯ ТЕЛЕЖЕК ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ЦИСТЕРН

*Белорусский государственный университет транспорта
Гомель, Беларусь*

Динамические качества железнодорожных цистерн и других типов вагонов существенно отличаются друг от друга. Это связано с тем, что котел цистерны имеет большие значения моментов инерции относительно главных центральных осей, а также более высокое положение центра тяжести кузова. Как правило, под цистерны подкатывают серийные грузовые тележки типа ЦНИИ-ХЗ, эксплуатируемые и под другими видами грузового подвижного состава, которые имеют заданные параметры