

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ДЕФОРМАЦИЙ В АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЯХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА С ПРИМЕНЕНИЕМ СИСТЕМ ПАССИВНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Д. Я. АНТИПИН, Д. А. БОНДАРЕНКО, М. А. МАСЛОВ, С. А. КРАВЦОВ  
Брянский государственный технический университет, Российская Федерация

Для снижения травмирования пассажиров и членов поездных бригад предложена система пассивной безопасности вагонов локомотивной тяги [1, 2]. Система обеспечивает снижение усилий соударения, уменьшение ускорений элементов подвижного состава и частичное поглощение энергии соударения за счет контролируемой деформации специальных элементов, сцепного устройства и элементов несущей конструкции кузова. Компоненты системы пассивной безопасности спроектированы таким образом, чтобы обеспечить контролируемое поглощение энергии и ограничить деформации кузова при аварии. Важным аспектом является интеграция энергопоглощающих устройств в буферные системы и использование срезаемых креплений, которые снижают передачу ударных нагрузок на конструкцию вагона.

Теоретическая оценка эффективности системы пассивной безопасности пассажирского вагона произведена на основе математического моделирования столкновения пассажирского поезда с препятствием согласно тестовому сценарию столкновения [3, 4].

При моделировании поезд представлен в виде совокупности систем связанных твердых тел, описывающих его пространственные колебания. Разработка и расчет модели произведены в среде программного комплекса моделирования динамики систем тел «Универсальный механизм» [5].

На базе исходных данных о геометрических, инерционных и силовых характеристиках элементов конструкций поезда произведено формирование его расчетной схемы. На основании созданной динамической модели в программном комплексе производится автоматическая генерация уравнений движения состава. Моделирование движения пассажирского поезда проводится с использованием модуля UM Simul, осуществляющего интегрирование полученных уравнений движения.

В качестве сценария аварийной ситуации рассмотрено столкновение грузового железнодорожного состава (рисунок 1), состоящего из магистрального тепловоза и трех полностью загруженных цистерн модели 15-289, движущегося на скорости 80 км/ч, с пассажирским составом, состоящим из электровоза ЧС-7, находящегося в голове поезда, и четырех пассажирских вагонов, которые оборудованы предлагаемой системой пассивной безопасности.

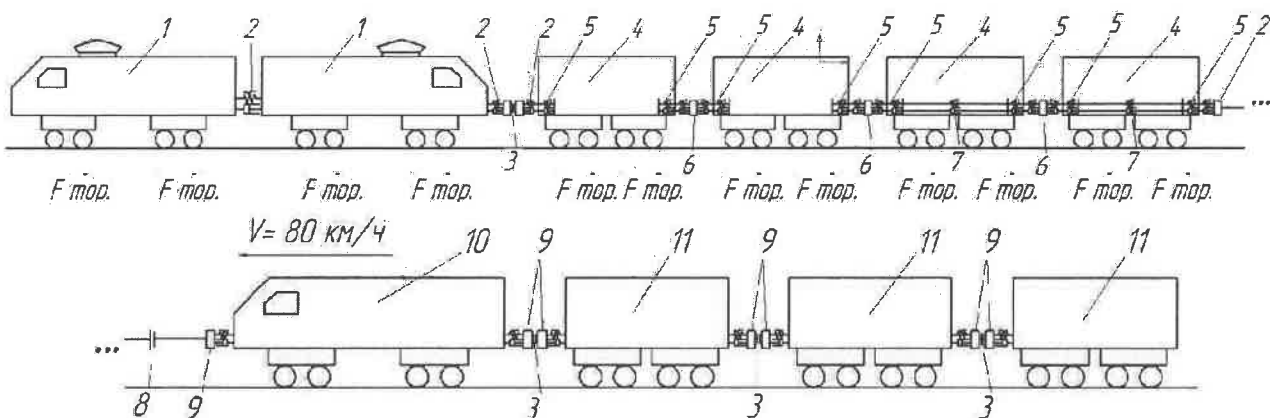


Рисунок 1 – Схема компьютерной модели аварийной ситуации:

- 1 – секция локомотива ЧС7; 2 – сцепное устройство СА-3; 3 – группа контактных силовых элементов, моделирующих контур зацепления автосцепного устройства СА-3; 4 – твердотельная модель пассажирского вагона; 5 – нелинейный упруго-диссипативный элемент, моделирующий энергопоглощающее устройство системы пассивной безопасности; 6 – твердотельная модель межвагонного беззазорного сцепного устройства БСУ-3 и упруго-диссипативные элементы, моделирующие поглощающие аппараты Р5-П; 7 – нелинейный упруго-диссипативный элемент, моделирующий упруго-диссипативные свойства кузова вагона при аварийных соударениях; 8 – контактный силовой элемент типа «точка – плоскость»; 9 – автосцепное устройство СА-3 с поглощающими аппаратами ПМКП-110; 10 – твердотельная модель магистрального тепловоза; 11 – твердотельная модель вагона-цистерны

Результаты компьютерного моделирования позволили получить данные об изменении динамических усилий и ускорений (рисунок 2), действующих на кузов вагона в течение времени аварийного соударения.

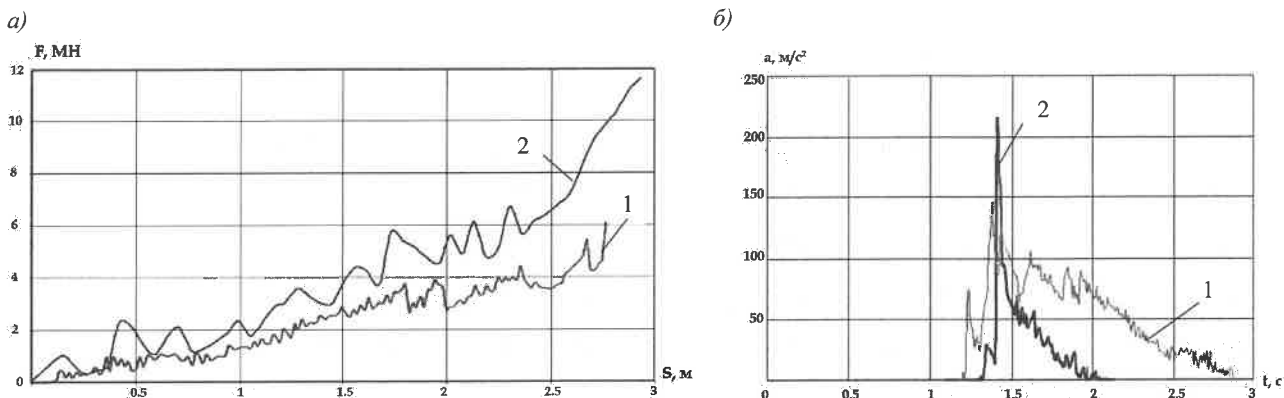


Рисунок 2 – Зависимость изменений деформаций кузова вагона от величины динамических усилий, действующих на него (а) и ускорений при аварийном соударении вагона (б):  
 1 – вагон, оборудованный системой пассивной безопасности;  
 2 – вагон, не оборудованный системой пассивной безопасности

Анализ этих данных показал, что внедрение систем пассивной безопасности позволяет уменьшить пиковые нагрузки до 1,9 раза и увеличить время воздействия усилий с 0,6 до 1,7 секунды. Это свидетельствует о значительном снижении ускорений и, как следствие, потенциально уменьшает риск повреждений пассажиров [6].

Полученные результаты подтверждают эффективность систем пассивной безопасности в повышении безопасности железнодорожных перевозок. Эти системы не только снижают уровень деформаций и ускорений, но и способствуют улучшению общей устойчивости вагонов к аварийным ситуациям. Важными направлениями дальнейших исследований являются оптимизация конструкции энергопоглощающих элементов и разработка новых материалов, способных еще более эффективно управлять распределением ударной нагрузки.

Применение современных методов моделирования и анализа позволило глубже понять процесс деформации железнодорожных вагонов в аварийных ситуациях и подтвердить эффективность систем пассивной безопасности. Использование таких систем является важным шагом к повышению безопасности железнодорожного движения и минимизации последствий аварийных ситуаций. В дальнейшем предполагаются расширение сфер применения данных методик и разработка интегрированных решений для других видов транспорта.

#### Список литературы

- 1 **Бондаренко, О. И.** Оценка безопасности пассажирских вагонов при аварийном опрокидывании на насыпь / О. И. Бондаренко // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2021. – № 9 (106). – С. 49–54. – DOI : 10.30987/1999-8775-2021-9-49-54.
- 2 **Антипин, Д. Я.** Анализ аварийного соударения пассажирского поезда с препятствием на железнодорожном пути / Д. Я. Антипин, С. Г. Шорохов, О. И. Бондаренко // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2018. – № 4 (65). – С. 47–50. – DOI : 10.30987/article\_5b28d1998e0e90.15201563.
- 3 **Антипин, Д. Я.** Нагруженность пассажирского поезда при аварийном соударении с автомобилем на железной дороге / Д. Я. Антипин, С. Г. Шорохов, О. И. Бондаренко // Известия Транссиба. – 2018. – № 3 (35). – С. 2–10.
- 4 **Антипин, Д. Я.** Обоснование методики анализа комфорта и безопасности при перевозках пассажиров за счет уменьшения вибрационной нагруженности кузова пассажирского вагона / Д. Я. Антипин, Е. В. Лукашова, П. Д. Жиров // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2021. – № 2 (99). – С. 44–50. – DOI : 10.30987/1999-8775-2021-2-44-50.
- 5 **Кобищанов, В. В.** Разработка устройств пассивной безопасности пассажирских вагонов / В. В. Кобищанов, Д. Я. Антипин, С. Г. Шорохов // Мир транспорта. – 2015. – Т. 13, № 2 (57). – С. 220–226.
- 6 **Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колес 1520 мм (несамоходных).** – М. : ГосНИИВ – ВНИИЖТ, 1996. – 319 с.