

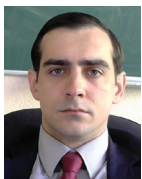
Апробация нового метода измерения вертикальной нагрузки от колеса на рельс



Ю. П. Бороненко,
д. т. н., профессор, заведующий кафедрой «Вагоны и вагонное хозяйство» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I (ПГУПС)



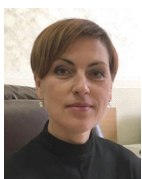
Р. В. Рахимов,
к. т. н., докторант ПГУПС



Д. А. Сергеев,
специалист по испытаниям ООО «ТИЦ ЖТ»



Л. В. Цыганская,
к. т. н., доцент кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» ПГУПС



А. А. Романова,
к. т. н., доцент кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» ПГУПС

В связи с развитием тяжеловесного движения — одного из главных факторов увеличения провозной способности железных дорог [1, 2], актуальным становится определение силовых воздействий подвижного состава с увеличенными осевыми нагрузками на железнодорожный путь [3].

Сегодня на железных дорогах России для определения силовых воздействий подвижного состава на железнодорожный путь применяются методы согласно ГОСТ Р 55050–2012 [4], «РЖД-2016» [5] и метод О. П. Ершкова [6].

Однако при использовании указанных методов нельзя выполнять непрерывную регистрацию сил в контакте колесо–рельс. Измерение сил между колесом и рельсом проводится только в момент прохождения колесом датчиков, поэтому для получения достоверных результатов требуется несколько проходов вагона по измерительному участку [7].

С учетом недостатков существующих методов выполнен комплекс работ и разработан, теоретически обоснован и экспериментально проверен новый метод кусочно-непрерывной регистрации вертикальных сил, действующих от колеса на рельс, по напряжениям в двух сечениях рельса. При этом обеспечивается повышенная точность измерения вертикальных сил на значительной части межшпального промежутка [8, 9].

При применении существующих методов регистрация измерений прово-

дится только в момент расположения колеса в окрестности датчика. При использовании нового метода на протяжении измерительного участка (примерно 1/3 расстояния между шпалами, не менее 20 см) можно проводить непрерывную регистрацию вертикальных сил, действующих от колеса на рельс. Это позволяет повысить статистическую точность измерений, в перспективе сократить число заездов подвижного состава по опытным измерительным участкам, а значит, удешевить испытания по воздействию на путь и уменьшить их сроки [8].

Ходовые испытания по воздействию на железнодорожный путь

Для апробации предложенного метода (измерение вертикальной нагрузки от колеса на рельс по напряжениям в двух сечениях рельса) были проведены ходовые испытания по воздействию на железнодорожный путь на скоростном испытательном полигоне ОАО «ВНИИЖТ» в г. Белореченск. Перед испытаниями на прямом участке пути были оборудованы четыре опытных сечения, в каждом из них тензометрические датчики располагались по единой схеме (рис. 1, 2).

Расстояние между датчиками L определялось из условия расположения тензорезисторов 1–8 по краю подрельсового основания и обеспечения симметрии относительно плоскости, расположенной по центру между шпалами. Фактические значения L приведены в табл. 1.

Таблица 1. Фактические значения L , мм

Номер опытного сечения	L
I	349
II	350
III	387
IV	388



Рис. 1. Общий вид измерительных сечений

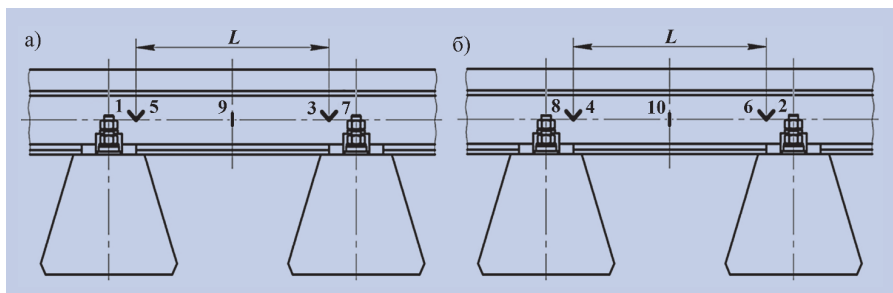


Рис. 2. Схема размещения тензорезисторов на рельсе:
а) вид снаружи колес; б) вид изнутри колес; 1–10 — номера тензорезисторов

Для регистрации сигналов тензорезисторы были наклеены на обе стороны шейки рельса и объединены в измерительный мост следующим образом:

- тензорезисторы 1–8 для регистрации вертикальной силы по методу двух сечений соединены по схеме полного моста с последовательным соединением (рис. 3, а);
- тензорезисторы 9–10 для регистрации вертикальной силы по методу согласно ГОСТ Р 55050–2012 по схеме полного моста с четырехпроводной схемой подключения (рис. 3, б).

Для проведения ходовых испытаний по воздействию на железнодорожный путь был сформирован опытный сцеп (рис. 4), состоящий из двух локомотивов (в голове и хвосте) с осевой нагрузкой

22 тс, опытного вагона с осевой нагрузкой 23 тс и вагона-лаборатории с осевой нагрузкой 14 тс.

Калибровка измерительных сечений осуществлялась медленным прокатыванием опытного сцепа по измерительным сечениям. В результате калибровки измерительной схемы была получена экспериментальная зависимость отклика схемы от положения колеса в каждом опытном сечении (рис. 5). Отсчет положения колеса между измерительными сечениями проводился относительно точки, равноудаленной от измерительных сечений схемы.

В процессе ходовых испытаний по воздействию на железнодорожный путь значения вертикальной силы, передаваемой от колеса на рельс, определяли по методу двух сечений и согласно ГОСТ Р 55050–2012. Испытания проводили со следующими значениями скорости: 5 км/ч, 10, 20, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120, 132 км/ч и с частотой дискретизации 2400 Гц.

На основании результатов, полученных для каждого колеса опытного сцепа, определяли объем выборки; среднее, максимальное и минимальное значения восстановленных сил; среднеквадратичное отклонение; ширину диапазона изменения, в котором находились все данные, и ширину доверительного интервала.

Значения, полученные в результате ходовых испытаний по воздействию на железнодорожный путь при скорости движения 70 км/ч, для локомотива,

опытного вагона и вагона-лаборатории приведены в табл. 2–4.

В результате испытаний по каждому кадру регистрации проведены сравнения для определения значений вертикальной силы различными методами. Фрагмент кадра регистрации при скорости движения опытного сцепа 88,6 км/ч приведен на рис. 6.

Из анализа результатов испытаний по воздействию на железнодорожный путь следует, что объем получаемой информации при использовании метода измерения вертикальной нагрузки от колеса на рельс по напряжениям в двух сечениях рельса увеличивается в 10–30 раз по сравнению с методом определения вертикальной нагрузки на рельс согласно ГОСТ Р 55050–2012 при одинаковом количестве измерительных схем.

Установлено, что отклонение максимального значения силы, измеренной согласно ГОСТ Р 55050–2012, от средних значений схемы, соответствующей методу измерения вертикальной нагрузки от колеса на рельс по напряжениям в двух сечениях рельса, составляет порядка 10 % в экстремальных точках и порядка 0,1 % в среднем.

Как и ожидалось, среднее значение восстановленной вертикальной силы близко к статической нагрузке. Доверительный интервал вследствие большего количества данных существенно уменьшился.

Распределение максимальных и минимальных значений восстановленных вертикальных сил по значениям скорости движения для локомотива, опытного вагона и вагона-лаборатории приведены на рис. 7, 8.

При сравнении результатов (рис. 7, 8) установлено, что при использовании нового метода достигнута большая точность измерений по сравнению с данными, полученными согласно ГОСТ Р 55050–2012.

Таким образом, результаты измерений вертикальной нагрузки от колес на рельс по напряжениям в двух сечениях

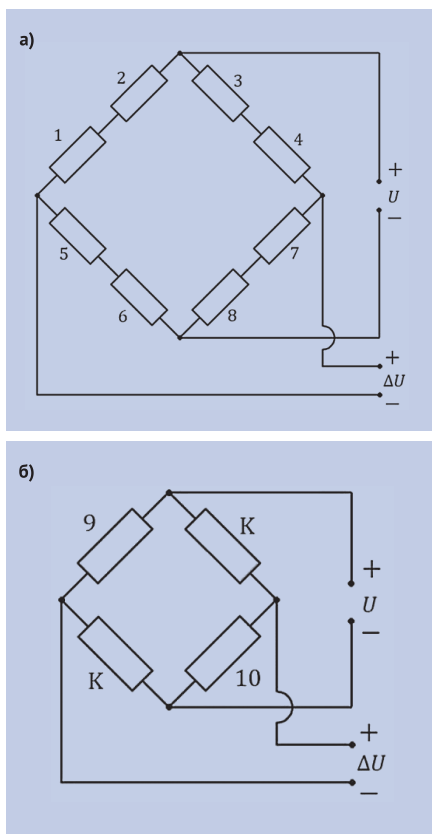


Рис. 3. Схема подключения тензорезисторов по методу двух сечений (а) и согласно ГОСТ Р 55050–2012 (б)



Рис. 4. Схема опытного сцепа для проведения испытаний по воздействию на железнодорожный путь

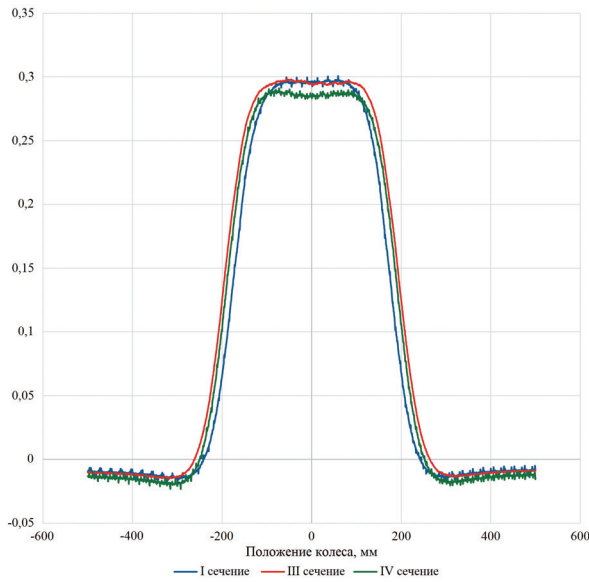


Рис. 5. Вид выходных сигналов тензоизмерительной аппаратуры при медленном прохождении измерительных сечений

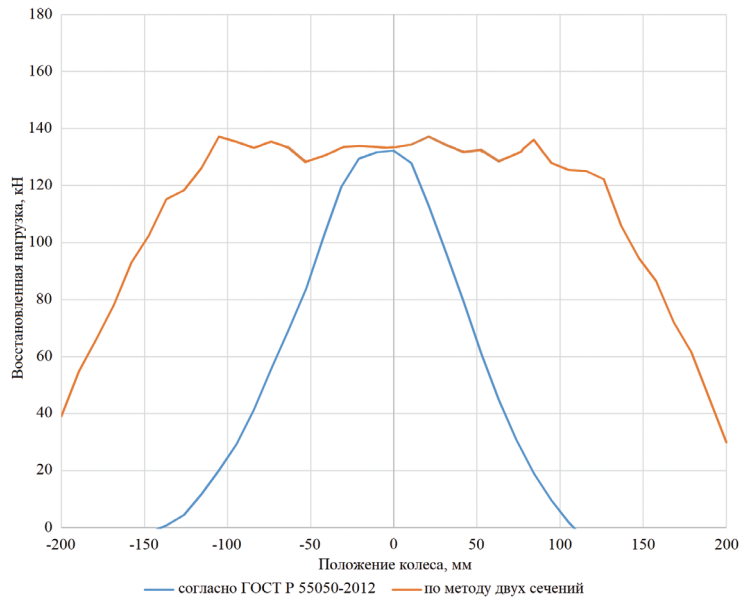


Рис. 6. Фрагмент кадра регистрации, на котором ось № 12 проезжает опытное сечение I

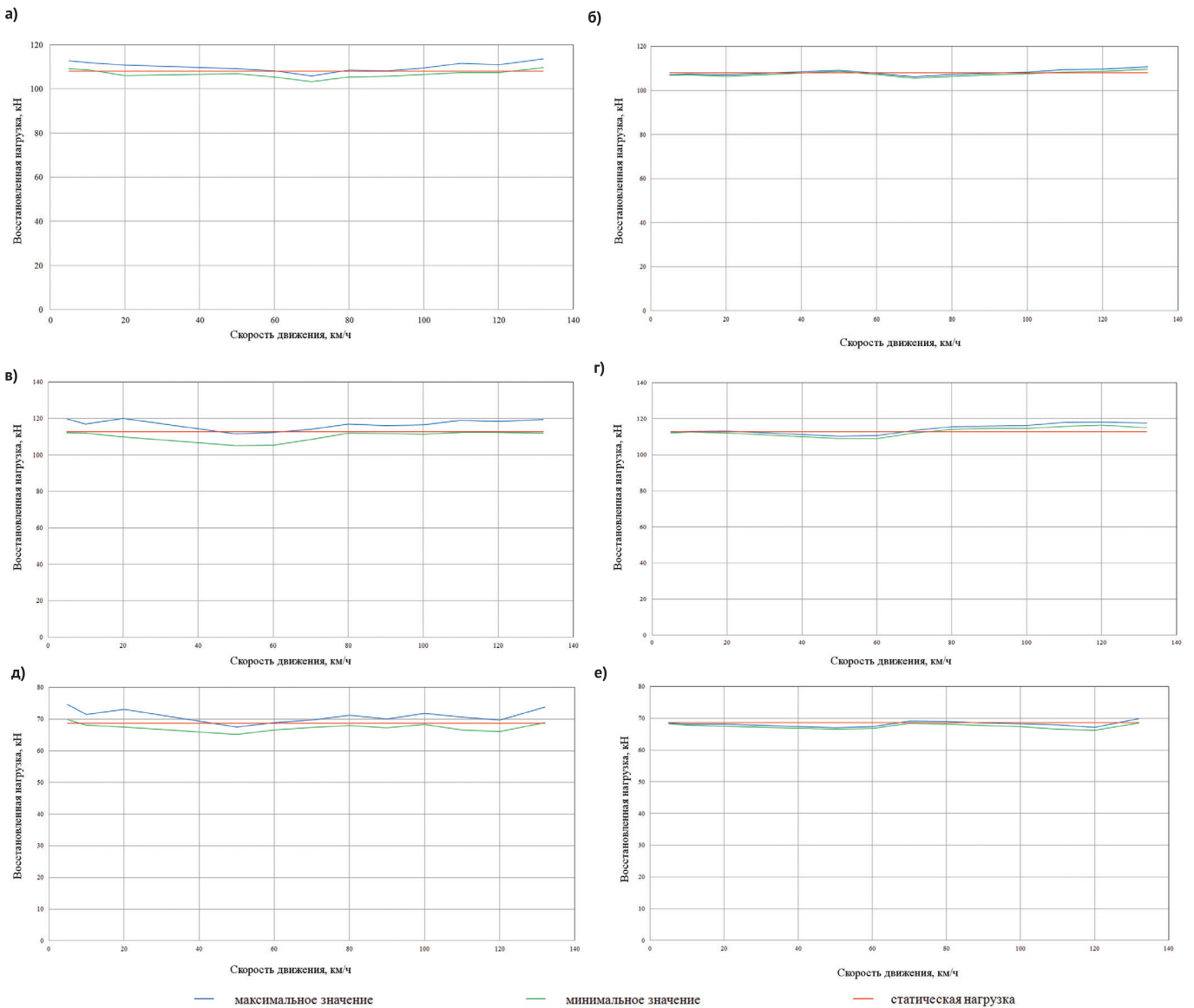


Рис. 7. Распределения максимальных и минимальных значений восстановленных вертикальных сил по значениям скорости движения для локомотива (а, б), опытного вагона (в, г) и вагона-лаборатории (д, е). На рис. а, в, д – результаты согласно ГОСТ Р 55050-2012; на рис. б, г, е – результаты по методу двух сечений

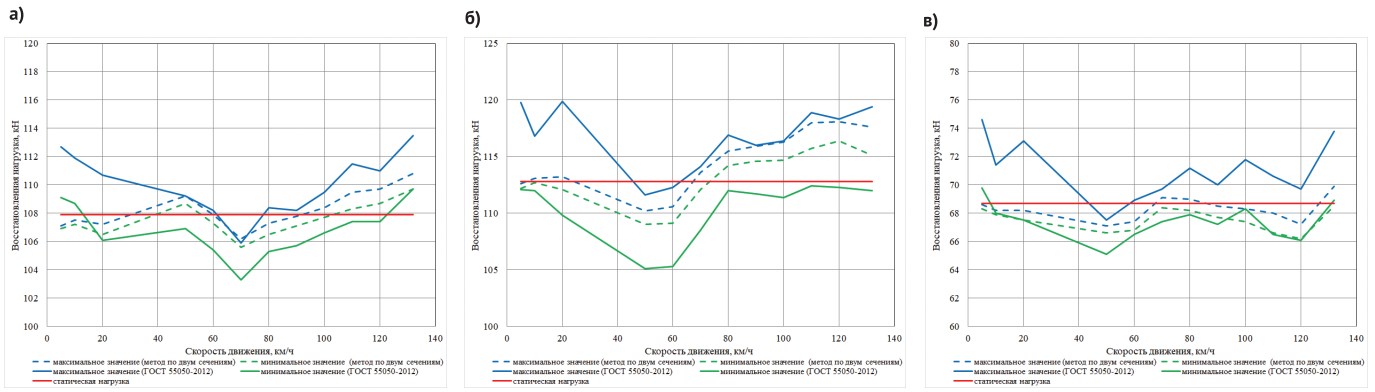


Рис. 8. Распределение максимальных и минимальных значений восстановленных вертикальных сил по значениям скорости движения для локомотива (а), опытного вагона (б) и вагона-лаборатории (в)

Таблица 2. Статистические данные для локомотива

Параметр	Согласно ГОСТ Р 55050–2012	По методу двух сечений
Объем выборки	396	6479
Восстановленные нагрузки, кН:		
среднее значение	104,6	105,9
максимальное значение	105,9	106,2
минимальное значение	103,3	105,6
Ширина доверительного интервала, кН	2,6	0,6
Среднеквадратичное отклонение, кН	1,8	0,4

Таблица 3. Статистические данные для опытного вагона

Параметр	Согласно ГОСТ Р 55050–2012	По методу двух сечений
Объем выборки	132	2139
Восстановленные нагрузки, кН:		
среднее значение	111,3	112,9
максимальное значение	114,1	113,6
минимальное значение	108,5	112,2
Ширина доверительного интервала, кН	5,7	1,4
Среднеквадратичное отклонение, кН	4,0	1,0

Таблица 4. Статистические данные для вагона-лаборатории

Параметр	Согласно ГОСТ Р 55050–2012	По методу двух сечений
Объем выборки	132	2146
Восстановленные нагрузки, кН:		
среднее значение	68,6	68,7
максимальное значение	69,7	69,1
минимальное значение	67,5	68,3
Ширина доверительного интервала, кН	2,2	0,8
Среднеквадратичное отклонение, кН	1,6	0,6

рельса при ходовых испытаниях по воздействию на железнодорожный путь и сравнение данных с результатами измерений согласно ГОСТ Р 55050–2012 подтвердили эффективность нового метода, позволяющего увеличить объем получаемой информации в 10–30 раз при одинаковом количестве измерительных схем.

Разработанный способ измерений сил взаимодействия колес и рельсов по напряжениям в двух сечениях рельса рекомендуется использовать при определении

силовых воздействий подвижного состава на железнодорожный путь, а также для выявления дефектов на поверхности катания колес при диагностике подвижного состава на ходу поезда.

Литература

1. Бороненко Ю. П. Вагоны с увеличенными нагрузками от колес на рельсы – резерв повышения провозной и пропускной способности железных дорог // Транспорт РФ. 2008. № 5 (18). С. 52–55.

2. Бороненко Ю. П., Третьяков А. В., Зимакова М. В. Оценка возможности и эффективности повышения осевых нагрузок грузовых вагонов // Техн. жел. дорог. 2017. № 1. С. 32–37.

3. Гапанович В. А. Вопросы взаимодействия подвижного состава и инфраструктуры при тяжеловесном движении // Железнодорожн. трансп. 2016. № 10. С. 10–15.

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

5. Шевченко Д. В., Савушкин Р. А., Кузьминский Я. О. и др. Разработка новых методов определения силовых факторов воздействия подвижного состава на путь // Техн. жел. дорог. 2018. № 1 (41). С. 38–51.

6. Ромен Ю. С. Определение сил взаимодействия колес и рельсов в процессе испытаний подвижного состава // Матер. XIII Межд. науч.-техн. конф. «Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты». СПб.: ПГУПС, 2018. С. 120–122.

7. Ромен Ю. С. Объем информации для установления условий обращения подвижного состава // Там же. С. 122–124.

8. Бороненко Ю. П., Рахимов Р. В., Петров А. А. Кусочно-непрерывное измерение сил между колесом и рельсом по касательным напряжениям в двух сечениях рельса // Транспорт РФ. 2018. № 3 (76). С. 58–64.

9. Рахимов Р. В., Петров А. А. Проверка точности восстановления вертикальных нагрузок от колеса на рельс по напряжениям в двух сечениях рельса на стенде // Там же. 2018. № 4 (77). С. 55–58.