

Исследование взаимодействия колеса, имеющего ползун, с рельсом на основе вычислительного эксперимента

А.С. Лебедев

Самарский государственный университет путей сообщения, Самара, Россия

Обоснование. Ползун относится к острым дефектам ходовых частей рельсового подвижного состава, представляющий собой плоский участок (лыску) на поверхности катания, образующийся при движении заблокированного колеса юзом. Представляет собой опасность, вызванную ударным воздействием значительной величины, способным привести к трещинам, изломам и усталостным разрушениям колеса и рельса. Для обеспечения безопасности движения необходимы мероприятия по своевременной диагностике ходовых частей на предмет образования ползунов и прочих дефектов на поверхности катания колеса. В Стратегии развития холдинга ОАО «РЖД» отмечены такие задачи, как снижение динамического воздействия на путь, а также исследование влияния неисправностей на динамику подвижного состава [1].

Цель — разработка математической модели ударного взаимодействия колеса, имеющего ползун, с рельсом, верификация модели и получение зависимости максимального значения силы ударного взаимодействия в зависимости от глубины ползуна, скорости движения вагона и его массы.

Методы. Разработана математическая модель вертикальной динамики ходовых частей вагона, расчетная схема которой представлена на рис. 1 слева, реализованная в виде системы уравнений:

$$\begin{cases} m_1 \ddot{z}_1 = -m_1 g - \dot{z}_1 b_1 + c_2 (z_2 - z_1 - \eta) - c_1 z_1 \\ m_2 \ddot{z}_2 = -m_2 g + (\dot{z}_1 - \dot{z}_2) b_2 + c_3 (z_3 - z_2) - c_2 (z_2 - z_1 + \eta) - F_{\text{тр}} \\ m_3 \ddot{z}_3 = -m_3 g - (\dot{z}_2 - \dot{z}_3) b_3 + c_3 (z_3 - z_2) - F_{\text{тр}} \end{cases}$$

где η — функция возмущающего воздействия (вертикальная неровность пути); $F_{\text{тр}} = 2/\pi \tan^{-1}(\dot{z}_2 - \dot{z}_3) \mu c_3 (z_3 - z_2)$ — функция силы трения фрикционного гасителя; μ — коэффициент сухого трения фрикционного гасителя; m_1, m_2 и m_3 — приведенная масса участка пути, масса колеса и приведенная к нему масса неподрессоренных частей тележки и масса обрессорных частей тележки и части кузова, приходящегося на одну тележку соответственно; b_1, b_2, b_3 — коэффициенты вязкого демпфирования пути, демпфирования в зоне контактного взаимодействия колеса с рельсом и демпфирования в зоне контактного взаимодействия колеса с рельсом; c_1 — жесткость рельса и подрельсового основания пути; $c_2 = [Если (z_2 - z_1 - \eta) > 0, тогда 0, иначе 10^9]$ Н/м — функция жесткости в зоне контактного взаимодействия колеса с рельсом; c_3 — жесткость основного рессорного комплекта.

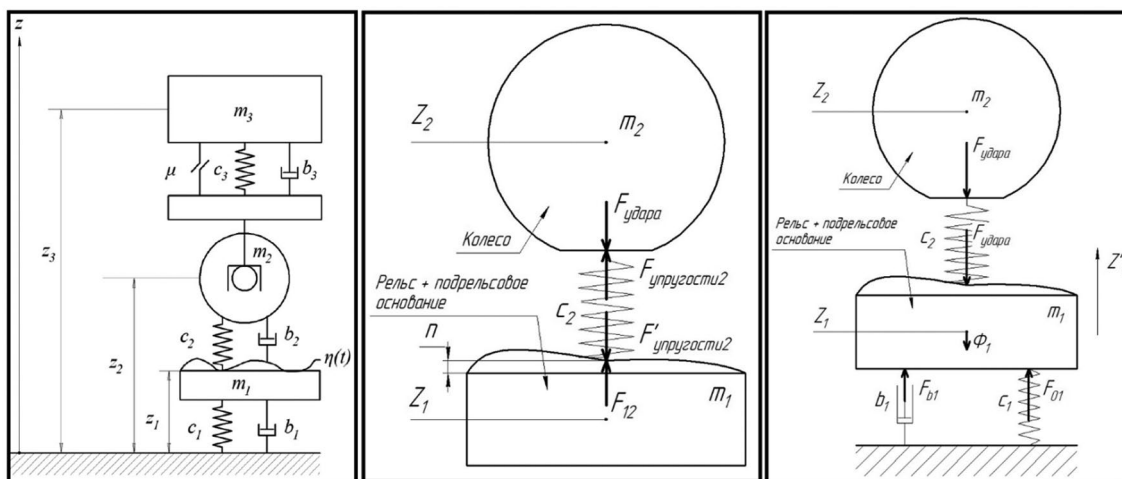


Рис. 1. Расчетная схема рельс-колесо-кузов вагона (слева), расчетная схема определения силы удара по деформации (в центре) и по ускорению рельса (справа)

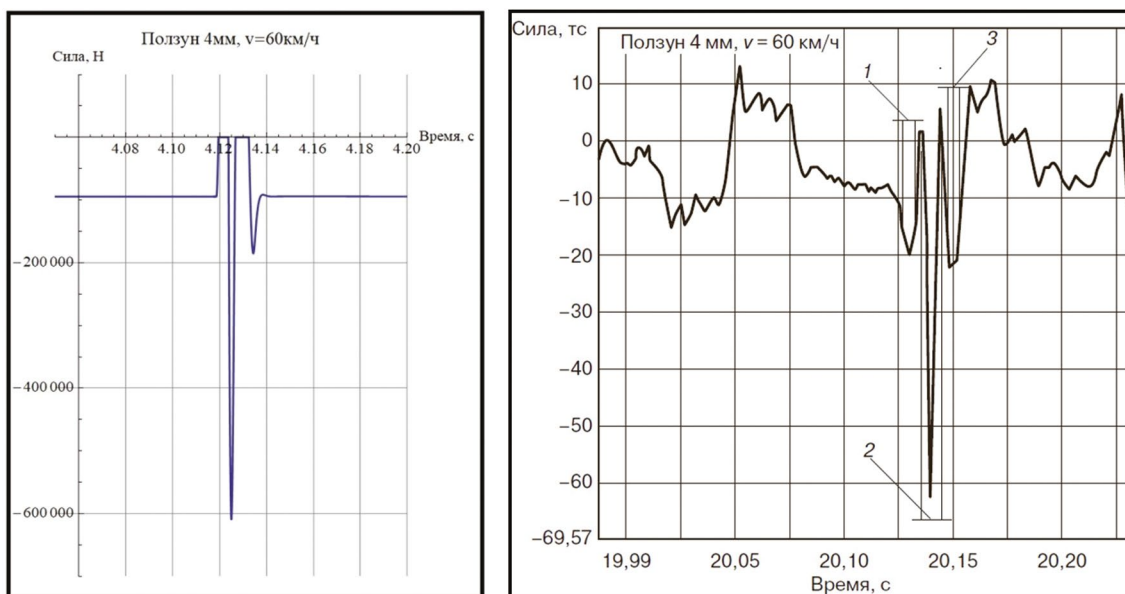


Рис. 2. Сравнение расчетных данных (слева) с экспериментом ВНИКТИ (справа)

Определение силы удара производится в первом случае по величине деформации упругого элемента c_2 , по формуле (расчетная схема на рис. 1 в центре):

$$F_{\text{удара}} = c_2(z_2 - (z_1 + \eta)).$$

Во втором варианте значение силы производится по ускорению рельса (рис. 1 справа) на основании принципа Даламбера:

$$F_{\text{удара}} = m_1 \ddot{z}_1 + c_1 z_1 + b_1 \dot{z}_1.$$

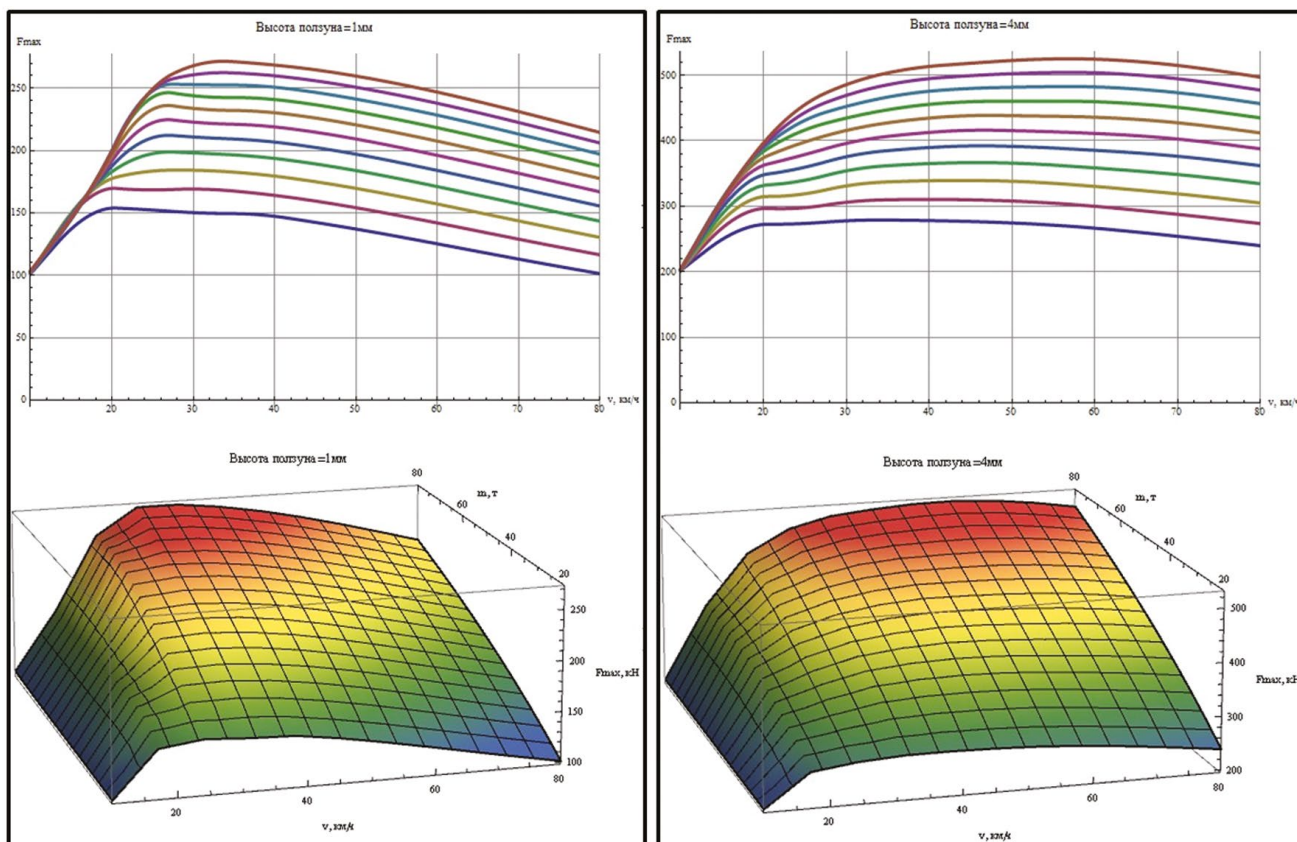


Рис. 3. Пример полученных графиков сил ударного взаимодействия

Результаты. Оба варианта определения силы показали абсолютное совпадение графиков силы при их наложении (приведены на рис. 2 слева).

Выполнено сравнение полученного графика силы (рис. 2, а) с экспериментальными данными, полученными специалистами ВНИКТИ [2] (рис. 2, б), показавшее качественное и количественное сходство построенных графиков, наличие характерных фаз — разгрузки, удара и последствий.

Для оценки влияния скорости и массы вагона на силу удара для разных величин ползунов была проведена серия из 600 численных экспериментов с меняющимися параметрами массы вагона от 20 тонн до 80 тонн, скорости от 10 км/ч до 80 км/ч, глубины ползуна от 0,5 мм до 4 мм, по итогам которой получен массив, включающий данные об изменении силы взаимодействия колеса и рельса в процессе движения.

В результате обработки полученных расчетных данных определялась максимальная (пиковая) сила удара, на основе которой были построены трехмерные графики для ползунов 0,5, 1, 2, 3, 4 мм. На представленных графиках отслеживается характер изменения максимальной силы удара в зависимости от скорости движения и массы вагона. Для определения диапазона скоростей, при которых значения удара максимальны было дополнительно построено семейство двумерных графиков. На рис. 3 показаны только результаты для ползуна 1 и 4 мм соответственно.

Выводы. Анализ полученных зависимостей сил удара с ползунами 0,5 и 1 мм показал, что в диапазоне скоростей 20 км/ч до 40 км/ч сила достигает максимальных значений в зависимости от массы вагона. Указанный диапазон можно рекомендовать для диагностики наличия ползуна при помощи датчиков-акселерометров, так как небольшой ползун при таких скоростях проявляет себя наиболее отчетливо.

Ключевые слова: дефект; ползун; ударное взаимодействие; математическая модель; вычислительный эксперимент.

Список литературы

1. zszd.rzd.ru [Электронный ресурс]. Стратегия научно-технологического развития холдинга «РЖД» на период до 2025 года и на перспективу до 2030 года (Белая книга) [обращения: 20.05.2024]. Режим доступа: <https://zszd.rzd.ru/api/media/resources/c/17/121/18071?action=download>
2. Краснов О.Г., Богданов О.К., Акашев М.Г. Динамические силы и процессы в рельсах при ударном взаимодействии колес с дефектами // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. 2016. Т. 75, № 6. С. 354–364. EDN: XCCLWT doi: 10.21780/2223-9731-2016-75-6-354-364

Сведения об авторе:

Александр Сергеевич Лебедев — студент, группа ПСЖД-22, Институт ТСПС; Самарский государственный университет путей сообщения, Самара, Россия. E-mail: summan25@mail.ru

Сведения о научном руководителе:

Юрий Кямалович Мустафаев — кандидат технических наук, доцент кафедры МИГ; Самарский государственный университет путей сообщения, Самара, Россия. E-mail: yu.mustafaev@samgups.ru