

Выбор схемы установки датчиков на железнодорожном пути для выявления дефектов колес



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;



Ю. Б. Житков,
к. т. н., начальник
отдела динамики
подвижного состава
АО «НВЦ «Вагоны»;



Г. А. Поволоцкая,
инженер отдела
динамики подвижного
состава
АО «НВЦ «Вагоны»

Описан выбор схемы измерительного участка для выявления дефектов колес, разработана математическая модель обследования колеса при его движении по выбранному участку, рассмотрены различные схемы установки датчиков и определены величины обследованных зон колеса в зависимости от его диаметра. Предложен рациональный вариант схемы измерительного участка железнодорожного пути, который позволит выявлять дефекты колес любого диаметра по всей поверхности.

Определением воздействия подвижного состава на железнодорожный путь занимаются с середины прошлого века. В работе [1] отмечалось, что первоначально боковые и вертикальные силы измеряли по кромочным напряжениям в рельсе. Затем под руководством Е. М. Бромберга был разработан более точный метод, представленный О. П. Ершковым в работах [2, 3]. Однако в отсутствие вычислительных мощностей он был заменен на аналоговый метод [4, 5], предложенный Г. Шлюмпфом.

Для измерения силового воздействия подвижного состава на железнодорожный путь в ГОСТ Р 55050–2012 [6] включен метод Шлюмпфа, но известны его недостатки в части высокой погрешности при восстановлении сил. Поэтому активное развитие получил метод «РЖД–2016» [7], призванный увеличить точность измерений. Оба метода основаны на установке датчиков на шейке рельса с обработкой получаемых сигналов.

Особенность этих методов состоит в измерении возникающих силовых воздействий только в момент прохождения колесом датчиков, при этом длина измерительной зоны (области на поверхности рельса в окрестности датчика, где измеряется воздействие от колеса на рельс с точностью до 95 %) составляет примерно 10 мм. Таким образом, происходит дискретная запись силового воздействия, зависящая от шага расстановки датчиков.

В работах [8–10] теоретически обоснован и экспериментально проверен новый метод кусочно-непрерывной

регистрации вертикальных сил, действующих от колес подвижного состава на железнодорожный путь, по измерению напряжений в двух сечениях рельса. Особенность этого метода — повторяющаяся с некоторым шагом измерительная зона длиной не менее 204 мм, точность измерений не менее 98 %.

Представленные методы могут использоваться для выявления дефектов на поверхности катания колес. Однако вследствие описанных особенностей появляются «слепые» зоны, т. е. части поверхности колеса, остающиеся вне зоны измерений во время обследования. На величину «слепой» зоны влияют диаметр колеса и длина измерительного участка, так как от этих параметров зависит количество оборотов, совершаемых колесом при движении во время диагностирования. Возможны случаи, когда период обращения колеса оказывается приближенным к периоду размещения измерительных зон. Тогда дефект, попадающий в «слепую» зону, нельзя выявить даже при большом количестве оборотов. Поэтому вопрос о выборе рациональной схемы и длины измерительного участка железнодорожного пути до сих пор актуален.

Математическая модель обследования колеса при его движении по измерительному участку пути

Математическая модель, позволяющая выявлять величину «слепых» зон и их расположение на поверхности колеса при прохождении измерительного участка, учитывая n оборотов и различные схемы размещения датчиков, реализована [11] в программном ком-

плексе MathCad. Это единичная ступенчатая функция $F(x)$, описывающая размещение вдоль пути измерительных зон:

$$F(x) = \begin{cases} 0; \\ 1, \text{ если } A \geq 0 \text{ и } A \leq \frac{l_{изм}}{l_{шп}}, \end{cases}$$

где $l_{шп}$ — расстояние между шпалами (или длина межшпального промежутка);
 $l_{изм}$ — длина измерительной зоны;
 A — выражение для построения единичной ступенчатой функции.

Для функции $F(x)$ единице соответствовало наличие сигнала от датчиков, нулю — его отсутствие, т. е. колесо находилось в «слепой» зоне.

Параметр A для построения функции $F(x)$ имел вид

$$A = \left(\frac{x_i - x_1}{l_{шп}} - \left\{ \frac{x_i - x_1}{l_{шп}} \right\} \right),$$

где x — точка вдоль пути, на которой проверяется наличие сигнала;
 i — номер шага, для которого выполняется расчет; {...} — оператор округления числа до нижнего целого.

Графическая интерпретация диагностирования колеса с размещением измерительных зон, где контролируется поверхность катания колеса, представлена на рис. 1. При проведении расчетов через каждый оборот колеса происходило смещение функции $F(x)$ на величину, равную длине круга катания колеса. Таким образом наблюдалось наложение измерительных зон на круг катания.

В результате расчета строились диаграммы обследованных зон и «слепых» зон, которые оставались после n оборотов колеса, определялись их значения. Пример построения диаграмм представлен на рис. 2.

Выбор рациональной схемы измерительного участка железнодорожного пути

Для подбора рациональной схемы измерительного участка пути проводились расчеты с учетом различных значений диаметра колеса, которые в эксплуатации могут меняться в пределах от 964 до 844 мм [12].

Вначале была рассмотрена схема компоновки № 1 (рис. 3) с длиной измерительного участка 25 м. Расстановку датчиков проводили с шагом 136 мм. Представленная схема предусматривала измерение

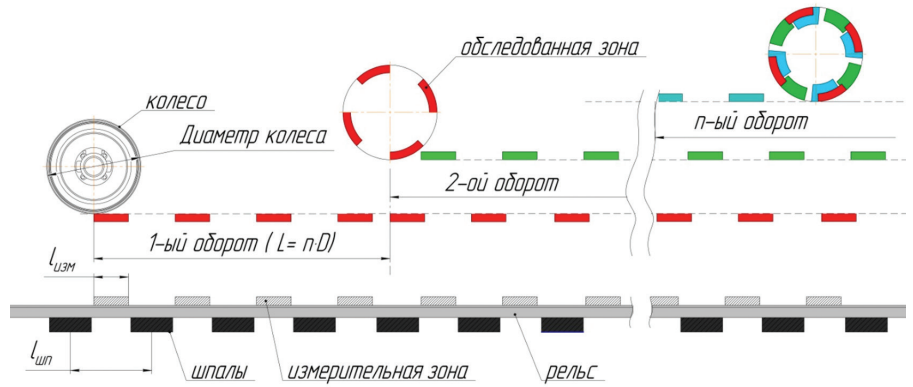


Рис. 1. Графическая интерпретация диагностирования колеса

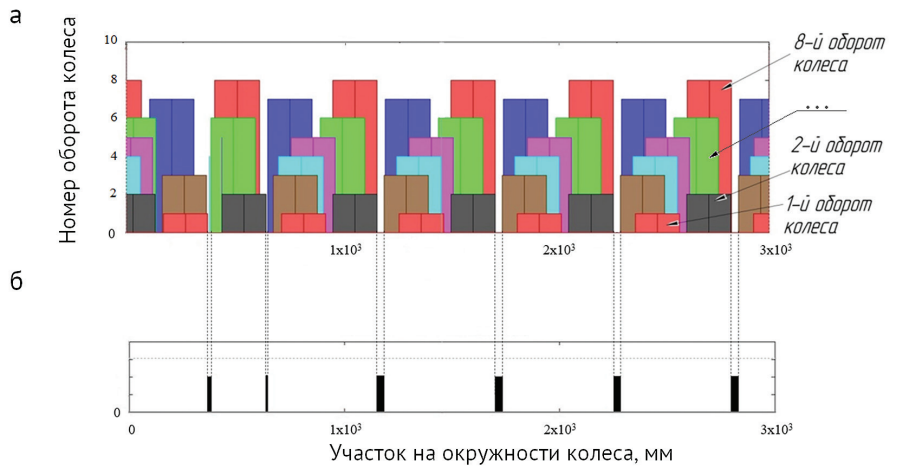


Рис. 2. Пример диаграмм, получаемых в результате расчета:

а — диаграмма обследованных зон; б — диаграмма «слепых» зон

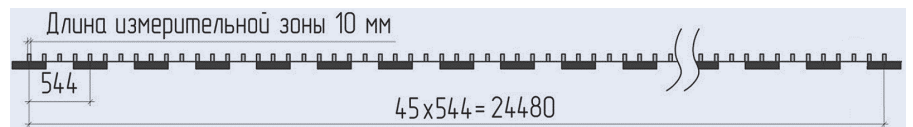


Рис. 3. Схема измерительного участка (схема компоновки № 1)

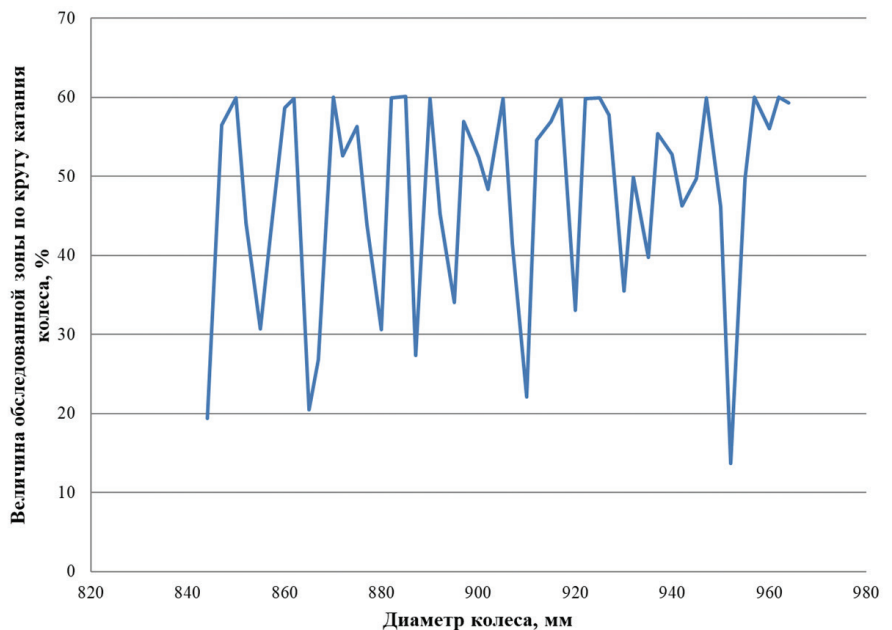


Рис. 4. Величина обследованной зоны колеса в зависимости от его диаметра после прохождения измерительного участка с датчиками, установленными по схеме № 1, с использованием методов ГОСТ Р 55050–2012 и «РЖД–2016»

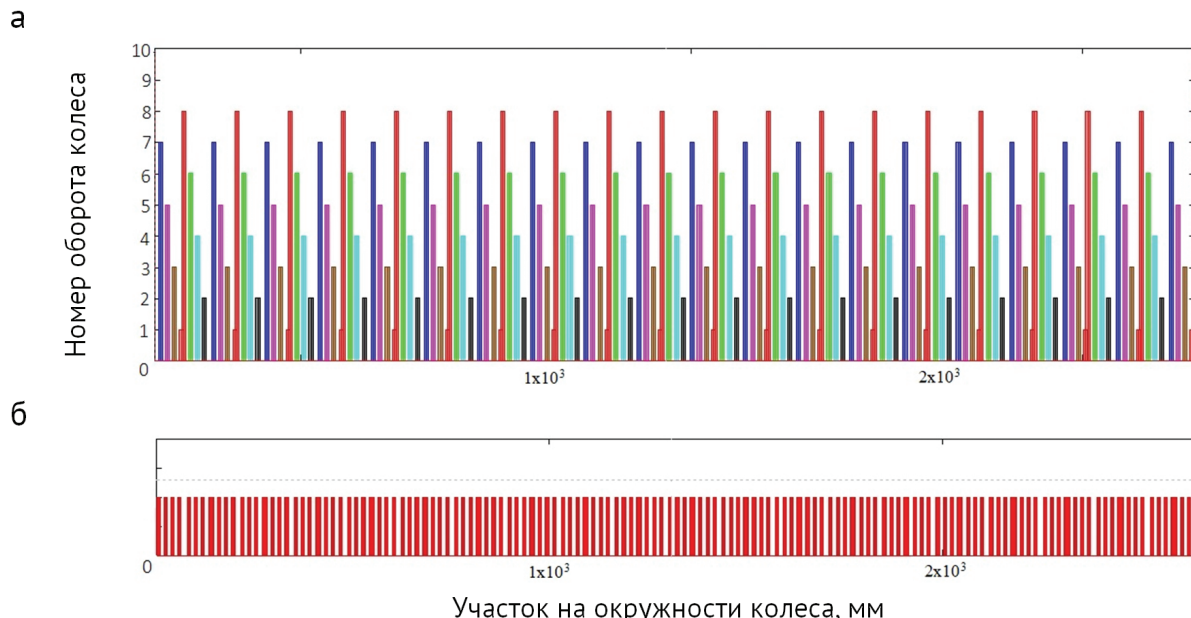


Рис. 5. Обследованные и «слепые» зоны на колесе диаметром 943 мм после прохождения измерительного участка по схеме № 1:
 а – зоны обследования колеса при каждом обороте; б – «слепые» зоны на колесе после восьми оборотов

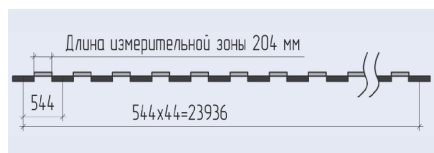


Рис. 6. Схема измерительного участка (схема компоновки № 2)

вертикальных сил согласно методам ГОСТ Р 55050–2012 и «РЖД–2016». Показания снимались в момент нахождения колеса над датчиком, длина измерительной зоны составляла 10 мм.

После прохождения колесной парой измерительного участка по схеме

компоновки № 1 не удалось полностью обследовать всю поверхность колеса. В зависимости от диаметра колесо совершало от 8,25 до 9,43 оборотов, при этом величина «слепых» зон на поверхности составляла от 40 до 87 % (рис. 4). Диаграммы обследованных и «слепых» зон после диагностирования колеса представлены на рис. 5.

Таким образом, с помощью измерительного участка при использовании методов ГОСТ Р 55050–2012 и «РЖД–2016» нельзя выявить дефекты колес, оказывающие короткие ударные воздействия, так как величина измерительной зоны мала и она возникает достаточно редко. Компенсировать этот недостаток может уменьшение периода возникновения измерительных зон, т. е. уменьшение расстояния между размещаемыми датчиками. Однако это значительно увеличивает количество используемой аппаратуры, а следовательно, и стоимость участка для диагностирования. Поэтому предложено использовать метод [13] кусочно-непрерывной регистрации вертикальных сил по измерению напряжений в двух сечениях рельса, при этом можно увеличить ширину измерительной зоны.

Схема компоновки № 2 представляла собой установку датчиков в межшпальных промежутках согласно указанному методу (рис. 6). Длина измерительной зоны составляла 204 мм, расстояние между осями шпал – 544 мм, длина межшпального промежутка – 404 мм, длина измерительного участка пути – 25 м. Аналогично схеме № 1

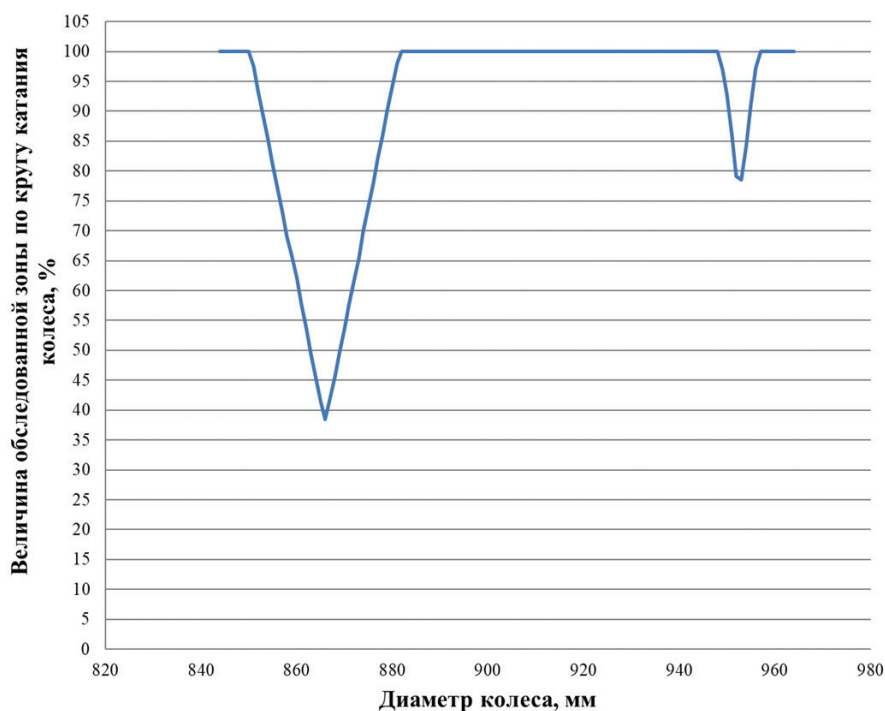


Рис. 7. Величина обследованной зоны колеса в зависимости от его диаметра после прохождения измерительного участка с датчиками, установленными по схеме компоновки № 2, с использованием метода кусочно-непрерывной регистрации сил

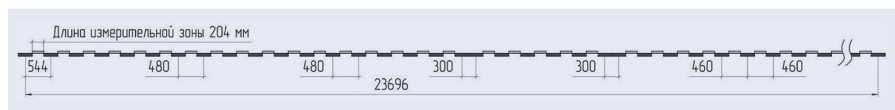


Рис. 8. Схема измерительного участка (схема компоновки № 3)

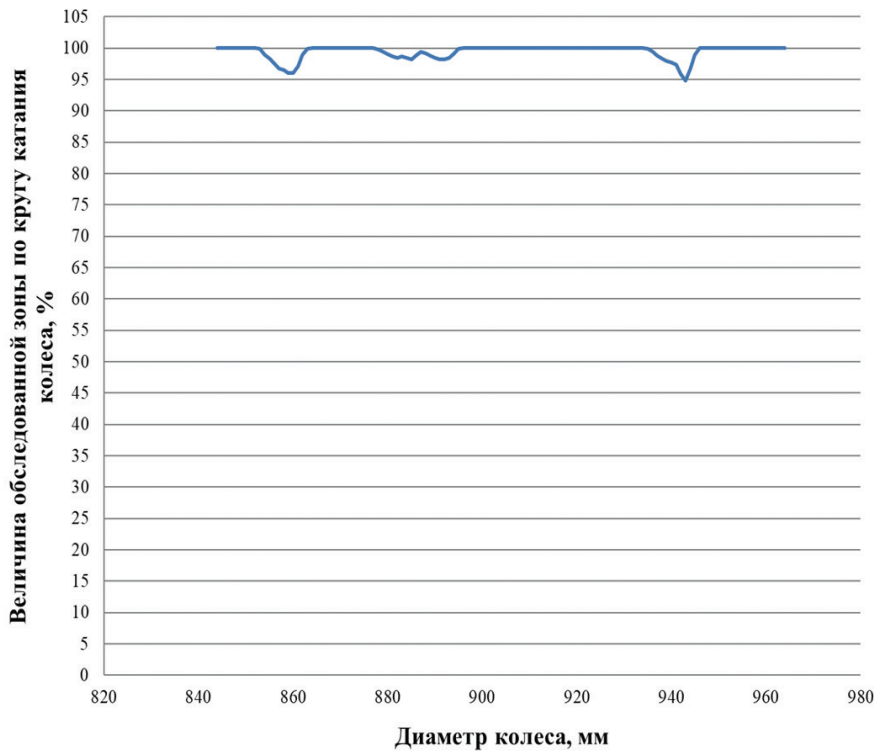


Рис. 9. Величина обследованной зоны колеса в зависимости от его диаметра после прохождения измерительного участка с установленными датчиками по схеме № 3 с использованием метода кусочно-непрерывной регистрации сил

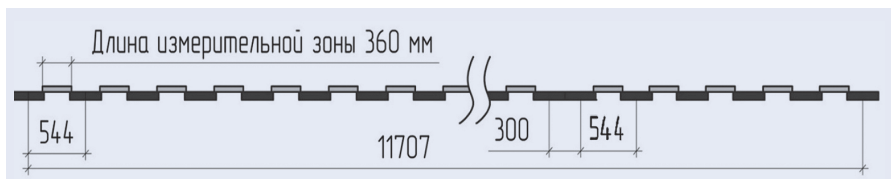


Рис. 10. Схема измерительного участка (схема компоновки № 4)

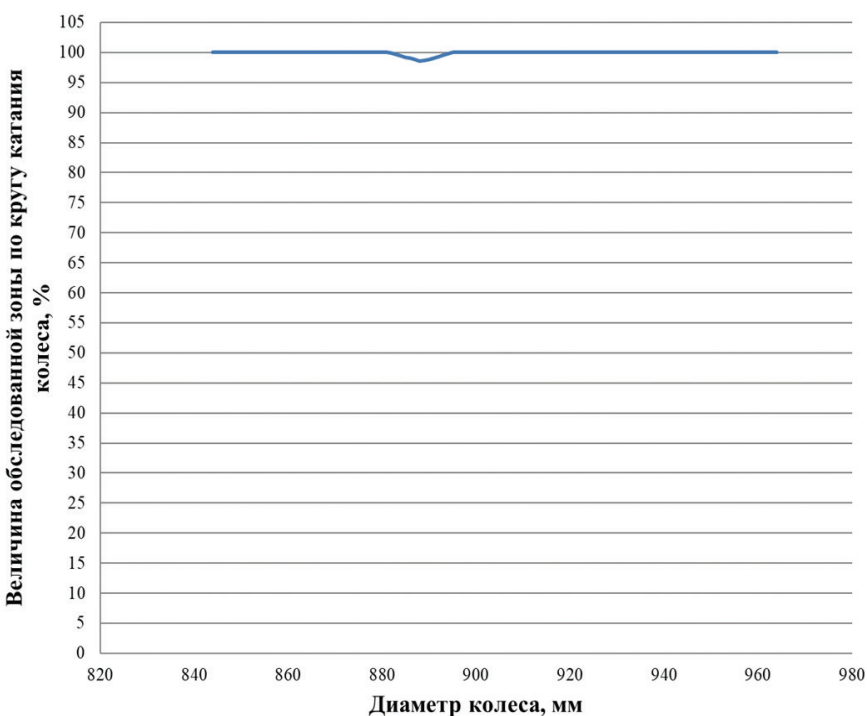


Рис. 11. Величина обследованной зоны колеса в зависимости от его диаметра после прохождения измерительного участка с датчиками, установленными по схеме № 4, с использованием метода кусочно-непрерывной регистрации сил

колесо могло совершать от 8,25 до 9,43 оборотов. Согласно расчету такая схема позволила сократить величину «слепой» зоны с 90 до 61,5 % (рис. 7).

Колеса, с диаметром в диапазонах 844–850 мм, 882–948, 957–964 мм были обследованы на 100 %. Характерные «провалы» на рис. 7 соответствуют близости значений периода обращения колеса и периода возникновения измерительной зоны. Диаметру колеса 866 мм соответствует максимальная величина «слепой» зоны 61,5 %. Следовательно, увеличение длины измерительной зоны значительно повысило вероятность выявления дефекта, однако оказалось недостаточным.

Для устранения отрицательного эффекта от совпадения периодов и увеличения величины обследованной зоны на колесе было предложено провести смещение фазы расстановки измерительных зон. Метод [13] кусочно-непрерывной регистрации вертикальных сил предполагает размещении датчиков в межшпальном промежутке, поэтому смещение фазы можно регулировать изменением расстояния между шпалами.

Схема компоновки № 3 включала в себя размещение шпал с расстоянием 544, 480, 460 и 300 мм и длину измерительной зоны 204 мм (рис. 8). Длина измерительного участка и возможное количество оборотов колеса оставались прежними. На основании расчетов с помощью математической модели ожидался положительный эффект при использовании предложенного способа. Расширился диапазон диаметров, при которых контролировались 100 % поверхности колеса, уменьшились характерные «провалы» на графике обследованных зон (рис. 9). Величина «слепых» зон не превышала 5,2 %.

Для достижения наилучшего результата измерений была разработана схема компоновки № 4: длина измерительной зоны 360 мм с переменным масштабированием [14], размещение шпал с расстоянием 544 и 300 мм (рис. 10). В этом случае удалось обследовать всю поверхность за пять оборотов, что соответствует длине рельса не более 12,5 м. Величина «слепой» зоны не превышала 2 % (рис. 11).

Схема компоновки № 4 обеспечила:

- 100 % обследования для колес, диаметр которых находился в диапазонах 844–881, 896–964 мм;

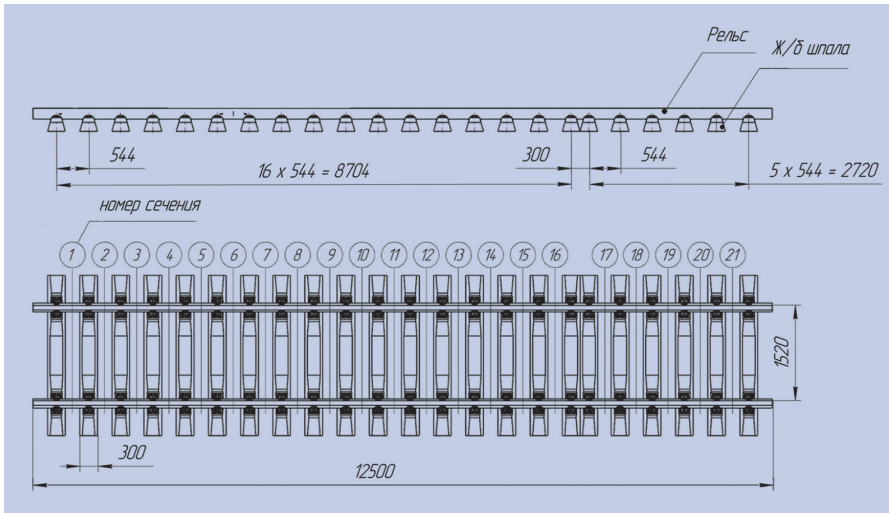


Рис. 12. Схема измерительного участка с реализацией метода кусочно-непрерывной регистрации вертикальных сил по измерению напряжений в двух сечениях рельса

• не менее 98,5 % обследования для колес, диаметр которых находился в диапазоне 882–95 мм.

Схема компоновки № 4 имеет значительное преимущество перед предыдущими представленными схемами.

Таким образом, разработанная математическая модель диагностирования колес позволила определять величину «слепых» зон в зависимости от схемы участка и используемых методов измерений силового воздействия. При анализе результатов расчетов были выявлены следующие способы повышения эффективности измерительного участка для выявления дефектов на поверхности колес:

- увеличение величины измерительной зоны;
- смещение фазы возникновения измерительных зон.

На основе математического моделирования был выбран наиболее рациональный вариант схемы измерительного участка железнодорожного пути (рис. 12) длиной 12,5 м, длина измерительной зоны 360 мм.

Такой измерительный участок пути реализуется совместно с методом [13] кусочно-непрерывной регистрации вертикальных сил, что позволяет выявлять дефекты не менее 98 % окружности колеса независимо от его диаметра при эксплуатации.

По устройству и способу обнаружения дефектов колес подана заявка [15] на патент. ■

Литература

1. 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.

ва // Матер. XIII Межд. науч.-техн. конф. «Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты». — СПб. : ПГУПС, 2018. С. 120–122.

2. Ершков О. П. Установление коэффициентов, учитывающих боковой изгиб и кручение рельсов. Взаимодействие пути и подвижного состава и вопросы расчетов пути // Труды ЦНИИ МПС. Вып. 97. Трансжелдориздат, 1955. С. 289–325.
3. Ершков О. П. Исследование жесткости железнодорожного пути и её влияние на работу рельсов в кривых участках // Труды ЦНИИ МПС. Вып. 264. Трансжелдориздат, 1963. С. 39–98.
4. Schlumpf G. Messungen mit Dehnungsmesstreifen bei den SBB // Techn. Rundschau Bern. 1955. № 26. S. 35–41.
5. Weber H. H. Zur direkten Messung der Kräfte zwischen Rad und Schiene // Elektrischen Bahnen. Bern. 1961. № 5. S. 93–110.
6. ГОСТ Р 55050–2012. Железнодорожный подвижной состав. Нормы допустимого воздействия на железнодорожный путь и методы испытаний (с изм. № 1 от 01.10.2014). — М. : Стандартинформ, 2013. 15 с.
7. Способ измерения трех компонентов нагрузки в сечении рельса при контактом взаимодействии с колесом железнодорожного подвижного состава: пат. 2016119588 РФ: МПК G01L 5/16 (2006.01) / В. С. Коссов, Н. Ф. Красюков, А. А. Лунин и др.; заявитель и патентообладатель ОАО «РЖД»; заявл. 20.05.2016; опубл. 28.06.2017; бюл. № 19. 12 с.
8. Бороненко Ю. П., Рахимов Р. В., Пет-

ров 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.
10. Бороненко Ю. П., Рахимов Р. В., Сергеев Д. А. и др. Апробация нового метода измерения вертикальной нагрузки от колеса на рельс // Там же. 2019. № 1 (80). С. 56–59.
11. Программа для определения величины слепых зон и их расположения на поверхности железнодорожного колеса после прохождения измерительного участка пути: Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2019614032 РФ / Ю. Б. Житков, Р. В. Рахимов, Г. А. Поволоцкая; заявл. № 2019612561 от 12.03.2019; опубл. 27.03.2019; бюл. № 4. — 1 с.
12. РД ВНИИЖТ 27.05.01–2017. Руководящий документ по ремонту и техническому обслуживанию колесных пар с буксовыми узлами грузовых вагонов магистральных железных дорог колеи 1520 (1524) мм, утвержденный Советом по железнодорожному транспорту государств – участников Содружества, протокол № 67 от 19–20 октября 2017 г.
13. Способ измерений вертикальной нагрузки от колеса на рельс и устройство для его осуществления: заявка на патент № 2018140938 РФ: МПК G01L 5/16 / Ю. П. Бороненко, А. С. Даукша, Р. В. Рахимов; заявитель и патентообладатель АО «НВЦ «Вагоны»; заявл. 21.11.2018.
14. Сергеев Д. А. Сравнение двух методов определения вертикальной нагрузки на рельс // Матер. XIII Межд. науч.-техн. конф. «Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты». — СПб. : ПГУПС, 2018. С. 168–169.
15. Устройство и способ обнаружения дефектов колес железнодорожных транспортных средств в движении: заявка на патент № 2019101592 РФ: МПК G01L 5/16 (2006.01) / Ю. П. Бороненко, Ю. Б. Житков, Р. В. Рахимов и др.; заявитель и патентообладатель АО «НВЦ «Вагоны»; заявл. 21.01.2019.