

Экспериментальное определение боковых нагрузок от взаимодействия колеса с рельсом



Ю. П. Бороненко,
д. т. н., профессор,
заведующий кафедрой
«Вагоны и вагонное хо-
зяйство» Петербургского
государственного универ-
ситета путей сообщения
Императора Александра I
(ПГУПС)



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

В статье приведены результаты экспериментов, подтвердившие эффективность метода кусочно-непрерывной регистрации боковых нагрузок от взаимодействия колеса с рельсом по измерению нормальных напряжений в двух сечениях рельса. Определено, что относительная погрешность восстановленных боковых усилий на измерительном участке длиной 136 мм не превышает ~ 3 %.

Надежный способ получения достоверных результатов по исследованию взаимодействия подвижного состава и железнодорожного пути — экспериментальные методы [1]. В России для определения бокового воздействия подвижного состава на путь применяются методы Шлюмпфа согласно ГОСТ Р 55050–2012 [2] и «РЖД-2016» [3]. При этом работы по совершенствованию методов и повышению точности измерений сил, действующих от колес подвижного состава на рельсы, постоянно проводятся в России и за рубежом [4–7].

В настоящее время разработан и теоретически обоснован новый метод кусочно-непрерывной регистрации боковых нагрузок от взаимодействия колеса с рельсом по измерению нормальных напряжений в двух сечениях рельса [8], обеспечивающий повышенную точность измерения боковых сил на значительной части межшпального промежутка [9, 10].

Для проверки точности измерений с помощью предложенного метода были

проведены экспериментальные исследования. При этом ставились следующие задачи:

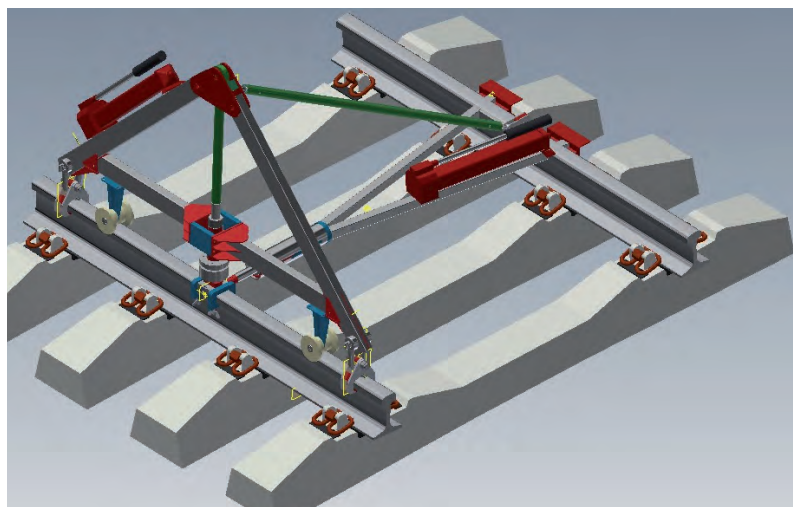
1) разработка программы и методики экспериментальных исследований по определению боковых нагрузок от взаимодействия колеса с рельсом;

2) оценка точности измерения боковой нагрузки от взаимодействия колеса с рельсом при одновременном действии центральной вертикальной и боковой нагрузок;

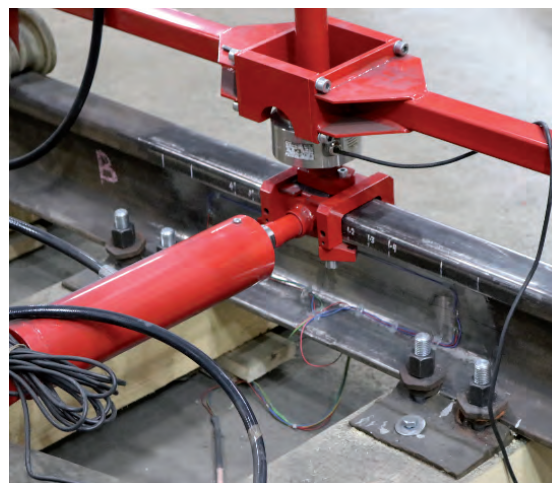
3) определение влияния поперечного смещения колеса относительно продольной плоскости рельса на точность восстановления боковой нагрузки.

Экспериментальные исследования по определению боковых нагрузок от взаимодействия колеса с рельсом

Для экспериментов использовали фрагмент железнодорожного пути с рельсами типа Р65 по ГОСТ 8161–75 [11] длиной 3000 мм, помещенный на де-



Устройство для приложения нагрузок к головке рельса



Процесс приложения нагрузок по сечениям рельса при проведении эксперимента

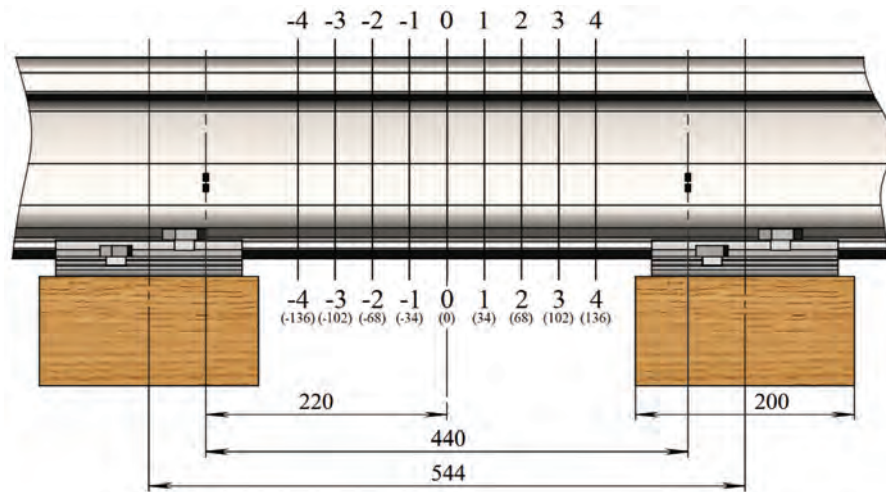


Рис. 1. Сечения исследуемого фрагмента рельса: цифрами от -4 до 4 обозначены номера сечений, цифрами в скобках для каждого сечения указано расстояние от средней части между деревянными брусьями

ревянные опоры (брусья) размерами 100×200×2000 мм, шаг укладки которых составлял 544 мм.

При подготовке к испытаниям проводили прецизионную разметку рельса между деревянными брусьями на девять сечений (рис. 1). Расстояние между ними составляло 34 мм.

Затем на обе стороны шейки рельса в двух вертикальных поперечных сечениях, расстояние между которыми составляет 440 мм, наклеивали тензорезисторы типа 2ФКП-3×100 с номинальной базой 3 мм. Сечения расположены симметрично на расстоянии 220 мм от вертикальной центральной поперечной плоскости между деревянными брусьями. В отличие от теоретических исследований [9], где рекомендовано расстояние между точками замера 5 мм, в экспериментах расстояние между центрами тензорезисторов составило 7 мм (рис. 2).

Для регистрации сигналов тензорезисторы Т1-Т8 были соединены по схеме полного измерительного моста с четырехпроводной схемой подключения.

Для определения масштабов измерения тензометрической схемы и имитации вертикального и бокового воздействия колеса на рельс использовано специальное устройство (рис. 3).

Устройство обеспечивает центральную вертикальную нагрузку, приложенную по оси симметрии и со смещением ± 20 мм относительно продольной плоскости рельса, и горизонтальную нагрузку. Для определения усилий устройство оборудовано тензометрическими датчиками силы и электронными динамометрами.

На первом этапе эксперимента по сечениям рельса (рис. 1) с помощью устройства прикладывалась центральная

вертикальная статическая нагрузка Q 25 и 50 кН с последующим ее снижением до полной обезгрузки.

При движении подвижного состава происходит непрерывное перемещение пятна контакта «колесо-рельс» в попереч-

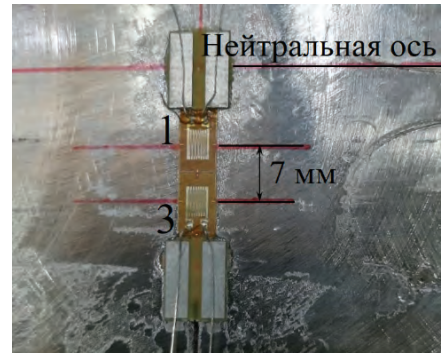


Рис. 2. Установка тензорезисторов на шейку рельса (вид изнутри колеи): 1, 3 – номера тензорезисторов

ной плоскости, вертикальная сила также меняет свое расположение. Поэтому на втором этапе эксперимента вертикальная статическая нагрузка Q 25 и 50 кН прикладывалась по сечениям рельса со смещением относительно продольной оси рельса на 20 мм наружу и внутрь от середины головки рельса.

На всех этапах эксперимента одновременно с вертикальной нагрузкой на фрагмент рельса прикладывалась

Таблица 1. Масштабы измерения тензометрической измерительной схемы при действии комбинации нагрузок, прикладываемые на головку рельса

№ сечения	Вертикальная сила Q , кН	Боковая сила P	Цикл	K_i по измерениям, кН·В/мВ
0-0	25 кН	0,2Q; 0,4Q	1	1575,1
			2	1588,3
			3	1574,7
	50 кН		1	1621,7
			2	1619,6
			3	1622,6

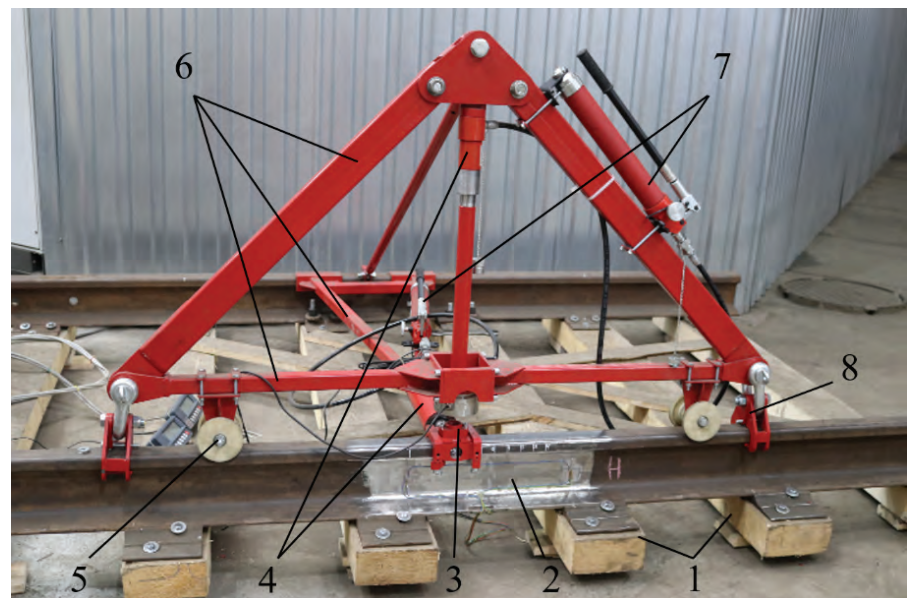


Рис. 3. Общий вид устройства для приложения вертикальной и боковой сил к головке рельса: 1 – деревянные брусья; 2 – рельс типа Р65; 3 – кондуктор для фиксации на головке рельса; 4 – гидравлические домкраты с пружинным возвратом штока; 5 – роликовые опоры для перемещения устройства по рельсу; 6 – силовой каркас; 7 – ручные насосы; 8 – двухчелюстные захваты для фиксации устройства на рельсе

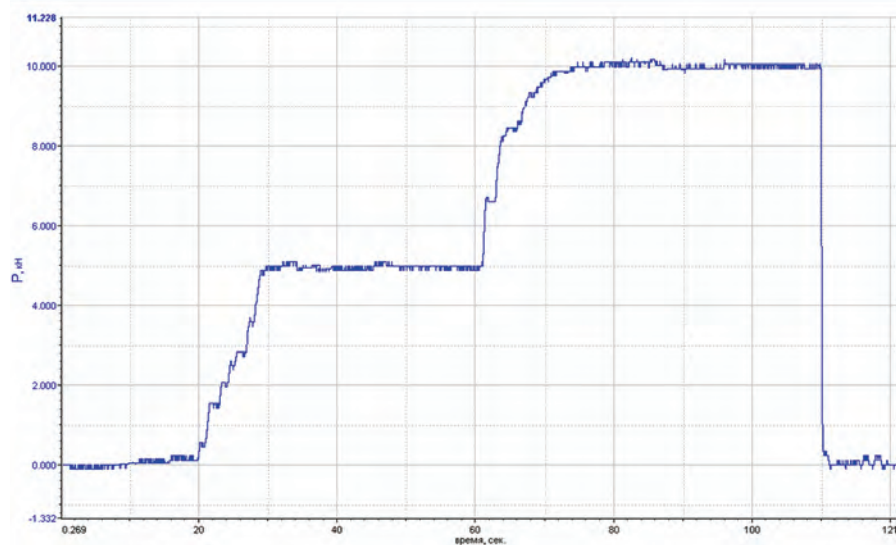


Рис. 4. Осциллограмма нагружения и обезгрузки фрагмента рельса во время эксперимента

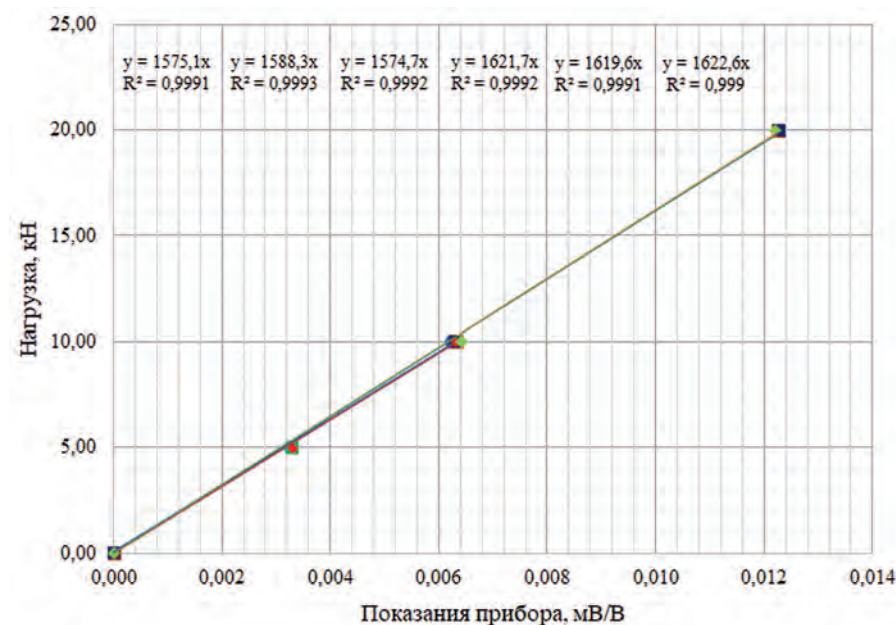


Рис. 5. Показания прибора в зависимости от комбинации нагрузок, прикладываемых на головку рельса в сечении 0–0

горизонтальная поперечная нагрузка P , равная $0,2Q$ и $0,4Q$, на расстоянии 20 мм от уровня головки рельса.

Регистрация сигналов в каждом цикле нагружения–обезгрузки проводилась

непрерывно до полной обезгрузки фрагмента рельса. Циклов нагружения–обезгрузки было не менее трех. Характерная осциллограмма нагружения и обезгрузки фрагмента рельса в сечении 0–0 од-

новременно центральной вертикальной нагрузкой 25 кН и боковыми нагрузками 5 и 10 кН приведена на рис. 4.

Для определения масштаба измерения K тензометрической измерительной схемы строились графики зависимости показаний прибора от комбинации нагрузок, прикладываемых на головку рельса в сечении 0–0 (рис. 5).

Полученные значения аппроксимировали методом наименьших квадратов в зависимости $\Delta U/U = K \cdot P$ (U – напряжение измерительного моста; ΔU – изменение выходного напряжения) и определяли коэффициент K . Масштабы измерения представлены в табл. 1.

В результате статистического анализа полученных данных было выбрано среднее значение масштаба измерения тензометрической измерительной схемы, составившее 1600,33 кН•В /мВ. Величина стандартного отклонения 23,50 кН•В /мВ.

По результатам эксперимента определены зависимости восстановленной боковой силы от точки приложения нагрузки согласно предложенному методу [8] представленные на рис. 6.

Значения, полученные в результате эксперимента на измерительном участке длиной 136 мм, приведены в табл. 2.

Таким образом, результаты экспериментов по определению боковой силы в контакте между колесом и рельсом подтвердили эффективность метода кусочно-непрерывной регистрации боковых нагрузок от взаимодействия колеса с рельсом по измерению нормальных напряжений в двух сечениях рельса.

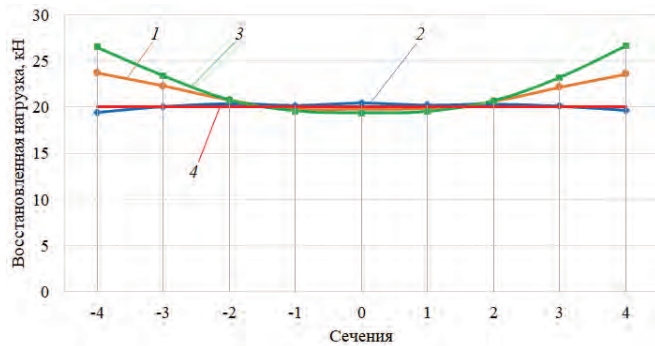
По результатам эксперимента установлено, что средние значения восстановленных боковых усилий на измерительном участке длиной 136 мм составляют:

- при действии вертикальной силы 50 кН и боковой силы 20 кН – $20,16 \pm 0,47$ кН, относительная погрешность 2,37 %;

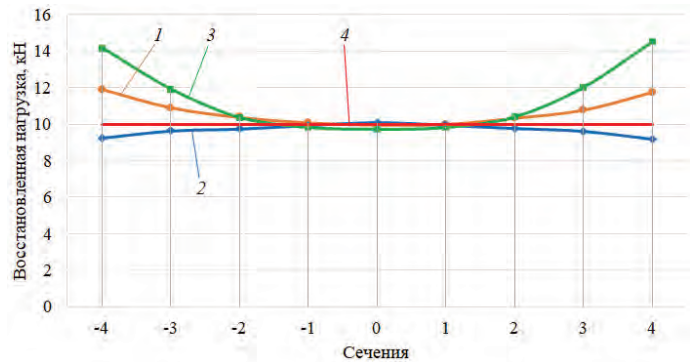
Таблица 2. Статистические данные, полученные в результате эксперимента на измерительном участке длиной 136 мм

Параметр	Схема нагружения			
	Вертикальная сила 50 кН, боковая сила 20 кН	Вертикальная сила 50 кН, боковая сила 10 кН	Вертикальная сила 25 кН, боковая сила 10 кН	Вертикальная сила 25 кН, боковая сила 5 кН
Восстановленные нагрузки, кН:				
среднее значение	20,16	10,04	10,02	5,06
максимальное значение	20,79	10,38	10,39	5,20
минимальное значение	19,35	9,71	9,68	4,84
Ширина доверительного интервала, кН	0,72	0,34	0,36	0,18
Среднеквадратическое отклонение, кН	0,47	0,24	0,28	0,15
Относительная погрешность, %	2,37	2,43	2,82	3,01

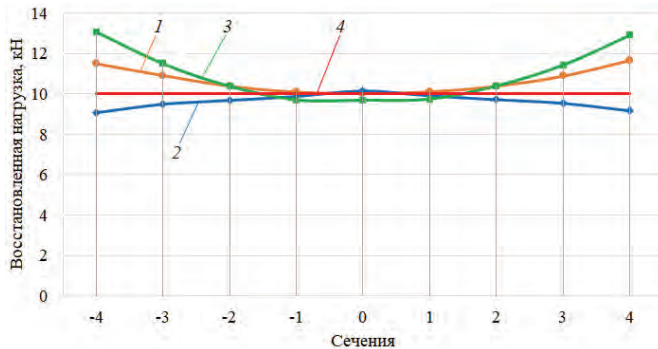
Вертикальная сила 50 кН, боковая сила 20 кН



Вертикальная сила 50 кН, боковая сила 10 кН



Вертикальная сила 25 кН, боковая сила 10 кН



Вертикальная сила 25 кН, боковая сила 5 кН

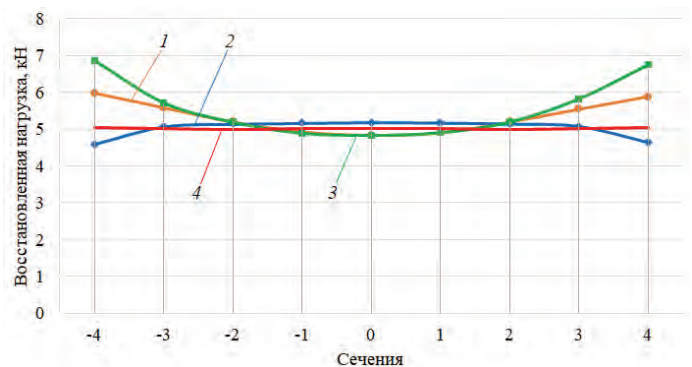


Рис. 6. Восстановленные боковые усилия в зависимости от точки приложения нагрузки:

1 — при действии вертикальной силы в продольной плоскости рельса и боковой силы; 2 — при действии вертикальной силы со смещением наружу колес и боковой силы; 3 — при действии вертикальной силы со смещением во внутрь колес и боковой силы; 4 — фактическая нагрузка

- при действии вертикальной силы 50 кН и боковой силы 10 кН — $10,04 \pm 0,24$ кН, относительная погрешность 2,43 %;

- при действии вертикальной силы 25 кН и боковой силы 10 кН — $10,02 \pm 0,28$ кН, относительная погрешность 2,82 %;

- при действии вертикальной силы 25 кН и боковой силы 5 кН — $5,06 \pm 0,15$ кН, относительная погрешность 3,01 %.

Следовательно, подтверждена эффективность метода кусочно-непрерывной регистрации боковых нагрузок от взаимодействия колеса с рельсом по измерению нормальных напряжений в двух сечениях рельса. Указанный метод можно рекомендовать для использования при определении силовых воздействий подвижного состава на железнодорожный путь, что позволит обеспечить повышенную точность измерений, сократить необходимое число проходов диагностируемого подвижного состава и количество тензорезисторов для получения статистически достоверной информации. ■

Литература

1. Вериго М. Ф., Коган А. Я. Взаимодействие пути и подвижного состава. — М. : Транспорт, 1986. — 559 с.

2. 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.
3. 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.
4. Moreau A. La verification de la sécurité contre le déraillement sur la voie spécialisée de Villeneuve-Saint-Georges // Rév. Générale des Chemins de Fer. France. 1987. Avril 2. P. 25–32.
5. Bocciolini L., Bracciali A., Di Benedetto L. et al. Wayside Measurement of Lateral and Vertical Wheel/Rail Forces for Rolling Stock Homologation // Proceed. Second Int. Conf. Railway Technology: Research, Development and Maintenance / ed. J. Pombo. Stirlingshire, Scotland : Civil-Comp Press, 2014. P. 1–23.
6. Бржезовский А. М. Методы экспериментальной оценки боковых сил: обзор // Вестн. ВНИИЖТ. 2017. № 1 (76). С. 10–18.
7. Ромен Ю. С., Суслов О. А., Баляева А. А. Определение сил взаимо-

действия в системе колесо–рельс на основании измерения напряжений в шейке рельса // Там же. 2017. № 6 (76). С. 354–361.

8. Способ измерения боковых сил, действующих от колеса на рельс и устройство для его осуществления: заявка 2019114559 РФ: МПК G01L 5/16 / Ю. П. Бороненко, Р. В. Рахимов, А. С. Даукаша; заявитель и патентообладатель АО «НВЦ «Вагоны»; заявл. 13.05.2019.
9. Бороненко Ю. П., Рахимов Р. В. Измерение боковых нагрузок от колес на рельсы // Транспорт РФ. 2019. № 4 (83). С. 45–50.
10. Бороненко Ю. П., Рахимов Р. В. Разработка технологии кусочно-непрерывной регистрации бокового воздействия подвижного состава на железнодорожный путь по измерению напряжений в двух сечениях рельса // Матер. XIV Межд. науч.-техн. конф. «Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты». — СПб. : ФГБОУ ВО ПГУПС, 2019. С. 114–116.
11. ГОСТ 8161–75. Рельсы железнодорожные типа Р65. Конструкция и размеры. — М. : Изд-во стандартов, 1975. — 9 с.