



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
G01L 1/22 (2020.02)

(21)(22) Заявка: 2019114559, 13.05.2019

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
13.05.2019

Дата регистрации:  
27.04.2020

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 13.05.2019

(45) Опубликовано: 27.04.2020 Бюл. № 12

Адрес для переписки:

190031, Санкт-Петербург, а/я 356, АО "НВЦ  
"Вагоны"

(72) Автор(ы):

Бороненко Юрий Павлович (RU),  
Рахимов Рустам Вячеславович (UZ),  
Даукша Анфиса Сергеевна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Акционерное общество  
"Научно-внедренческий центр "Вагоны" (АО  
"НВЦ "Вагоны") (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: RU 2623665 C1, 28.06.2017. RU  
2591739 C1, 20.07.2016. RU 2441206 C1,  
27.01.2012. EP 2439508 A1, 11.04.2012. EP 2180303  
A2, 28.04.2010.

## (54) СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ БОКОВЫХ СИЛ, ДЕЙСТВУЮЩИХ ОТ КОЛЕСА НА РЕЛЬС, И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЕГО ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ

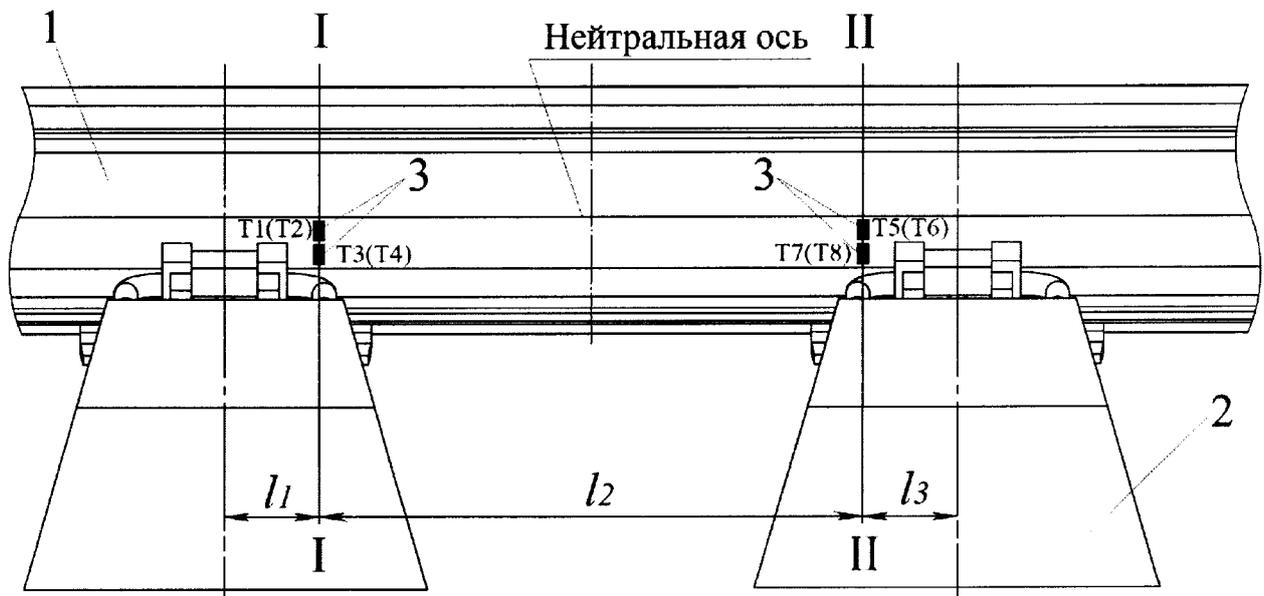
(57) Реферат:

Использование: для измерения боковых сил, возникающих при взаимодействии колеса подвижного состава с рельсом. Сущность изобретения заключается в том, что на обе стороны шейки рельса в двух вертикальных поперечных сечениях, расположенных в межшпальном промежутке, ниже нейтральной оси рельса устанавливаются суммарно восемь тензорезисторов перпендикулярно относительно

продольной оси рельса и по их показаниям вычисляют боковую силу, возникающую при взаимодействии колеса и рельса во время движения колеса по рельсошпальному пролету. Технический результат: увеличение статистической достоверности измерений боковых сил от взаимодействия колеса с рельсом. 2 н.п. ф-лы, 4 ил.

RU 2720188 C1

RU 2720188 C1



Фиг. 1

RU 2720272 8810288 C1

RU 2720188 C1



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC  
*G01L 1/22 (2020.02)*

(21)(22) Application: **2019114559, 13.05.2019**

(24) Effective date for property rights:  
**13.05.2019**

Registration date:  
**27.04.2020**

Priority:

(22) Date of filing: **13.05.2019**

(45) Date of publication: **27.04.2020** Bull. № 12

Mail address:

**190031, Sankt-Peterburg, a/ya 356, AO "NVTS  
"Vagony"**

(72) Inventor(s):

**Boronenko Yuriy Pavlovich (RU),  
Rakhimov Rustam Vyacheslavovich (UZ),  
Dauksha Anfisa Sergeevna (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Aktsionernoe obshchestvo  
"Nauchno-vnedrencheskij tsentr "Vagony" (AO  
"NVTS "Vagony") (RU)**

(54) **METHOD OF MEASURING LATERAL FORCES ACTING FROM WHEEL TO RAIL, AND DEVICE FOR IMPLEMENTATION THEREOF**

(57) Abstract:

FIELD: machine building.

SUBSTANCE: invention can be used for measurement of lateral forces occurring at interaction of wheel of rolling stock with rail. Essence of the invention consists in the fact that on both sides of the rail neck in two vertical cross sections located in the inter-cavity gap, below the neutral axis of the rail there are installed in total eight strain gauges perpendicularly

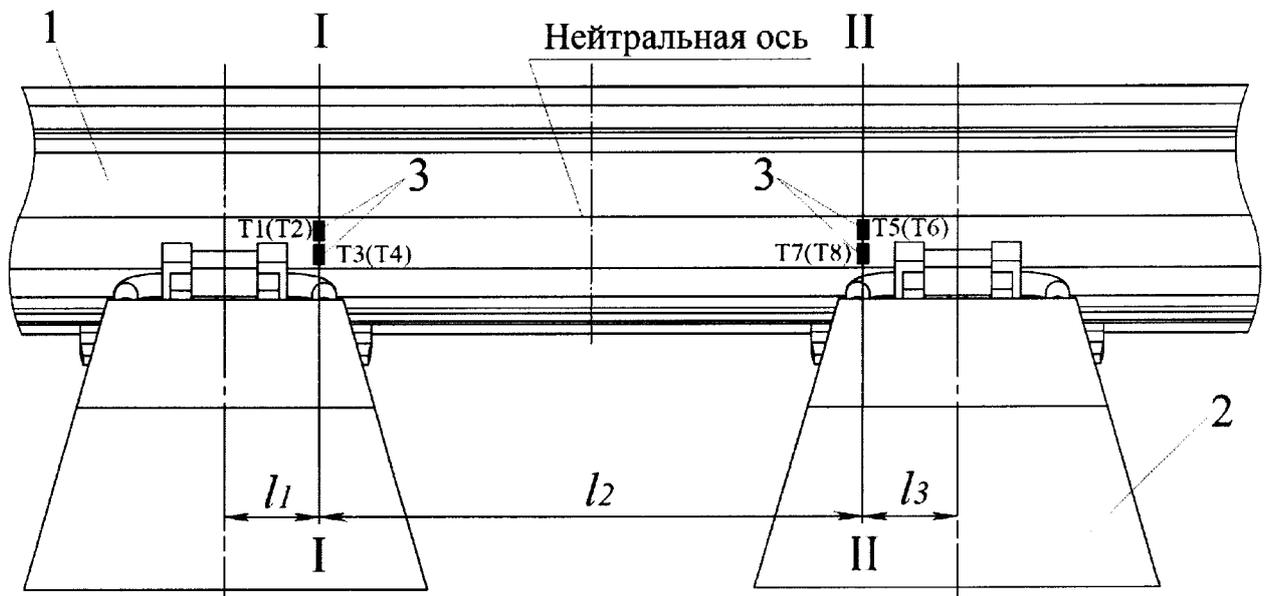
relative to the longitudinal axis of the rail and according to their readings, lateral force occurring at interaction of wheel and rail during wheel motion along rail-and-span span is calculated.

EFFECT: technical result is increased statistical reliability of side forces measurements from wheel-to-rail interaction.

2 cl, 4 dwg

**RU 2 720 188 C1**

**RU 2 720 188 C1**



Фиг. 1

RU 2720272 8810288 C1

RU 2720188 C1

Изобретение относится к области технической диагностики и может быть использовано в сфере железнодорожного транспорта, а именно для измерения и регистрации бокового воздействия, действующего от колеса на рельс.

Известен способ измерения боковых сил (метод Шлюмпфа согласно ГОСТ Р 55050-2012), включающий в себя установку четырех тензорезисторов на шейке рельса попарно с наружной и внутренней стороны с дальнейшей обработкой их сигналов. При этом продольные оси тензорезисторов располагают над нейтральной осью поперечного сечения рельса и под нейтральной осью в сечениях с одинаковой толщиной шейки. Тензометрическими схемами, собранными на шейке рельса, измеряют боковые силы по разности противоположных по знаку изгибающих моментов, возникающих в шейке рельса под воздействием боковых сил.

Недостатком указанного способа является погрешность при определении боковых сил, связанная с влиянием положения точки приложения вертикальной силы относительно середины головки рельса. Получаемые величины боковых сил на рельсе не зависят от положения центра пятна контакта на головке рельса. Также оценка возникающих боковых сил фиксируется только в момент прохождения колесом тензорезисторов и итоговые результаты измерений частично статистически недостоверны.

Известен способ измерения боковых сил (патент РФ №2623665 G01L 5/16, опубл. 28.06.2017), принятый в качестве прототипа, включающий в себя установку четырех тензорезисторов на шейке рельса попарно с наружной и внутренней стороны и соединение их в три измерительных моста. Каждый мост подключают к отдельному измерительному каналу тензометрической аппаратуры, градуировку выполняют по трехфакторному плану эксперимента комбинациями входных факторов - вертикальной силы, боковой силы и опрокидывающего момента, градуировочные коэффициенты определяют умножением матрицы плана эксперимента на матрицу правую обобщенную обратную к матрице отклика, систематические погрешности измерений определяют как разницу между приложенными и восстановленными по отклику значениями факторов плана, результаты измерения представляют в виде сочетания восстановленного по отклику значения входного фактора и максимального значения систематической погрешности, полученной при градуировке.

Недостатком указанного способа является то, что оценка возникающих боковых сил фиксируется только в момент прохождения колесом тензорезисторов, вследствие чего итоговые результаты измерений статистически недостоверны.

Решаемой технической проблемой является низкая достоверность статистических результатов измерений боковых сил от взаимодействия колеса с рельсом при движении вагона.

Технический результат заключается в увеличении статистической достоверности измерений боковых сил от взаимодействия колеса с рельсом, и повышении безопасности движения вагонов путем улучшения качества диагностирования.

Технический результат достигается тем, что в двух вертикальных поперечных сечениях рельса, расположенных в межшпальном промежутке, на шейке рельса ниже нейтральной оси устанавливаются суммарно восемь тензорезисторов перпендикулярно относительно продольной оси рельса. Установленные тензорезисторы соединяются в один полный мост с четырехпроводной схемой соединения таким образом, чтобы обеспечить сложение и вычитание сигналов для измерения боковых сил. При этом для обеспечения точности измерений боковых сил тензорезисторы устанавливаются на расстоянии не менее 175 мм и не более 225 мм от вертикальной центральной поперечной

плоскости межшпального промежутка. При этом расстояние между двумя вертикальными поперечными сечениями рельса, где установлены тензорезисторы, составляет не менее 350 мм и не более 450 мм. Установка тензорезисторов вне заданного диапазона может привести к большой погрешности при определении значений боковых сил, действующих от колеса на рельс во время прохождения колеса рельсошпального пролета. Это связано с поперечным перемещением пятна контакта «колесо-рельс», которое является местом возникновения вертикальной силы.

Сущность заявляемого изобретения поясняется графическим материалом.

На фигуре 1 показан рельсошпальный пролет с установленными тензорезисторами.

На фигуре 2 показан поперечный профиль рельса с установленными тензорезисторами.

На фигуре 3 показана схема соединения тензорезисторов в один полный мост для измерения боковых сил.

На фигуре 4 показана общая схема устройства для измерений боковых сил от взаимодействия колеса с рельсом.

Способ измерения боковых сил  $P$  от взаимодействия колеса с рельсом, заключается в том, что на обе стороны шейки рельса 1 (фиг. 1) в двух вертикальных поперечных сечениях I и II, расположенных между шпалами 2, ниже нейтральной оси рельса устанавливаются суммарно восемь тензорезисторов  $T1...T8$ , обозначенные позицией 3, перпендикулярно относительно продольной оси рельса. Установленные тензорезисторы  $T1...T8$  соединяются в один полный мост с четырехпроводной схемой соединения с тензоусилителем 5 (фиг. 3) и регистрирующим устройством 6.

При движении колеса по рельсошпальному пролету возникают деформации, которые регистрируют установленные тензорезисторы.

Вертикальное нормальное напряжение  $\sigma_{yi}$ , возникающее на шейке рельса, пропорционально деформациям

$$\sigma_{yi} = \frac{E}{1 - \mu^2} (\varepsilon_{yi} + \mu \varepsilon_{xi}),$$

где  $E$  - модуль упругости;  $\mu$  - коэффициент Пуассона;  $\varepsilon_{yi}$  - линейные деформации, вызванные вертикальными нормальными напряжениями  $\sigma_{yi}$  на шейке рельса;  $\varepsilon_{xi}$  - линейные деформации, вызванные поперечными нормальными напряжениями  $\sigma_{xi}$  на шейке рельса.

Разность вертикальных нормальных напряжений, выраженная через деформации, имеет вид

$$\Delta\sigma_{y1} = \sigma_{y1} - \sigma_{y2} = \frac{E}{1 - \mu^2} (\varepsilon_{y1} - \varepsilon_{y2});$$

$$\Delta\sigma_{y2} = \sigma_{y3} - \sigma_{y4} = \frac{E}{1 - \mu^2} (\varepsilon_{y3} - \varepsilon_{y4});$$

$$\Delta\sigma_{y3} = \sigma_{y5} - \sigma_{y6} = \frac{E}{1 - \mu^2} (\varepsilon_{y5} - \varepsilon_{y6});$$

$$\Delta\sigma_{y4} = \sigma_{y7} - \sigma_{y8} = \frac{E}{1 - \mu^2} (\varepsilon_{y7} - \varepsilon_{y8});$$

$$\Delta\sigma_y = (\Delta\sigma_{y2} + \Delta\sigma_{y4}) - (\Delta\sigma_{y1} + \Delta\sigma_{y3}) =$$

$$= \frac{E}{1 - \mu^2} (\varepsilon_{y3} - \varepsilon_{y4} + \varepsilon_{y7} - \varepsilon_{y8} - \varepsilon_{y1} + \varepsilon_{y2} - \varepsilon_{y5} + \varepsilon_{y6}),$$

где  $\Delta\sigma_{y1}$ ,  $\Delta\sigma_{y2}$ ,  $\Delta\sigma_{y3}$  и  $\Delta\sigma_{y4}$  - разность нормальных напряжений в измерительных точках Т1-Т2; Т3-Т4; Т5-Т6 и Т7-Т8 соответственно;  $\varepsilon_{yi}$  - деформации, вызванные вертикальными нормальными напряжениями  $\sigma_{yi}$ , регистрируемые тензорезистором номер  $i$ .

Величина боковой силы, выраженная через деформации  $s_{yi}$ , имеет вид

$$P = K \cdot \Delta\sigma_y = K \cdot \frac{E}{1 - \mu^2} (\varepsilon_{y3} - \varepsilon_{y4} + \varepsilon_{y7} - \varepsilon_{y8} - \varepsilon_{y1} + \varepsilon_{y2} - \varepsilon_{y5} + \varepsilon_{y6}), \quad (1)$$

где  $K$  - постоянный коэффициент, определяемый при градуировке тензометрических схем.

Суммирование и вычитание сигналов о деформации, входящие в состав формулы (1), выполняются с помощью полного измерительного моста с четырехпроводной схемой соединения, который показан на фиг. 3.

Изменение выходного напряжения моста определяется выражением

$$\Delta U = \left( \frac{\Delta R_3}{R} - \frac{\Delta R_4}{R} + \frac{\Delta R_7}{R} - \frac{\Delta R_8}{R} - \frac{\Delta R_1}{R} + \frac{\Delta R_2}{R} - \frac{\Delta R_5}{R} + \frac{\Delta R_6}{R} \right) (1 - \eta) U,$$

где  $R$  - сопротивление тензорезисторов;  $\Delta R_1 \dots \Delta R_8$  - изменение сопротивления тензорезисторов Т1...Т8 соответственно;  $\eta$  - параметр, характеризующий нелинейность измерительного моста (при деформациях менее  $10^4$  мкм/н,  $\mu < 1\%$ );  $U$  - напряжение измерительного моста.

Изменение сопротивления пропорционально деформации

$$\frac{\Delta R_i}{R} = k_T \cdot \varepsilon_{yi},$$

где  $k_T$  - коэффициент тензочувствительности тензорезисторов.

Тогда изменение выходного напряжения будет определяться формулой

$$\Delta U = k_T \cdot (\varepsilon_{y3} - \varepsilon_{y4} + \varepsilon_{y7} - \varepsilon_{y8} - \varepsilon_{y1} + \varepsilon_{y2} - \varepsilon_{y5} + \varepsilon_{y6}) (1 - \eta) U. \quad (2)$$

Из выражений (1) и (2) получаем формулу для вычисления боковых сил, которые образуются при взаимодействии колеса и рельса

$$\begin{aligned}
 P &= K \cdot \frac{E}{1 - \mu^2} (\varepsilon_{y3} - \varepsilon_{y4} + \varepsilon_{y7} - \varepsilon_{y8} - \varepsilon_{y1} + \varepsilon_{y2} - \varepsilon_{y5} + \varepsilon_{y6}) = \\
 &= K \cdot \frac{E}{1 - \mu^2} \cdot \frac{\Delta U}{k_T U (1 - \eta)}. \tag{3}
 \end{aligned}$$

Устройство для измерения боковых сил, действующих от колеса на рельс, содержит измерительный участок железнодорожного пути длиной L (фиг. 4), два рельса 1, шпалы 2, тензорезисторы 3, установленные на обе стороны шейки рельса в двух вертикальных поперечных сечениях, расположенных в межшпальном промежутке, подключенные в

измерительные мосты 4 с тензоусилителями 5 и регистрирующим устройством 6. Тензорезисторы 3 установлены на шейке рельса ниже нейтральной оси перпендикулярно относительно продольной оси рельса. При этом тензорезисторы 3 соединены в один полный мост с четырехпроводной схемой соединения таким образом, чтобы обеспечить сложение и вычитание сигналов тензорезисторов по формуле (3) для измерения боковых сил P, действующих от колеса на рельс. При этом для исключения влияния вертикальных сил и обеспечения точности измерений боковых сил P:

- расстояние  $l_2$  (фиг. 1) между двумя вертикальными поперечными сечениями I и II рельса, где установлены тензорезисторы T1...T8 составляет не менее 350 мм и не более 450 мм;

- расстояния  $l_1$  и  $l_3$  от вертикальной центральной поперечной плоскости шпалы до вертикальных поперечных сечений I и II соответственно, где установлены тензорезисторы T1...T8 составляет не менее 50 мм и не более 100 мм;

- расстояние  $l_4$  (фиг. 2) от нейтральной оси рельса до первых четырех тензорезисторов составляет не менее 5 мм и не более 15 мм;

- расстояние  $l_5$  между остальными четырьмя тензорезисторами и первыми четырьмя тензорезисторами составляет не менее 3 мм и не более 15 мм.

Таким образом достигается технический результат, заключающийся в увеличении статистической достоверности измерений боковых сил от взаимодействия колеса с рельсом, и повышении безопасности движения вагонов путем улучшения качества диагностирования.

#### (57) Формула изобретения

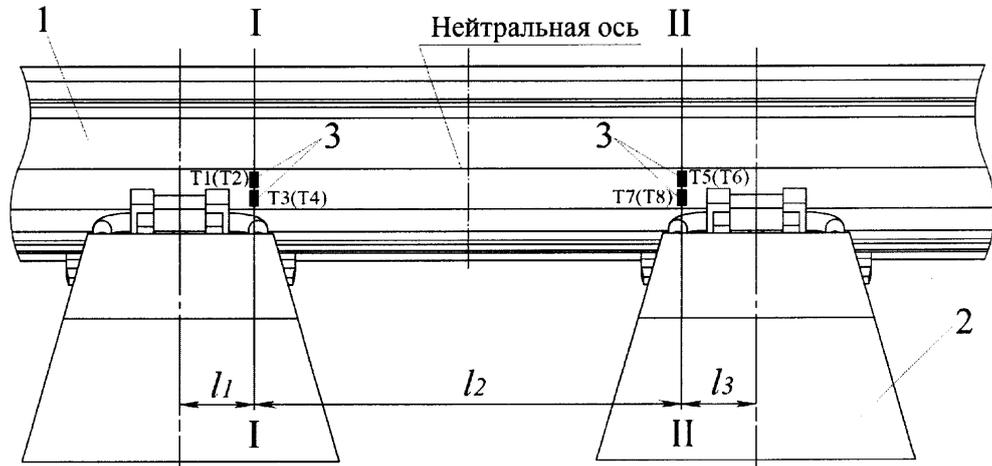
1. Способ измерения боковых сил, возникающих при взаимодействии колеса подвижного состава с рельсом, заключающийся в том, что на обе стороны шейки рельса установлены тензорезисторы, отличающийся тем, что в двух вертикальных поперечных сечениях рельса, расположенных в межшпальном промежутке, ниже нейтральной оси рельса устанавливаются суммарно восемь тензорезисторов перпендикулярно относительно продольной оси рельса и по их показаниям вычисляют боковую силу, возникающую при взаимодействии колеса и рельса во время движения колеса по рельсошпальному пролету, по формуле:

$$\begin{aligned}
 P &= K \cdot \frac{E}{1 - \mu^2} (\varepsilon_{y3} - \varepsilon_{y4} + \varepsilon_{y7} - \varepsilon_{y8} - \varepsilon_{y1} + \varepsilon_{y2} - \varepsilon_{y5} + \varepsilon_{y6}) = \\
 &= K \cdot \frac{E}{1 - \mu^2} \cdot \frac{\Delta U}{k_T U (1 - \eta)},
 \end{aligned}$$

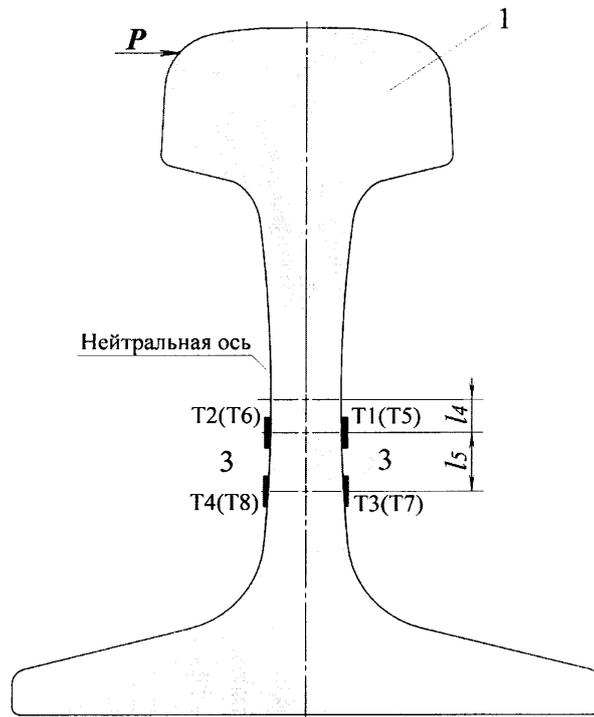
где  $K$  - постоянный коэффициент, определяемый при градуировке тензометрических схем;  $E$  - модуль упругости;  $\mu$  - коэффициент Пуассона;  $\Delta U$  - изменение выходного напряжения измерительного моста;  $U$  - напряжение измерительного моста;  $k_T$  - коэффициент тензочувствительности тензорезисторов;  $\eta$  - параметр, характеризующий нелинейность измерительного моста (при деформациях менее  $10^4$  мкм/н,  $\eta < 1\%$ );  $\varepsilon_{yi}$  - деформации, вызванные вертикальными нормальными напряжениями, регистрируемые тензорезистором номер  $i$ .

2. Устройство для измерения боковых сил, действующих от колеса на рельс, выполненное в виде измерительного участка железнодорожного пути, содержащего рельсы, уложенные на шпалы, тензорезисторы, установленные на обе стороны шейки рельса, подключенные в измерительные мосты с тензоусилителями и регистрирующим устройством, отличающееся тем, что в двух вертикальных поперечных сечениях рельса, расстояние между которыми составляет не менее 350 мм и не более 450 мм, расположенных на расстоянии не менее 175 мм и не более 225 мм от вертикальной центральной поперечной плоскости межшпального промежутка, ниже нейтральной оси рельса установлены суммарно восемь тензорезисторов перпендикулярно относительно продольной оси рельса таким образом, чтобы первые четыре тензорезистора были наклеены на расстоянии не менее 5 мм и не более 15 мм от нейтральной оси рельса, остальные четыре тензорезистора были наклеены на расстоянии не менее 3 мм и не более 15 мм от первых четырех тензорезисторов, при этом тензорезисторы соединены в один полный мост с четырехпроводной схемой соединения таким образом, чтобы обеспечить сложение и вычитание сигналов тензорезисторов для измерения боковых сил, действующих от колеса на рельс.

1

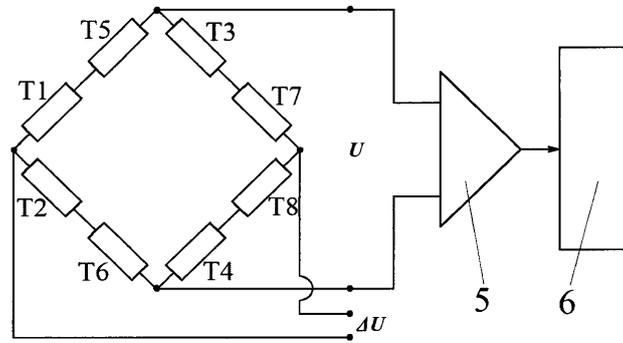


Фиг. 1

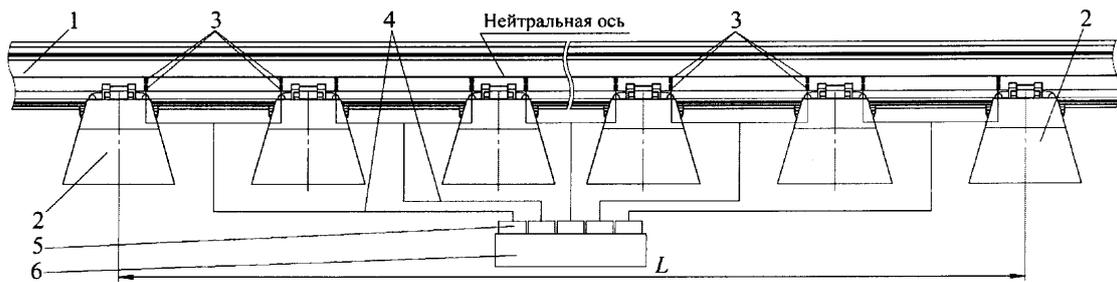


Фиг. 2

2



Фиг. 3



Фиг. 4