

А.М. ОРЛОВА, канд. техн. наук, ГУП НВЦ «Вагоны» (Россия)  
В.С. ЛЕСНИЧИЙ, канд. техн. наук, ГУП НВЦ «Вагоны» (Россия)  
Н.В. СМИРНОВ, ГУП НВЦ «Вагоны» (Россия)

## **ВЫБОР ТИПОВ, МЕСТ РАСПОЛОЖЕНИЯ ДАТЧИКОВ И КРИТЕРИЕВ ДЛЯ СИГНАЛИЗАЦИИ О СХОДЕ ГРУЗОВОГО ВАГОНА НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО И ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

У роботі виконаний попередній вибір типів і місць розташування датчиків, а також критеріїв, що сигналізують про сход однієї або декількох колісних пар вагонів з рейок. Розроблено динамічну модель руху і сходу з рейкового шляху порожнього вантажного вагона з урахуванням місць розташування датчиків.

В работе выполнен предварительный выбор типов и мест расположения датчиков, а также критериев, сигнализирующих о сходе одной или нескольких колесных пар вагонов с рельсов. Разработана динамическая модель движения и схода с рельсового пути порожнего грузового вагона с учетом мест расположения датчиков.

The work considers three stages of derailment process, which are the flange climbing the railhead, the wheelset falling down from the rail and the wheelset motion over the sleepers. Numerical, roller rig and natural experiments were carried out for each stage giving acceptable agreement between the results. Types and positions of sensors as well as the criteria are recommended to diagnose the derailment case in the moving train.

При движении вагонов в составе поезда иногда возникают ситуации, когда одна или несколько колесных пар вагона сходят с рельсов и продолжают движение по шпальной решетке. Сопротивление поезда движению в таком случае изменяется незначительно и сход колесных пар с рельсов может пройти незамеченным со стороны машиниста. Очевидно, что движение колесной пары не по рельсам угрожает безопасности движения и при взаимодействии с кривыми и стрелочными переводами может вызвать падение вагона на путь. Особенно важно исключить такие ситуации в поездах, перевозящих опасные грузы.

Решением данной проблемы может стать электронная или пневматическая система, сигнализирующая машинисту о возникновении нештатной ситуации в поезде [5]. Поэтому в работе поставлена задача предварительно определить типы и места расположения датчиков, которые могли бы диагностировать сход одной (или нескольких) колесных пар с рельсов, а также разработать критерии, сигнализирующие об этом.

Для решения данной задачи процесс схода колесной пары с рельсов был разбит на несколько этапов:

– движение по рельсовому пути с неровностями (предшествует сходу);

– вкатывание гребня колеса на головку рельса (предшествует сходу и не всегда заканчивается падением колеса на шпалы);

– падение колесной пары с высоты головки рельса на шпальную решетку;

– движение колесной пары по шпальной решетке.

Исследования проводились методами математического моделирования и натурального эксперимента.

### **Результаты моделирования процесса схода вагона с рельсов**

Для оценки динамического поведения порожнего вагона-хоппера при сходе с рельсового пути была использована модель, разработанная в программном комплексе «Medyna» [1, 2].

Численный эксперимент был разделён на два этапа.

На первом этапе исследовалось движение вагона при вползании гребня колеса на головку рельса, предшествующем сходу с рельсового пути.

При расчёте была задана «неблагоприятная» геометрическая конфигурация тележки в плане (диагонально противоположные клинья с завышением на 5 мм, зазоры в челюстном проёме левой боковой рамы в продольном направлении максимально допустимые 15 мм, а у правой

боковой рамы – минимально допустимые 6 мм) [3].

В качестве возмущающего воздействия со стороны пути было задано «неблагоприятное» сочетание единичной горизонтальной и вертикальной неровности на левом и правом рельсе (рис. 1) [4].

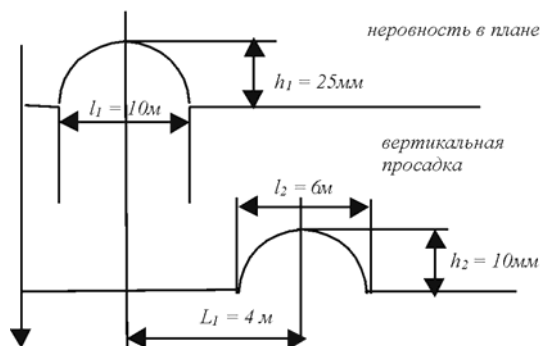


Рис. 1. Неблагоприятное сочетание неровности в плане и симметричной вертикальной просадки

Движение вагона моделировалось по прямому участку пути со скоростью 70 км/ч.

Поскольку в составе поезда после схода одной из колесных пар с рельсов вагон продолжает ещё некоторое время двигаться, на втором этапе численного эксперимента оценивалось динамическое поведение вагона, у которого одна (первая) колёсная пара движется по шпальной решётке, а остальные колёса – по рельсам.

Возмущение, действующее на колёсную пару, движущуюся по шпальной решётке, задавалось в виде синусоидальной функции с амплитудой 17,5 мм и периодом 0,54 м. Сравнение приближенной траектории колеса при движении по шпальной решётке и заданной возмущающей функции представлено на рис. 2.

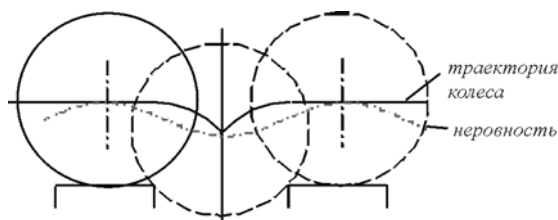


Рис. 2. Траектория колеса при движении по шпальной решётке

Возмущения, действующие на остальные колёсные пары, задавались в виде случайных горизонтальных и вертикальных неровностей, соответствующих железнодорожному пути среднего состояния [4].

Движение моделировалось по прямому участку пути в диапазоне скоростей от 10 до 90 км/ч с шагом 20 км/ч. Для сравнения были

проведены расчёты на модели того же вагона и при тех же скоростях движения в нормальном режиме (без схода).

Необходимо отметить, что отличие режима движения одной колесной пары по шпальной решётке при моделировании от аналогичного режима в эксплуатации (или при испытаниях) заключается в том, что конфигурация вагона и тележки при моделировании соответствует его штатному положению в колее, и только неровности описывают движение по шпалам. Поэтому при сравнении расчета и эксперимента использовались только динамические составляющие величин, измеренных виртуальными или реальными датчиками.

Частота опроса виртуальных датчиков составляла 100 Гц.

Анализ полученных результатов первого этапа численного эксперимента показал:

- 1) углы галопирования и боковой качки вагона, а также угол галопирования боковых рам тележки при движении по неровностям и в процессе вкатывания гребня колеса на головку рельса отличаются незначительно и не позволяют диагностировать начало процесса схода;
- 2) аналогичный вывод справедлив для горизонтального ускорения над шкворнем тележки, которая сходит с рельсов;
- 3) остальные измеряемые виртуальными датчиками величины в момент вползания гребня колеса на головку рельса имеют существенные отличия от состояния качения по неровностям:
  - вертикальное ускорение в центре кузова увеличивается в 4 раза и составляет 1,2g;
  - вертикальное ускорение на буксе колесной пары увеличивается в 3,0...3,5 раза и составляет 12...14g;
  - вертикальное ускорение на наддресорной балке над пружинным комплектом увеличивается в 2,0...2,5 раза и составляет 7,5...8,0g;
  - вертикальное ускорение кузова над шкворнем увеличивается примерно в 2 раза и составляет 1,7g
- и могут быть использованы в качестве критериев для диагностики вползания гребня колеса на головку рельса;
- 4) продольное перемещение скользуна кузова относительно скользуна на наддресорной балке, характеризующее поворот тележки под вагоном, хотя и увеличивается при сходе в 2...4 раза, но не является перспективным для установки датчиков, так как угол

поворота аналогичной величины может возникать при проходе вагоном кривых участков пути и стрелочных переводов.

После проведения второго этапа численного эксперимента были получены результирующие временные зависимости интересующих величин в местах возможной установки датчиков, которые характеризуют поведение вагона во время движения первой колёсной пары по шпальной решётке после схода и в штатном режиме.

Графики зависимости величин, перспективных для диагностирования схода грузового вагона с рельсов приведены на рис. 3...7.

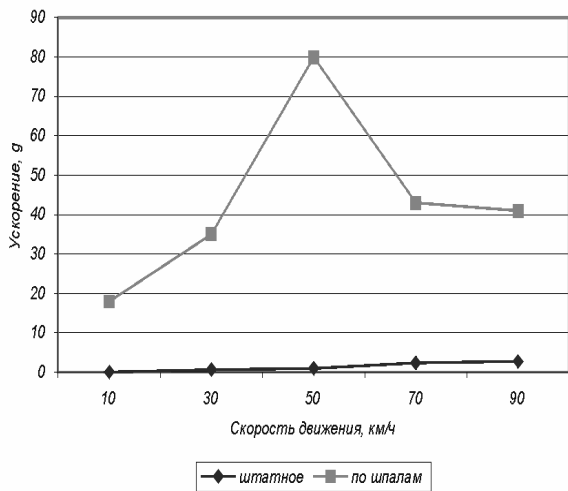


Рис. 3. Зависимость вертикального ускорения на буксе колесной пары от скорости движения вагона по рельсовому пути (в штатном режиме) и по шпальной решетке

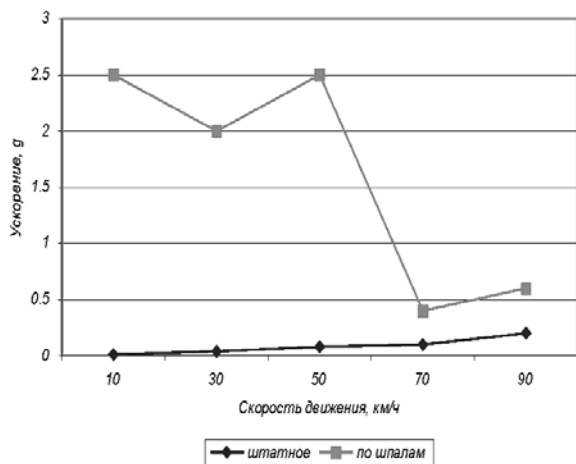


Рис. 4. Зависимость вертикального ускорения на шкворне вагона от скорости движения по рельсовому пути (в штатном режиме) и по шпальной решетке

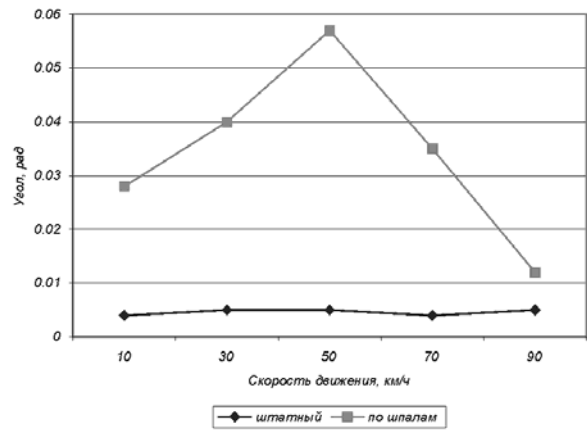


Рис. 5. Зависимость угла галопирования боковой рамы (динамической составляющей) от скорости движения вагона по рельсовому пути (в штатном режиме) и по шпальной решетке

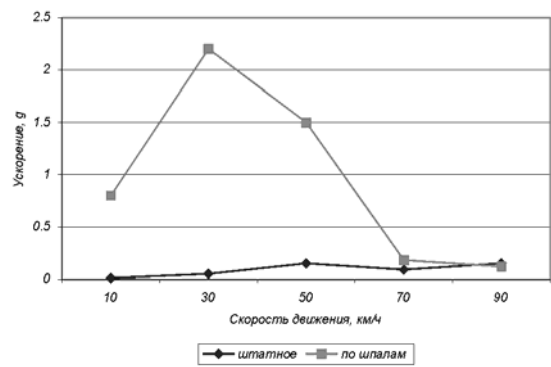


Рис. 6. Зависимость горизонтального ускорения на шкворне вагона от скорости движения по рельсовому пути (в штатном режиме) и по шпальной решетке

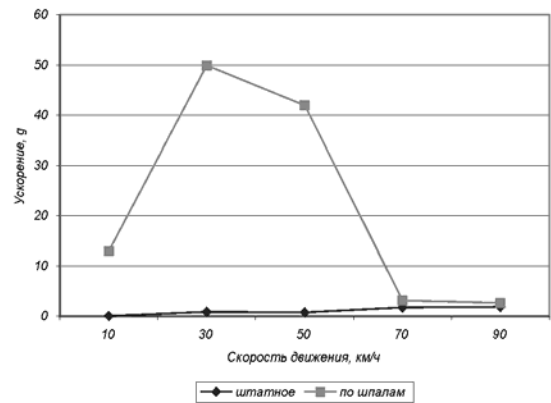


Рис. 7. Зависимость вертикального ускорения над пружинным комплектом от скорости движения по рельсовому пути (в штатном режиме) и по шпальной решетке

Анализ полученных результатов второго этапа численного эксперимента показал:

- 1) вертикальное ускорение на буксе колесной пары в штатном режиме движения по неровностям рельсового пути не превысило

2,8g, в то время как при движении по шпалам его значения составили 18...80g. Таким образом, вертикальное ускорение на буксе колесной пары может быть использовано для диагностики последствий схода колесной пары с рельсов;

- 2) вертикальное ускорение на шкворне вагона над тележкой в штатном режиме движения не превысило 0,2g, в то время как при движении по шпалам его максимальные значения составили 0,4...2,5g, что позволяет использовать этот показатель для диагностики последствий схода вагона. Необходимо отметить, что ускорения на шкворне 2,0...2,5g наблюдались при скоростях движения менее 70 км/ч, а затем они резко упали. Это может быть объяснено тем, что при больших скоростях движения колесная пара «сглаживает» неровности за счёт инерции;
- 3) отличие в величине вертикального ускорения над рессорным комплектом и горизонтального ускорения на шкворне вагона при скоростях движения 70...90 км/ч по рельсовому пути и по шпалам незначительно, следовательно, эти величины не рекомендуется использовать при диагностике последствий схода грузового вагона;
- 4) динамическая составляющая угла галопирования боковой рамы в штатном режиме движения практически не зависит от скорости и составляет 4...5 мрад. При движении по шпалам динамическая составляющая угла галопирования растёт до скорости 50 км/ч, а затем убывает, что связано со «сглаживанием» неровностей за счёт инерции колесной пары. При этом величина угла составляет 12...57 мрад, что позволяет использовать её для диагностирования последствий схода колесной пары с рельсов.

Необходимо отметить, что при моделировании движения вагона достоверным является диапазон частот до 20...50 Гц, то есть сравнение результатов расчетов с результатами эксперимента должно производиться с учетом фильтра верхних частот.

#### **Результаты натурального эксперимента по сходу вагона с рельсов**

Испытания по выбору типов и мест расположения датчиков, сигнализирующих о сходе грузового вагона, проводились в соответствии с разработанной НВЦ «Вагоны» программой и методикой исследовательских испытаний.

Для всестороннего рассмотрения процессов, происходящих при движении вагона в момент

схода вагона с рельсов и при последующем движении по шпальной решетке, испытания выполнялись в три этапа.

1. Определение номинального сигнала, возникающего при движении вагона со скоростями до 90 км/ч по неровностям рельсового пути, имитируемых в условиях каткового стенда.

2. Прогнозирование сигнала, возникающего при движении колесной пары по неровностям, имитирующим шпальную решетку, со скоростями до 90 км/ч в условиях каткового стенда.

3. Определение сигнала в момент схода колесной пары с рельсов в условиях испытательного полигона.

На катковом стенде НВЦ «Вагоны» испытаниям подвергался вагон-платформа (рис. 8), установленный таким образом, что в движение приводилась одна колесная пара грузовой тележки. Для создания усилия сцепления между колесной парой и катком стенда, вагон нагружался до осевой нагрузки 7 т.

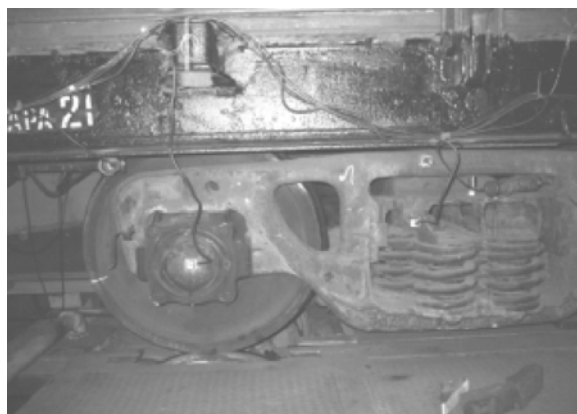


Рис. 8. Установка испытуемого вагона-платформы на катковом стенде

По результатам экспериментальных исследований для диагностики схода одной из колесных пар вагона с рельсов были рекомендованы следующие величины:

- вертикальное ускорение в геометрическом центре вагона;
- угол галопирования боковой рамы;
- изгибающий момент в хребтовой балке вагона в зоне ее геометрического центра;
- вертикальное ускорение над шкворнем вагона (или в концевой части рядом с автосцепкой).

Для каждой из рекомендованных величин определены критерии, сигнализирующие о сходе одной из колесных пар вагона с рельсов, сделан прогноз их чувствительности к другим ударным воздействиям (маневровая работа,

ропуск вагонов с горки), потребности в датчиках (на вагон) и возможности отладки системы измерения на катковом стенде или в условиях испытательного полигона.



Рис. 9. Сход испытуемого полувагона с рельсов на испытательном полигоне

Предварительными критериями схода могут служить:

– многократное или единичное превышение вертикальным ускорением в геометрическом центре вагона (без учета фильтрации) уровня  $2g$  при скорости движения свыше  $20$  км/ч или единичное превышение этого уровня при скорости движения менее  $20$  км/ч. При этом необходим только один датчик на вагон, так как его показания не зависят от того, которая колесная пара тележки сошла с рельсов. Система может быть эффективно отработана в условиях каткового стенда;

– многократное превышение размахом угла галопирования боковой рамы тележки уровня  $50$  мрад. Вагон должен оборудоваться двумя датчиками, расположенными по одному на каждой тележке. Система может быть эффективно отработана в условиях испытательного полигона при небольших скоростях движения, так как ее показания практически не зависят от скорости;

– многократное превышение изгибающим моментом в центре хребтовой балки вагона уровня  $20$  кН·м. Показания не зависят от того,

которая колесная пара тележки сошла с рельсов и не подвержены влиянию продольных сил, действующих на вагон при маневрах и движении в составе поезда. Градуировка системы должна производиться для каждой модели вагона. Система может быть эффективно отработана в условиях каткового стенда;

– многократное превышение вертикальным ускорением над шкворнем вагона (без учета фильтрации) уровня  $2g$  при скорости движения свыше  $30$  км/ч или единичное превышение уровня  $5g$  при любых скоростях движения. Вагон должен оборудоваться двумя датчиками, расположенными по одному на каждой тележке. Датчики чувствительны к галопированию кузова вагона при роспусках с горок и маневровых работах. Система может быть эффективно отработана в условиях каткового стенда.

В настоящее время ООО «Полифер» проводятся работы по созданию и отработке конструкции датчика для сигнализации о сходе грузового вагона в составе поезда.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лесничий В.С., Орлова А.М. Компьютерное моделирование задач динамики железнодорожного подвижного состава. Основы моделирования в программном комплексе MEDYNA: Учебное пособие.– СПб.: ПГУПС, 2001. – Часть 1: – 34 с.
2. Лесничий В.С., Орлова А.М. Компьютерное моделирование задач динамики железнодорожного подвижного состава. Моделирование динамики грузовых вагонов в программном комплексе MEDYNA, Учебное пособие.– СПб.: ПГУПС, 2002. – Часть 3: – 35 с.
3. РД 32 ЦВ 052-99. Руководящий документ.
4. РД 32.68-96. Расчетные неровности железнодорожного пути для использования при исследованиях и проектировании пассажирских и грузовых вагонов. – Введ. 01.01.97. – М.: ВНИИЖТ, 1996. – 17 с.
5. Weiss S. Derailment detectors fitted to Swiss tank wagons // Railway Gazette International.