

ОЦЕНКА БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ В КРИВЫХ УЧАСТКАХ ПУТИ

П. А. САХАРОВ, М. Е. БЕЛЬЧЕНКО

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

В настоящее время актуальным остается вопрос обеспечения безопасности движения поездов. Значительная часть сходов подвижного состава с рельсов происходит в кривых участках пути, в связи с чем оценка устойчивости движения вагонов по рельсам в кривых представляет особый интерес. Нарушение устойчивости в большинстве случаев связано с действием значительных горизонтальных поперечных сил в точках контакта колес с рельсами, вызванных действием боковых направляющих и центробежных сил, а также поперечной составляющей продольных сил, передаваемых через автосцепки под углом по отношению к осям вагонов. При этом наиболее склонны к нарушению безопасности движения поезда большой массы и длины, а также неоднородные по массе с порожними вагонами в голове или центре поезда [1]. Существует необходимость оценки уровня поперечных направляющих сил, действующих в точках контакта колес с рельсами в кривых участках различного радиуса, а также их предельных значений, вызывающих нарушение устойчивости движения.

Для исследования указанного выше вопроса разработана пространственная компьютерная динамическая модель. Она включает трехмерные модели рельсового пути и колесных пар, геометрические характеристики которых приняты в соответствии с конструкторской документацией (рельсы типа Р65 и стандартные колесные пары грузовых вагонов). Объемные модели рельсов и колесных пар позиционированы и импортированы в программный комплекс динамического моделирования MSC.ADAMS. Остальные узлы вагона выполнены упрощенно в виде простейших тел непосредственно в указанном программном комплексе. Габариты вагона, масса и упругие свойства рессорного подвешивания приняты в соответствии с характеристиками полувагона модели 12-726-80. Для возможности оценки влияния продольных сил в поезде на устойчивость движения подвижного состава количество вагонов в модели принято равным трем. Модель представлена на рисунке 1.

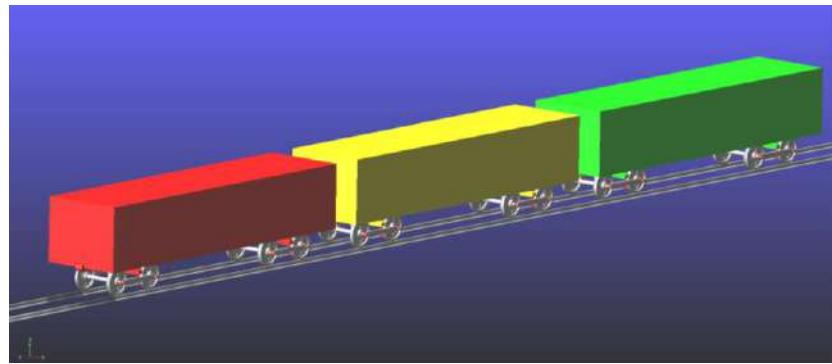


Рисунок 1 – Модель движения вагонов по рельсовой колее в программе MSC.ADAMS

Контактное взаимодействие колес с рельсами реализуется с помощью встроенных функциональных возможностей программного комплекса MSC.ADAMS. Для этого во вкладке «Forces» в разделе «Special Forces» выбрана команда «Create a Contact», указаны взаимодействующие друг с другом объекты и характеристики, моделирующие их упруго-вязкие свойства. Последние приняты на основании рекомендаций, указанных в работе [2]. Взаимодействие узлов тележек между собой обеспечено приложенными механическими связями. Разработанная компьютерная модель позволяет исследовать движение подвижного состава по прямым и кривым участкам пути, определять перемещения, скорости, ускорения и силы взаимодействия узлов вагона между собой и с рельсовым путем, а также взаимодействие вагонов друг с другом.

С помощью разработанной модели определены наиболее нагруженные в процессе движения по кривому участку пути колесные пары. Расчеты выполнены для кривой радиусом 400 м. Результаты показали, что наибольшие силы действуют на первые по ходу движения колесные пары тележек. Их

средние значения между наружным рельсом и колесом превысили 150 кН, а между внутренним рельсом и колесом – 60 кН, при массе вагона брутто 80 т и скорости движения 100 км/ч. Вторые колесные пары каждой тележки менее нагружены. Действующие на них средние силы составили около 120 и 80 кН соответственно для наружного и внутреннего колес. Стоит отметить, что вертикальная и горизонтальная силы могут передаваться от колеса на рельс в разных точках профиля катания, поэтому целесообразно оценивать их влияние в отдельности. Для рассмотренного случая на наиболее нагруженной первой колесной паре вагона в точке контакта гребня наружного колеса с рельсом максимальные горизонтальные силы достигали 110 кН при среднем значении около 70 кН. На внутреннее колесо при этом действовали средние горизонтальные силы 20 кН. Средние вертикальные силы на наружное и внутреннее колесо соответственно составили около 140 и 60 кН. Похожие соотношения сил показали результаты расчетов движения вагонов при других массах и радиусах кривых участков.

Таким образом, при движении по кривому участку пути наибольшую нагрузку воспринимают первые по ходу движения колесные пары тележек. При этом на наружное колесо действуют существенно большие силы, чем на внутреннее.

Для наиболее нагруженной первой колесной пары определены средние значения горизонтальных поперечных и вертикальных сил, действующих в точках контакта с рельсами при различных значениях массы вагонов, скорости их движения и радиуса кривого участка пути. Рассмотрены случаи движения вагонов по кривым радиусом от 400 до 1000 м со скоростью 40–100 км/ч. Результаты показали, что горизонтальные силы на внутреннем колесе пропорциональны массе вагона и составляют 3–28 кН при массе вагонов 21–90 т. На наружном колесе они изменяются в диапазоне от 4 до 80 кН и пропорциональны не только массе, но и скорости движения. Вертикальные силы с увеличением скорости движения и уменьшением радиуса кривой увеличиваются на наружном колесе и уменьшаются на внутреннем. К примеру, в кривой 400 м увеличение скорости с 40 до 100 км/ч приводит к увеличению вертикальной силы на наружное колесо в зависимости от массы вагона на величину до 30 % и снижению ее на внутреннем колесе до 34 %.

Разработанная модель позволила определить предельные боковые силы в точке контакта гребня направляющего колеса с рельсом, при достижении которых происходит сход вагона с рельсов. Построены зависимости указанных предельных сил от массы вагонов при различных скоростях движения. Для кривого участка пути радиусом 400 м результаты представлены на рисунке 2.

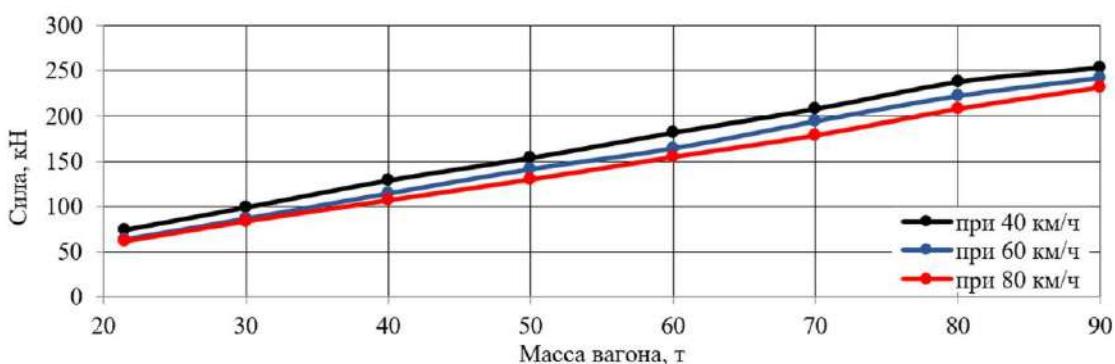


Рисунок 2 – Зависимости предельных боковых сил, приводящих к сходу подвижного состава с рельсов, от массы вагонов при различных скоростях движения в кривых участках пути радиусом 400 м

Таким образом, разработанная модель движения вагонов по рельсовой колее позволила оценить силовое взаимодействие колесных пар с рельсами в кривых участках пути. Результаты расчетов могут быть использованы для оценки безопасности движения подвижного состава в кривых участках пути, напряженно-деформированного состояния колесных пар и рельсов или их износа.

Список литературы

1 Shimanovsky, A. O. Research of the modern absorbing apparatus power characteristics influence on the freight train inter-car forces / A. O. Shimanovsky, P. A. Sakhara, M. G. Kuzniatsova // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Vol. 985. – P. 1–7.

2 Марченко, Д. М. Верификация сил трения, реализуемых в MSC.ADAMS при работе функции «Contact» / Д. М. Марченко, А. О. Шимановский // Механика. Исследования и инновации : сб. науч. тр. / Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель, 2018. – Вып. 11. – С. 185–194.