

Таблица 1 – Расчетные значения критериев травмирования пассажиров при аварийном опрокидывании вагона

Место расположения манекена в салоне вагона	Критерий травмирования		
	<i>HIC</i>	$N_{ij}$	<i>FFC</i>
1	965	1,3	6975
2	978	1,2	7230
3	932	1,3	6900
4	378	1,0	5468
5	925	1,32	7669
6	906	1,11	6848
7	386	1,13	6400
Предельно допускаемое значение	1000	1,4	10000

#### Список литературы

1 Антипин, Д. Я. Разработка компьютерной модели соударения пассажирского поезда с препятствием / Д. Я. Антипин, С. Г. Шорохов // *Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии : материалы междунард. науч.-техн. конф.* 2014. – С. 61–62.

2 Бондаренко, О. И. Оценка уровня травмирования пассажиров вагонов в аварийных ситуациях при взаимодействии с багажом / О. И. Бондаренко, Д. Я. Антипин, С. Г. Шорохов // *Транспорт Урала.* – 2020. – № 1(64). – С. 30–34.

3 Антипин, Д. Я. Применение моделей антропометрических манекенов для оценки безопасности пассажирского подвижного состава / Д. Я. Антипин, В. В. Кобищанов, С. Г. Шорохов // *Наука и образование транспорту.* – 2015. – № 1. – С. 6–9.

4 Bondarenko, O. I. Modeling of nonlinear shock deformation of passenger car bodies with emergency exits / O. I. Bondarenko, S. G. Shorokhov, V. A. Lebedev // *Journal of Physics: Conference Series. International Scientific Conference "Conference on Applied Physics, Information Technologies and Engineering – APITECH-2019"* ; Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations; Polytechnical Institute of Siberian Federal University. – 2019.

5 Антипин, Д. Я. Оценка динамической нагруженности отечественных пассажирских вагонов при аварийных соударениях поездов с препятствиями / В. В. Кобищанов, Д. Я. Антипин, С. Г. Шорохов // *Технологическое обеспечение ремонта и повышение динамических качеств железнодорожного подвижного состава : материалы третьей всероссийской науч.-техн. конф. с международным участием.* В 3 ч. ; И. И. Галиев (отв. редактор). – 2015. – С. 50–56.

6 Антипин, Д. Я. Анализ уровней черепно-мозговых травм пассажиров при аварийном соударении поезда с грузовым вагоном / Д. Я. Антипин, С. Г. Шорохов // *Проблемы техносферной безопасности – 2015 : материалы 4-й Междунард. науч.-практ. конф. молодых ученых и специалистов.* Академия государственной противопожарной службы МЧС России, 2015. – С. 251–254.

УДК 625.03

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ БОКОВЫХ НАГРУЗОК ОТ КОЛЕС НА РЕЛЬСЫ

*Ю. П. БОРОНЕНКО, Р. В. РАХИМОВ*

*Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I,  
Российская Федерация*

Надежным способом получения достоверных результатов по исследованию взаимодействия подвижного состава и железнодорожного пути являются экспериментальные методы. На железных дорогах России для измерения бокового воздействия подвижного состава на железнодорожный путь используются методы Шлюмпфа согласно ГОСТ Р 55050-2012 [1] и «РЖД-2016» [2]. Эти методы реализуются с применением тензорезисторов, устанавливаемых на шейке рельса. Обработка получаемых сигналов позволяет измерять силу между колесом и рельсом только в момент расположения колеса над сечениями тензорезисторов, непрерывная регистрация сил в контакте «колесо – рельс» невозможна. При этом результаты измерений зависят от скорости движения и частоты квантования измерительной аппаратуры. Из-за этих особенностей для получения статистически достоверного объема экспериментальных данных при проведении испытаний по воздействию на путь требуются многократные проходы испытуемого подвижного состава по измерительному участку пути.

В настоящее время разработан и теоретически обоснован новый метод кусочно-непрерывной регистрации боковых сил от взаимодействия колеса с рельсом по измерению нормальных напряжений в двух сечениях рельса [3], обеспечивающий повышенную точность измерений боковых сил на значительной части межшпального промежутка.

В результате комплексных исследований [4] с применением метода конечных элементов установлено, что лучшим вариантом для восстановления боковых сил от взаимодействия колеса с рельсом по измерению нормальных напряжений в двух сечениях рельса является установка восьми тензорезисторов на высотах 67,5 и 72,5 мм от подошвы рельса в двух вертикальных поперечных сечениях, расстояние между которыми составляет 440 мм, находящихся симметрично относительно вертикальной центральной поперечной плоскости межшпального промежутка (рисунок 1). Такое расположение тензорезисторов обеспечивает стандартное отклонение восстановленной боковой силы не более 4 % по длине измерительной зоны примерно 140 мм.

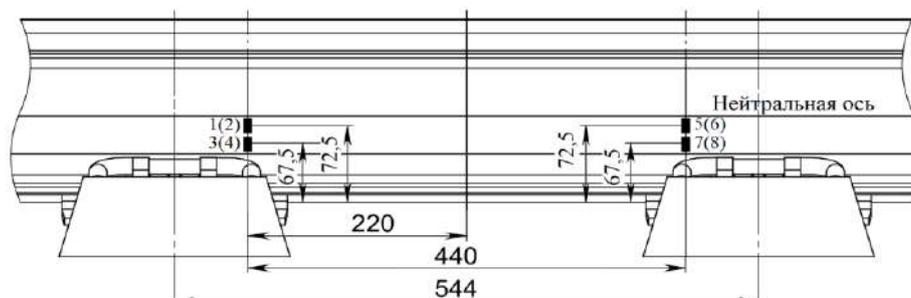


Рисунок 1 – Схема расположения тензорезисторов на шейке рельса для измерения боковых сил от колес на рельсы:  
1–8 – номера тензорезисторов

Для проверки точности измерений боковых сил от взаимодействия колеса с рельсом по измерению нормальных напряжений в двух сечениях рельса были проведены экспериментальные исследования на железнодорожном пути [5].

Для экспериментов использовался фрагмент железнодорожного пути с рельсами типа Р65 длиной 3000 мм, уложенный на деревянные опоры, шаг укладки которых составлял 544 мм. Для регистрации сигналов и вычисления боковых сил от взаимодействия колеса с рельсом на обе стороны шейки рельса в двух вертикальных поперечных сечениях была произведена наклейка восьми тензорезисторов с номинальной базой 3 мм на высотах 65,5 и 72,5 мм от подошвы рельса (см. рисунок 1) и тензорезисторы были соединены по схеме полного измерительного моста с четырехпроводной схемой подключения с регистрирующей аппаратурой.

В процессе экспериментов для определения масштабов измерения тензометрической схемы и имитации вертикального и бокового воздействия колеса на рельс было использовано специальное устройство, позволяющее осуществлять нагружение рельса вертикальной силой, расположенной в продольной плоскости рельса, и вертикальной силой, смещенной относительно продольной плоскости рельса на  $\pm 20$  мм, и горизонтальной силой.

На первом этапе эксперимента по сечениям рельса с помощью устройства для нагружения рельса прикладывалась центральная вертикальная статическая нагрузка  $Q$ , равная 25 и 50 кН, с последующим ее снижением до полной разгрузки; на втором этапе эксперимента – вертикальная статическая нагрузка  $Q$ , равная 25 и 50 кН, прикладывалась по сечениям рельса со смещением относительно продольной плоскости рельса на 20 мм наружу и внутрь от середины головки рельса. На всех этапах эксперимента одновременно с вертикальной нагрузкой на фрагмент рельса прикладывалась горизонтальная поперечная нагрузка  $P$ , равная  $0,2Q$  и  $0,4Q$ , на расстоянии 20 мм от уровня головки рельса.

По результатам эксперимента были определены зависимости восстановленной боковой силы от точки приложения нагрузки согласно предложенному методу. Установлено, что средние значения восстановленных боковых сил на длине измерительной зоны примерно 140 мм составляют:

- при действии вертикальной силы величиной 50 кН и боковой силы величиной 20 кН –  $20,16 \pm 0,47$  кН, относительная погрешность при этом равна 2,37 %;
- при действии вертикальной силы величиной 50 кН и боковой силы величиной 10 кН –  $10,04 \pm 0,24$  кН, относительная погрешность при этом равна 2,43 %;
- при действии вертикальной силы величиной 25 кН и боковой силы величиной 10 кН –  $10,02 \pm 0,28$  кН, относительная погрешность при этом равна 2,82 %;
- при действии вертикальной силы величиной 25 кН и боковой силы величиной 5 кН –  $5,06 \pm 0,15$  кН, относительная погрешность при этом равна 3,01 %.

Таким образом, проведенные экспериментальные исследования по определению боковых нагрузок от взаимодействия колеса с рельсом на железнодорожном пути подтвердили результаты теоретических исследований и эффективность метода кусочно-непрерывной регистрации боковых сил по измерению нормальных напряжений в двух сечениях рельса.

Следовательно, предложенный метод [3] рекомендуется для использования при определении силового воздействия подвижного состава на железнодорожный путь, что позволит обеспечить повышенную точность измерений, сократить необходимое число проходов испытуемого подвижного состава и количество тензорезисторов для получения достоверных статистических данных, за счет этого уменьшит сроки и стоимость испытаний по воздействию на путь по сравнению с испытаниями, согласно методу Шлюмпфа по ГОСТ Р 55050-2012 и методу «РЖД-2016».

#### Список литературы

1 **ГОСТ Р 55050-2012.** Железнодорожный подвижной состав. Нормы допустимого воздействия на железнодорожный путь и методы испытаний (с Изменением № 1 от 01.10.2014 г.). – М. : Стандартинформ, 2013. – 15 с.

2 **Коссов, В. С.** Определение показателей воздействия подвижного состава на железнодорожный путь методом «РЖД-2016» / В. С. Коссов, А. А. Лунин // Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты : материалы XII Междунар. науч.-технич. конф. – СПб. : ПГУПС, 2017. – С. 123–126.

3 Пат. 2720188 Российская Федерация: МПК G01L 1/22 (2006.01). Способ измерения боковых сил, действующих от колеса на рельс, и устройство для его осуществления / Ю. П. Бороненко, Р. В. Рахимов, А. С. Даукша ; заявитель и патентообладатель АО «НВЦ «Вагоны». – № 2019114559; заявл. 13.05.2019; опубл. 27.04.2020; бюл. № 12. – 11 с.

4 **Бороненко, Ю. П.** Измерение боковых нагрузок от колес на рельсы / Ю. П. Бороненко, Р. В. Рахимов // Транспорт Российской Федерации. – 2019. – № 4(83). – С. 45–50.

5 **Бороненко, Ю. П.** Экспериментальное определение боковых нагрузок от взаимодействия колеса с рельсом / Ю. П. Бороненко, Р. В. Рахимов // Транспорт Российской Федерации. – 2019. – № 6(85). – С. 50–53.

УДК 621.331

## ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ ОПТИМИЗАЦИИ НАПРЯЖЕНИЯ В ТЯГОВОЙ СЕТИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

*Д. А. БОСЫЙ, В. В. БЛИНДЮК*

*Днепровский национальный университет железнодорожного транспорта  
им. акад. В. Лазаряна, Украина*

Режим напряжения в тяговой сети, при отсутствии эксплуатационных ограничений, определяет провозную и пропускную способность электрифицированной железной дороги, которая влияет на установленный вес и количество пропущенных поездов за определенный промежуток времени. Обеспечение необходимого уровня напряжения в тяговых сетях электрифицированных железных дорог должно осуществляться применением необходимых технически возможных мер во время разработки и изготовления оборудования и комплектующих изделий, проектирования и построения системы тягового электроснабжения на базе обоснованного выбора ее конфигурации и параметров и рациональных схем подключения к системе внешнего электроснабжения.

Особенностями передачи электроэнергии по тяговой сети являются изменение положения электродвижущего состава (ЭПС) и изменение режимов их работы, ограничения, которые определяются влиянием поездов друг на друга в зависимости от их взаимного расположения, а также ограничения, связанные, в целом, с обеспечением перевозочного процесса. Одним из основных показателей качества электрической энергии, которая передается в системе тягового электроснабжения (СТЭ), является напряжения на шинах тяговой подстанции и, следовательно, на токоприемниках электровозов, который, однако, зависит не только от изменения тяговой нагрузки, но и от изменения нагрузки районных потребителей и питающей энергосистемы, а характер факторов, которые влияют на напряжение, является нелинейным и нестационарным. При этом уровень напряжения как показатель качества должен рассматриваться как некоторый параметр, который оптимизирует передачу и потребление электроэнергии для ЭПС.

В работе исследуется управляемая распределенная система электроснабжения. На основе разработанной компьютерной модели этой системы и экспериментальных данных движения поезда были исследованы технико-экономические показатели работы системы при разных режимах работы системы электроснабжения. Главной целью работы является стабилизация уровня напряже-