

# Тензометрическая колесная пара для подвижного состава с осевой нагрузкой до 30 тс



**В. С. Коссов,**  
д.т.н., профессор,  
генеральный директор  
АО «Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава» (АО «ВНИКТИ»)



**О. Г. Краснов,**  
к.т.н., заведующий отделом  
пути и специального подвижного состава  
АО «ВНИКТИ»



**М. Г. Акашев,**  
ведущий инженер отдела  
пути и специального подвижного состава  
АО «ВНИКТИ»

В связи с развитием тяжеловесного движения на российских железных дорогах разработаны и внедряются инновационные вагоны с осевыми нагрузками 25 и 27 тс. Возникла необходимость в сравнительной оценке силового воздействия на путь серийных и инновационных вагонов.

Один из вариантов решения данной задачи — применение тензометрических колесных пар (ТКП), позволяющих в непрерывном режиме проводить измерения вертикальных и боковых сил в зоне, близкой к зоне контакта колеса с рельсом [1–8]. Для подвижного состава с осевыми нагрузками до 30 тс специалистами АО «ВНИКТИ» разработана ТКП на основе вагонных колесных пар с криволинейным профилем по ГОСТ 10791.

Для определения зон минимального взаимного влияния вертикальных и боковых сил применялась конечно-элементная модель колесной пары с использованием программного комплекса Nastran. В узлах конечно-элементной сетки, расположенных в радиальном сечении колеса, с помощью специальной опции MSC.Fatigue размещены виртуальные датчики с базой 10×5 мм для оптимизации обработки информации. Общее количество тензорезисторов в модели — 54. Виртуальные датчики деформаций позволяли определять напряженно-деформированное состояние диска колеса при приложении вертикальных и боковых сил. По результатам моделирования

определены зоны минимального взаимного влияния от вертикальных сил на боковые, и наоборот.

В качестве основной схемы соединения тензорезисторов на входе измерительных каналов выбран полумост из двух активных тензорезисторов, размещенных на измерительных диаметрах, которые при вращении колеса поочередно входят в зону контактирования и воспринимают деформацию поверхности диска колеса, пропорциональную действующим силам. При такой схеме включения тензорезисторов обеспечивается максимальная чувствительность при минимальных погрешностях измерений, связанных с необходимостью температурной компенсации. Кроме того, выбранный способ соединения тензорезисторов обеспечивает самый простой контроль балансировки (контроль нулей) измерительных каналов.

Места размещения тензорезисторов на дисках колес ТКП выбраны на основании расчетных данных о напряженном состоянии диска колеса под действием внешних нагрузок различных направлений и результатов экспериментальной проверки напряженного состояния диска на специальном стенде АО «ВНИКТИ», где колесные пары нагружали внешними силами различных уровней и направлений (см. рисунок).

Подготовка тензорезисторов к наклейке, их наклейка в предварительно выбранных местах, соединение в измерительные полумосты, изоляция от влаги и механических повреждений были выполнены по технологии АО «ВНИКТИ», обеспечивающей возможность длительной и надежной работы измерительных схем без замены и ремонта в условиях работы колесных пар под вагонами — объектами измере-



Тензометрическая колесная пара на стенде

ний. Основные требования к качеству выполнения работ на этом этапе обору- дования ТКП: высокая степень изоля- ции тензорезисторов и их соединений от влаги (не менее 50 МОм), прочность приклеивания и надежность восприя- тия деформации металла под действи- ем внешних сил, обеспечение относи- тельно небольшой (до 0,1 Ом) разницы сопротивлений в плечах измеритель- ных полумостов при подборе и подго- товке тензорезисторов.

Все ТКП оборудованы тензорези- сторами типа LY11-10/350 с базой 10 мм и сопротивлением 350 Ом фирмы HBM (Германия). Для измерения вертикальных и боковых сил тензорезисторы наклеива- ются с внутренних сторон дисков колес и включаются в схему полумоста. Для опре- деления вертикальных и боковых сил, на- ходящихся в одном створе, используются две группы схем; каждый створ распо- ложен под углом 90° друг к другу. Группы схем обеспечивают точечные измерения вертикальных и боковых сил.

Усиление сигнала, его предваритель- ная обработка, передача с вращающейся оси на стационарно установленное при- емное устройство на оси колесной пары выполняются с помощью набора моду- лей [9], включающего коммутирующие коробки (2 шт.), тензометрические уси- лители (2 шт.), программируемый логи- ческий контроллер (1 шт.), аккумулятор, рассчитанный на 8–10 ч непрерывной работы системы, передатчик сигналов (1 шт.). Оборудование располагается на оси в специально разработанном за- щитном корпусе.

Тензометрические схемы, распо- ложенные на дисках колесной пары, сое- единены с измерительными приборами кабелем типа витая пара для исключе- ния искажения сигналов от воздействия электромагнитных полей. Приемник сигналов установлен на главной раме вагона, так что антенна направлена в сторону оси ТКП.

Сигналы с систем бесконтактной пе- редачи данных направляются в компью- тер, находящийся в вагоне-лаборатории. На стационарном компьютере установле- на специализированная программа для автоматической обработки информации.

Калибровку всех измерительных схем выполняли на колесном стенде АО «ВНИКТИ», позволяющем воспро- изводить и прикладывать к колесным парам внешние нагрузки требуемой ве- личины.

Калибровку осуществляли при раз-

дельном приложении вертикальных и боковых сил. С каждой измерительной схемы выполняли записи сигналов на выходах усилителей при действии ука- занных сил и шунтировании плеч изме- рительных полумостов калиброванным резистором с известным сопротивле- нием для определения масштабных по- стоянных. Нагружение ТКП при каждом значении сил выполняли не менее трех раз. После проведения калибровки и обработки полученных данных были определены масштабные постоянные использованного шунта для каждой из- мерительной схемы.

Для оценки работоспособности, достоверности и точности измерений вертикальных и боковых сил выполнена подкатка ТКП под вагон-углевоз моде- ли 18-9829. Перед началом испытаний было выполнено поколесное взвешива- ние вагона-углевоза, заполненного песком до нагрузки на ось 30 тс. Взвешивание полувагона, загруженного песком, проводили на весовом устройстве «Измеритель нагрузки, создаваемой ко- лесом подвижного состава, на железно- дорожное полотно РД-К1», изготовлен- ном ЗАО «Весоизмерительная компания Тензо-М». Погрешность измерений при осевой нагрузке до 30 тс составляла 50 кгс.

Полигонные испытания проводи- ли при движении опытного поезда пе- редним и задним ходом со скоростью 40–90 км/ч, шаг 10 км/ч, на прямом участ- ке пути и в кривой радиусом 300 м. При каждом значении скорости выполня- ли по три заезда в прямом и обратном направлении. Данные регистрировали от километровых столбов на протяже- нии всего километра. Испытания про- ходили в светлое время суток при тем- пературе окружающей среды от –3 до +8 °С и относительной влажности 86–90%.

Точность и достоверность результа- тов измерений оценивали с помощью сравнительного анализа значений вер- тикальных и боковых сил, фиксируемых ТКП в сечении, где были установлены измерительные приборы для точечной регистрации сил методом «РЖД-2016». Для синхронизации силовых факторов использовали магнитные отметчики, которые были установлены в начале и в конце измерительного участка на пути, и приемного соленоида, расположенно- го на раме вагона.

По результатам измерений расхо- ждение вертикальных сил составило 6,3–10,7 % для прямого участка пути,

боковых сил — 8,7–12,4 % для кривой радиусом 300 м в зависимости от скоро- сти движения, что допустимо для пра- ктического использования.

Разработанные ТКП могут быть ис- пользованы для сравнительной силовой оценки воздействия на железнодорож- ный путь от грузовых вагонов 25, 27 и 30 тс/ось в сравнении с грузовыми ваго- нами 23,5 тс/ось на маршрутах большой протяженности с учетом геометриче- ских параметров рельсовой колеи.

*Работа выполнена по проекту РФФИ 17-20-01088.*

#### Литература

1. Шафрановский А. К. Непрерывная ре- гистрация вертикальных и боковых сил взаимодействия колеса и рельса // Тру- ды ВНИИЖТа. Вып. 308. М.: Транспорт, 1965. 96 с.
  2. Шафрановский А. К. Измерения и не- прерывная регистрация сил взаимо- действия колесных пар локомотивов с рельсами // Труды ВНИИЖТа. Вып. 389. М.: Транспорт, 1969. 120 с.
  3. Кудрявцев Н. Н. Анализ методов изме- рения сил, действующих на колесные пары вагонов // Вестн. ВНИИЖТа. 1993. № 8. С. 31–36.
  4. Кудрявцев Н. Н., Белоусов В. М., Сас- ковец В. М. Области применения тен- зометрических колесных пар // Вестн. ВНИИЖТа. 1997. № 1. С. 26–31.
  5. Li D., Morgart D., Harbuck R. et al. BNSF experience: track geometry inspection taking into account vehicle performance // Railway Track Struct. 2005. Vol. 101. № 9. P. 19–23.
  6. Martin T. P., Carr G. A., El-Sibaie M. Application of neural network technology for predicting wheel and rail interactive forces // Proc. ASME/ IEEE Joint Rail Conf., Rus. Railways. Washington: D. C., 2009. Oct. 25.
  7. Salahifar T., Li D., Shust B. Neural network modeling: responses of a loaded, covered hopper car to track geometry // Technol. Digest 99-022. Assoc. Amer. Railroads. 1999. June.
  8. Краснов О. Г., Акашев М. Г. Исследова- ние устойчивости порожних вагонов при движении по искусственным не- ровностям // Вагоны и вагон. хоз-во. 2011. № 4. С. 38–39.
- Бидуля А. Л., Краснов О. Г., Акашев М. Г. и др. Геометрически-силовой метод оценки устойчивости порожних ваго- нов // Вагоны и вагон. хоз-во. 2011. № 2. С. 45.