

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **044345**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента  
**2023.08.18**

(51) Int. Cl. **G01N 27/90** (2021.01)  
**G06N 3/06** (2006.01)

(21) Номер заявки  
**202292869**

(22) Дата подачи заявки  
**2022.11.07**

---

(54) **УСТРОЙСТВО ВИХРЕТОКОВОГО НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ЭЛЕМЕНТОВ КОЛЕСНЫХ ПАР РЕЛЬСОВОГО ТРАНСПОРТА**

---

(31) **2022120416**

(56) RU-C1-2744644

(32) **2022.07.25**

RU-U1-50953

(33) **RU**

RU-U1-200608

(43) **2023.08.17**

RU-U1-113365

CN-U-209878669

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:

**ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ  
ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ  
"АЛТЕК" (RU)**

(72) Изобретатель:

**Казаченко Александр Теодорович  
(RU)**

(74) Представитель:

**Казаков Р.В. (RU)**

---

(57) Изобретение относится к области вихретокового неразрушающего контроля элементов колесных пар рельсового транспорта при их производстве, эксплуатационном ремонте (текущем, среднем, капитальном) и профилактическом контроле, в том числе при потоковой их организации. Устройство вихретокового неразрушающего контроля элементов колесных пар рельсового транспорта с применением нейронной сети содержит блок вихретоковых преобразователей (1), блок фильтрации (2) и блок порогового контроля (3), блок визуализации и интерфейса пользователя (6), а также блок расчета весовых коэффициентов (8), в блоке формализации входного сигнала (4) вычисляются геометрические параметры сигнала от несплошности по его годографу в виде вектора, содержащего семь значений. Блок классификатора сигналов нейронной сети (5) выполнен в виде устройства классификации реальных допустимых и недопустимых эксплуатационных дефектов, уровень сигнала от которых превысил браковочный уровень, для предварительного обучения и оперативного переобучения нейронной сети блок архива дефектов (7) содержит геометрические параметры маркированных сигналов от реальных допустимых и недопустимых эксплуатационных дефектов, аналогичных геометрическим параметрам блока формализации входных сигналов (4), полученных ранее в результате штатной вихретоковой дефектоскопии элементов колесных пар на вагоноремонтных предприятиях, в блоке контроля метрики качества классификации сигналов нейронной сети (9) устанавливаются ограничения значений весовых коэффициентов для снижения вероятности пропуска недопустимого дефекта и перебраковки. Достигнутым техническим результатом является сокращение времени и уменьшение перебраковки и пропуска недопустимых дефектов вихретокового неразрушающего контроля элементов колесных пар рельсового транспорта при производстве и эксплуатации, в том числе при потоковой их организации, устранив при этом влияние человеческого фактора.

---

**B1**

**044345**

**044345**

**B1**

Изобретение относится к области вихретокового неразрушающего контроля элементов колесных пар рельсового транспорта. Изобретение может быть использовано в области ручного, механизированного и автоматического вихретокового неразрушающего контроля различных элементов колесных пар рельсового транспорта, а именно свободных осей, колес, колёсных пар в сборе грузовых и пассажирских вагонов, тягового и моторвагонного железнодорожного подвижного состава, вагонов метрополитена, трамвая, рельсовых автобусов и др. при их производстве, ремонте (текущем, среднем, капитальном), профилактическом контроле после определенного пробега колесной пары, в том числе при организации поточного производства и эксплуатационного ремонта колесных пар.

Элементы колесных пар являются одними из самых нагруженных и ответственных деталей рельсового транспорта, от исправной работы которых зависит безопасность перевозок, осуществляемых рельсовым транспортом. Результаты компьютерного моделирования разрушения колесной пары, стендовые прочностные испытания элементов колесных пар и анализ статистики крушений рельсового транспорта показали необходимость выявления зарождающихся и мелких поверхностных дефектов в виде несплошностей элементов конструкции колесной пары. Среди общего количества эксплуатационных дефектов, примерно, 97% из общего количества являются поверхностные дефекты и несвоевременное их выявление, как показал опыт эксплуатации, приводит к разрушению элементов колесной пары, что влечет за собой катастрофические последствия в виде сходов, крушений подвижных составов и человеческих жертв.

В настоящее время, в условиях острой конкуренции ремонтных депо за объемы ремонта подвижного состава, особое значение приобретают предприятия, где организован поточный метод ремонта с низкой себестоимостью работ. При этом, на первое место выходит фактор времени неразрушающего контроля колесной пары рельсового транспорта, как самого трудоемкого и ответственного узла при ремонте. Безусловным остается обеспечение высокого качества контроля, что достигается прежде всего устранением влияния человеческого фактора на результаты вихретоковой дефектоскопии. Нормативное время вихретокового неразрушающего контроля колесной пары установлено отраслевыми нормативными документами с учетом присутствия человеческого фактора и перебраковки. Главная задача, которая ставится ремонтными предприятиями перед разработчиками средств вихретоковой дефектоскопии, это снижение времени контроля и уменьшение перебраковки (признание годной колесной пары браком) и ликвидация пропуска недопустимых дефектов (признание бракованной колесной пары годной), за счет создания устройств вихретокового неразрушающего контроля элементов колесных пар, исключаящее влияние человеческого фактора. Поставленная задача наиболее актуальна при потоковой организации производства и ремонта колесных пар.

Из уровня техники известен патент РФ № 2744644 (МПК G01N 17/10 (2021/01), G01N 27/90 (2021/01)) "Автоматизированный комплекс неразрушающего контроля колёсных пар вагонов".

Комплекс реализует автоматизированное одновременное сканирование вихретоковыми преобразователями всех зон неразрушающего контроля элементов колесных пар вагонов, выявляя поверхностные несплошности (нарушение поверхности) любой ориентации всех открытых поверхностей колёсной пары, элементы которой имеют как простой, так и сложный профиль.

К достоинствам комплекса можно отнести возможность автоматизированного вихретокового неразрушающего контроля всех элементов колесных пар с тормозными дисками и без них, с голой шейкой и с напрессованными на них кольцами подшипника, с буксовыми узлами и без них и т.д. Кроме того, оператор может использовать данные из блока архива дефектов искусственного происхождения (пропилы) и сравнить их с сигналами от несплошностей, обнаруженных в процессе контроля.

К недостаткам известного изобретения необходимо отнести большое время контроля колесной пары, которые обусловлены участием оператора во всех процессах анализа и классификации большого количества сигналов, превышающих браковочный уровень, поступающих в процессе контроля от каждого вихретокового преобразователя каждой несплошности в каждой зоне. Кроме того, использование блока архива дефектов, которые имеют искусственное происхождение, т.е. не являются реальными эксплуатационными дефектами, не способствует снижению вероятности перебраковки и пропуска недопустимых дефектов в процессе вихретоковой дефектоскопии колесных пар вагонов.

Из уровня техники известен патент RU 2377554 C2 "Способ вихретокового контроля". Известное изобретение сможет быть использовано для выявления дефектов в электропроводящих изделиях, например, в оболочках тепловыделяющих элементов атомных реакторов.

К достоинствам способа можно отнести то, что в процессе работы импульсного вихретокового контроля распознавание дефекта осуществляется на основе анализа годографа мгновенных амплитуд выходного импульса проходного дифференциального преобразователя, расположенного на двух взаимно перпендикулярных осях в виде кривой, имеющей форму "восьмерки". Выбирают часть кривой, которая формируется на участке между максимумом и минимумом сигнала от дефекта, определяя знак кривизны участка кривой в окрестности начала координат путем аппроксимации полиномом 2-й степени вида  $ax^2+bx+c$  и по знаку коэффициента судят о типе дефекта "сквозное" или "несквозное" отверстие.

К недостаткам известного способа можно отнести то, что данный способ обнаруживает только два типа отверстий в цилиндрической поверхности - "сквозное" или "несквозное" отверстие, в то время как

дефект типа "трещина" (оно не является отверстием), является наиболее опасной при эксплуатации объектов контроля, но обнаружению данным способом не подлежит. Основной причиной этого недостатка является малое количество геометрических параметров годографа сигнала, а точнее всего один. Анализ сигнала от несплошности осуществляется по одному нелинейному параметру (участка кривой) годографа. Малая информативность не позволяет отличить допустимый тип дефекта от недопустимого, кроме того, оценка годографа осуществляется оператором, что увеличивает время и ухудшает качество вихретокового неразрушающего контроля и не применимо в потоковом производстве.

Из уровня техники известен патент RU 2012136090 А "Способ контроля метрологических характеристик систем управления электроприводами переменного тока".

К достоинствам известного способа можно отнести то, что определение и анализ метрологических характеристик каналов контроля и управления системы "преобразователь частоты - асинхронный двигатель" осуществляются на основании геометрических параметров расчетно-экспериментального годографа, к которым относят площадь, форму, значения углов между базовыми векторами, коэффициент эллиптичности. Сравнивая параметры эталонного расчетно-экспериментального годографа поверенного электродвигателя с аналогичными параметрами электродвигателя, подлежащего метрологической поверке. Определяются погрешности отклонения основных параметров, на основе чего делается заключение о соответствии или несоответствии метрологических параметров установленным методикой поверки.

К недостаткам можно отнести большое время проведения контроля и оценки его погрешности, за счет участия человека в построении расчетно-экспериментального годографа электродвигателя подлежащего метрологической поверке, кроме того выбранные геометрические параметры годографа (площадь, форма и коэффициента эллиптичности) для вихретокового неразрушающего контроля мало информативны, а значит практически не применимы.

Из уровня техники известен патент РФ RU 2656990 С1 "Система и способ для искусственной нейронной сети, инвариантной к сдвигу".

Данное изобретение относится к области машинного обучения. В частности, настоящее изобретение относится к обработке и распознаванию сигналов, таких как изображения, видео или звук, с помощью нейронной сети. К достоинствам данного изобретения можно отнести, что вместо операции свертки, требующая объемных вычислений, автор применил операции сдвига и линейной взвешенной суммы, за счет чего не используются слои нейронной сети с трудоемкими операциями свертки, что приводит к меньшим вычислительным затратам при сохранении высокой точности распознавания.

К недостаткам следует отнести большое время необходимое на обработку и классификацию нейронной сетью сигналов - образов, представленных 2D и 3D размерными матрицами. Для обучения предложенной нейронной сети требуется большое количество реальных данных, но автор использует данные искусственного происхождения, что увеличивает время классификации и ухудшает точность, при этом требуется участие экспертов.

Из уровня техники известна "Автоматизированная система вихретоковой дефектоскопии магнитных материалов в линиях по их производству на основе вихретокового дефектоскопа ВД-41П" (Шубочкин Андрей Евгеньевич "Развитие методов и средств вихретокового и магнитного контроля металлопроката для оценки его остаточного ресурса", докторская диссертация, опубл. 2014, с. 60-112, с. 183-192). Данная автоматизированная система является как наиболее близким по максимальному числу сходных существенных признаков созданного решения, так и по существенным признакам в большей степени по сравнению с другими, влияющими на достижение технического результата, ожидаемого при использовании созданного решения.

Известное решение содержит блок вихретоковых преобразователей, блок фильтрации, блок порогового контроля, блок формализации входных сигналов, блок классификатора сигналов нейронной сети, блок визуализации и интерфейса пользователя, который выполнен на базе ПЭВМ, а так же блок экспертного пополнения архива дефектов, в который эксперты заносят образы сигналов, не распознанных классификатором нейронной сети, блок архива дефектов, блок расчета весовых коэффициентов.

Известная система работает следующим образом. Массив данных, полученный с вихретоковых преобразователей от несплошностей объекта контроля, проходит процедуру фильтрации и порогового контроля, затем данные, превышающие браковочный уровень поступают в блок формализации входных сигналов, где преобразуются в двумерную стохастическую матрицу образа сигнала от несплошности, при этом каждый элемент матрицы соответствует показанию преобразователя в дискретной точке области образца с дефектом, а все элементы составляют двумерный массив, целиком покрывающий исследуемый вихретоковый сигнал от несплошности, далее стохастическая матрица образа сигнала поступает на вход предварительно обученного классификатора многослойной сверточной сети, с выхода которой результаты классификации поступают на вход блока визуализации и интерфейса пользователя, построенного на базе ЭВМ.

Обучение нейронной сети осуществляется на основе блока архива дефектов, содержащего двумерные массивы моделей эталонных дефектов или нескольких характерных образов дефектов, встречающихся при изготовлении объекта контроля. Если классификатор нейронной сети не смог распознать сигнал (брак или годен), то его идентификацию осуществляют эксперты и процесс вихретокового контроля останавливается, если контроль осуществлялся непрерывно.

К достоинствам известного изобретения можно отнести создание большой номенклатуры вихретоковых преобразователей для сварных труб и прутков разного диаметра при их производстве, возможность автоматизированной классификации при помощи искусственной нейронной сети сигналов от несплошностей, полученных при изготовлении объекта контроля, использование для обучения нейронной сети блока архива дефектов в виде моделей эталонных образов и характерных дефектов, полученных при изготовлении объекта контроля.

Недостатками известного устройства является большое время контроля из за активного участия оператора и отсутствие методов и средств по снижению вероятности пропуска недопустимых дефектов и перебраковки при потоковой организации вихретоковой дефектоскопии объекта контроля при эксплуатационном ремонте.

Задачей, решаемой предлагаемым устройством, является создание устройства с малым временем контроля и с минимальной вероятностью перебраковки и пропуска недопустимого дефекта вихретокового неразрушающего контроля элементов колесных пар рельсового транспорта при производстве и эксплуатации, в том числе при потоковой организации ремонта, устранив при этом влияние человеческого фактора.

Поставленная задача решается за счет того, что предлагаемое устройство для неразрушающего контроля колесных пар вагонов рельсового транспорта также, как и известное решение содержит последовательно соединенные блок вихретоковых преобразователей, блок фильтрации, блок порогового контроля, блок формализации входных сигналов, блок классификатора сигналов нейронной сети, блок визуализации и интерфейса пользователя, кроме того блок архива дефектов соединен с блоком расчета весовых коэффициентов нейронной сети.

От известного решения предлагаемое устройство отличается тем, что дополнительно введен блок контроля метрики качества классификации сигналов нейронной сети вход и выход которого соединены соответственно с выходом блока расчета весовых коэффициентов и с вторым входом блока классификатора нейронной сети, блок формализации входного сигнала выполнен в виде вычислителя геометрических параметров двух замкнутых контуров годографа сигнала от несплошности, образующих "восьмерку" на комплексной плоскости: тангенсов углов наклона первого и второго замкнутых контуров относительно вещественной оси, максимальных и минимальных длин отрезков прямых, соединяющих центры масс первого и второго замкнутых контуров годографа с точками на их кривых соответственно, а также тангенса общего угла наклона всего годографа относительно вещественной оси комплексной плоскости, блок архива дефектов выполнен в виде архива маркированных векторов геометрических параметров годографов сигналов от реальных допустимых и недопустимых эксплуатационных дефектов, аналогичных геометрическим параметрам блока формализации входных сигналов, блок классификатора сигналов нейронной сети выполнен в виде устройства классификации реальных допустимых и недопустимых эксплуатационных дефектов, уровень сигнала от которых превысил браковочный уровень.

Достигнутым техническим результатом является сокращение времени и уменьшение перебраковки и пропуска недопустимых дефектов вихретокового неразрушающего контроля элементов колесных пар рельсового транспорта при производстве и эксплуатации, в том числе при потоковой их организации, устранив при этом влияние человеческого фактора.

Изобретение проиллюстрировано чертежом на фиг. 1. Устройство вихретокового неразрушающего контроля элементов колесных пар рельсового транспорта содержит блок вихретоковых преобразователей 1, в котором содержатся генераторы и соответствующие приемники вихретоковых сигналов, а также контактные и (или) бесконтактные вихретоковые преобразователи, установленные в ответственных зонах элементов колесной пары. Сигнал от несплошности, обнаруженный вихретоковым преобразователем, из блока 1 поступает на вход блока фильтрации 2. В блоке 2 производится полосовая и медианная фильтрация с разными апертурами. После фильтрации "очищенные" от частотных и импульсных помех сигналы поступают в блок порогового контроля 3, где, например, согласно нормативной документации, для вихретоковых преобразователей, размещенных в разных зонах вихретокового контроля элементов колесных пар, установлен разный пороговый браковочный уровень. В итоге получаем "маску" всех сигналов в виде нулей, если они ниже браковочного уровня и единиц, если сигналы выше браковочного уровня. Если событий превышения порогового браковочного уровня больше одного, то с помощью "маски" создается словарь, который анализируется в определенной очередности и после нормирования полученных сигналов они поступают на вход блока формализации входных сигналов 4. Этот блок выполнен в виде вычислителя геометрических параметров двух замкнутых контуров годографа сигнала от несплошности, образующих "восьмерку" на комплексной плоскости. На фиг. 2 изображен типовой годограф, состоящий из двух замкнутых контуров сигнала от несплошности, образующих "восьмерку" на комплексной плоскости. Вычисление геометрических параметров осуществляется следующим образом.

Тангенс общего угла наклона всего годографа относительно вещественной оси, образующего "восьмерку" на комплексной плоскости ( $Re$ ,  $Im$ ) рассчитываем как

$$tg\alpha_0 = \frac{\sum_{i=1}^n Re_i Im_i}{(\sum_{i=1}^n Re_i)^2},$$

где ( $Re_i$ ,  $Im_i$ ) - все точки, образующие годограф.

Затем все значения годографа сигнала от несплошности на комплексной плоскости условно разделим на первый и второй замкнутые контуры относительно ортогональной линии  $Im = -\frac{Re}{tg\alpha_0}$ :

$$(Re, Im) = \begin{cases} (Re_1, Im_1), & \text{где } \forall Re_1 < -tg\alpha_0 * Im_1 \\ (Re_2, Im_2), & \text{где } \forall Re_2 > -tg\alpha_0 * Im_2 \end{cases},$$

где  $(Re_1, Im_1)$  и  $(Re_2, Im_2)$  - точки годографа, разделенные линией  $Im = -\frac{Re}{tg\alpha_0}$ .

Далее вычисляются тангенсы углов наклона первого замкнутого контура годографа  $tg\alpha_1$  и второго замкнутого контура годографа  $tg\alpha_2$  относительно вещественной оси комплексной плоскости

$$\begin{cases} tg\alpha_1 = \frac{n_1 * \sum_{i=1}^{n_1} Re_{1,i} Im_{1,i} - \sum_{i=1}^{n_1} Re_{1,i} \sum_{i=1}^{n_1} Im_{1,i}}{n_1 * \sum_{i=1}^{n_1} Re_{1,i}^2 - (\sum_{i=1}^{n_1} Re_{1,i})^2} \\ tg\alpha_2 = \frac{n_2 * \sum_{i=1}^{n_2} Re_{2,i} Im_{2,i} - \sum_{i=1}^{n_2} Re_{2,i} \sum_{i=1}^{n_2} Im_{2,i}}{n_2 * \sum_{i=1}^{n_2} Re_{2,i}^2 - (\sum_{i=1}^{n_2} Re_{2,i})^2} \end{cases},$$

где  $n_j$  - число элементов множества  $(Re_j, Im_j)$ , а  $Re_{j,i}$  и  $Im_{j,i}$  -  $i$ -я точка множества  $(Re_j, Im_j)$ ,  $j$  принимает значение 1 для первого замкнутого контура и 2 для второго замкнутого контура, соответственно.

Максимальная длина отрезков прямых, соединяющих центр масс первого замкнутого контура  $L_1$  и второго замкнутого контура  $L_2$  с точками на соответствующих кривых замкнутых контуров годографа сигнала от несплошности, вычисляется следующим образом:

$$\begin{cases} L_1 = \max (\sqrt{(Re_1 - \overline{Re}_1)^2 + (Im_1 - \overline{Im}_1)^2}) \\ L_2 = \max (\sqrt{(Re_2 - \overline{Re}_2)^2 + (Im_2 - \overline{Im}_2)^2}) \end{cases},$$

где  $\max (\sqrt{(Re_j - \overline{Re}_j)^2 + (Im_j - \overline{Im}_j)^2})$  - максимальная длина отрезка, соединяющего центр масс контура с точкой на его кривой соответственно, радиус-вектора от начала координат для множества точек  $(Re_j, Im_j)$ , а  $\overline{Re}_j$  и  $\overline{Im}_j$  - средние значения реальной и мнимой компонент для  $j$ -го контура, вычисляемые по формулам  $\overline{Re}_j = \frac{1}{n_j} \sum_{i=1}^{n_j} Re_i$  и  $\overline{Im}_j = \frac{1}{n_j} \sum_{i=1}^{n_j} Im_i$ , где  $j$  принимает значение 1 для первого замкнутого контура и 2 для второго замкнутого контура, соответственно.

Минимальные длины отрезков, соединяющих центры масс первого замкнутого контура  $W_1$  и второго замкнутого контура  $W_2$  с точками на соответствующих кривых годографа сигнала от несплошности, вычисляются аналогичным образом

$$\begin{cases} W_1 = \min (\sqrt{(Re_1 - \overline{Re}_1)^2 + (Im_1 - \overline{Im}_1)^2}) \\ W_2 = \min (\sqrt{(Re_2 - \overline{Re}_2)^2 + (Im_2 - \overline{Im}_2)^2}) \end{cases},$$

где  $\min (\sqrt{(Re_j - \overline{Re}_j)^2 + (Im_j - \overline{Im}_j)^2})$  - минимальная длина отрезка, соединяющего точку контура с его центром масс.

Малое количество параметров (всего семь), которые вычисляются при помощи несложных операций линейной алгебры, позволяют упростить архитектуру классификатора нейронной сети, существенно сократить время вычислений и общее время контроля. В отличие от известных аналогов, которые представляют вихретоковые сигналы от несплошностей в виде образов, т.е. многомерных матриц, используя при операциях с ними объемные вычисления, заявленное изобретение позволяет отказаться от операций с матрицами, а использовать, вместо них итоговый вектор, состоящий из семи значений. Кроме того, сложные и трудоемкие многослойные нейронные сети, например, типа сверточной, в данном случае можно заменить на простую по архитектуре нейронную сеть, например, типа многослойный перцептрон без потери ее точности и при этом, сократив время классификации. Таким образом итоговый вектор геометрических параметров двух замкнутых контуров годографа сигнала от несплошности ( $tg\alpha_0, tg\alpha_1, tg\alpha_2, L_1, L_2, W_1, W_2$ ) подается на вход блока классификатора сигналов нейронной сети 5, которая осуществляет автоматический анализ и классификацию данного сигнала.

Далее с выхода блока 5 результат классификации поступает на вход блока визуализации и интерфейса пользователя 6, где отображаются зона элемента колесной пары и координаты обнаруженного дефекта либо его отсутствие.

Качество работы всей нейронной сети и ее классификатора, в частности, неразрывно связано с предварительным обучением и переобучением во время работы устройства. В данном случае обучение и переобучение осуществляется "учителем". В качестве "учителя" выступает блок архива дефектов 7. Хорошо известны решения, где при обучении нейронной сети используют данные искусственных (эталонных) дефектов в виде их образов или только нескольких типовых дефектов (характерных для изготовления объекта контроля), а так же человека или математические модели дефектов. В отличие от известных

решений в заявленном изобретении блок архива дефектов 7 выполнен в виде архива промаркированных геометрических параметров годографов сигналов от реальных допустимых и недопустимых эксплуатационных дефектов в виде  $[(tg\alpha_{0,n}, tg\alpha_{1,n}, tg\alpha_{2,n}, L_{1,n}, L_{2,n}, W_{1,n}, W_{2,n}) > (class_n)]$ , где  $n$  - номер дефекта,  $(class_n)$  - маркер допустимого или недопустимого дефекта, т.е. аналогичных геометрическим параметрам блока формализации входных сигналов 4. Важно отметить, что блок 7 содержит параметры всего многообразия недопустимых и допустимых дефектов, всех подконтрольных зон, всех разновидностей элементов колесных пар рельсового транспорта, разрешенных к эксплуатации и полученных в результате многолетнего вихретокового неразрушающего контроля при штатном эксплуатационном ремонте элементов колесных пар рельсового транспорта на множестве вагоноремонтных предприятий ОАО "РЖД", ГУП "Метрополитен", Горэлектротранса и т.д.

В процессе предварительного обучения нейронной сети из блока архива дефектов 7, промаркированные геометрические параметры годографов сигналов от реальных допустимых и недопустимых эксплуатационных дефектов, в блок расчета весовых коэффициентов 8. Далее вычисленные весовые коэффициенты нейронной сети поступают в блок контроля метрики качества классификации сигналов нейронной сети 9. В связи с тем, что пропуск колесной пары с недопустимым дефектом в эксплуатацию напрямую влияет на безопасность движения рельсового транспорта, так как это может иметь фатальные последствия (гибель людей или техногенные катастрофы), весовые коэффициенты нейронной сети должны быть отобраны с учетом требований метрики качества. Результаты расчетов и экспериментальная их проверка позволили определить оптимальные (это незначительное увеличение времени контроля при достижении максимальной безопасности движения рельсового транспорта) значения метрики качества классификации. В целях устранения пропуска недопустимого дефекта установлено значение  $Sensitivity \geq 0,99$ , а для снижения перебраковки установлены значения  $Accuracy \geq 0,9$  и  $Specificity \geq 0,85$ , на основании которых должны быть отобраны весовые коэффициенты. При этом  $Sensitivity = TP/(TP+FN)$ ,  $Accuracy = (TP+FN)/(TP+FN+FP+FN)$  и  $Specificity = TN/(TN+FP)$ , где  $TP$  - истинно положительный (недопустимый дефект верно обнаружен),  $FP$  - ложно положительный (дефект допустимый или отсутствует и неверно классифицирован),  $TN$  - истинно отрицательный (дефект допустимый или отсутствует верно классифицирован),  $FN$  - ложно отрицательный (дефект пропущен).

Отобранные таким образом весовые коэффициенты поступают из блока контроля метрики качества классификации сигналов нейронной сети 9 на второй вход блока классификатора сигналов нейронной сети 5. В отличие от известных решений заявленный блок классификатора сигналов нейронной сети 5, предварительно обученный на параметрах блока архива дефектов 7, выполнен в виде устройства способного отличать с высокой точностью недопустимые дефекты от допустимых, уровень сигнала которых превысил браковочный уровень. Известно, что реальные допустимые эксплуатационные дефекты (глубокие царапины, выбоины, вмятины от ударов и т.д.) в целом ряде случаев превышают браковочный уровень, но не вызваны усталостью металла, а носят "рукотворный" характер. Допустимыми они являются по причине, того что, возникая в процессе эксплуатации, они не ведут к разрушению элементов колесных пар рельсового транспорта и специалисту в данной области техники хорошо известна эта проблема, которая порождает высокий процент перебраковки и требует значительных затрат времени контроля и обязательного участия оператора в классификации подобных допустимых дефектов. Это резко увеличивает время контроля и делает невозможным организацию нормированного поточного эксплуатационного ремонта, где время контроля колесной пары строго определено. В предлагаемом решении участие оператора в анализе дефекта, превысившего браковочный уровень, не требуется, так как блок классификатора сигналов нейронной сети 5 обучен самостоятельно решать эту задачу. Блок архива дефектов 7, обученный на его основе блок классификатора сигналов нейронной сети 5 и наличие блока контроля метрики качества классификации сигналов нейронной сети 9 позволяют практически устранить влияние человеческого фактора на результаты и сократить время вихретокового неразрушающего контроля элементов колесных пар рельсового транспорта.

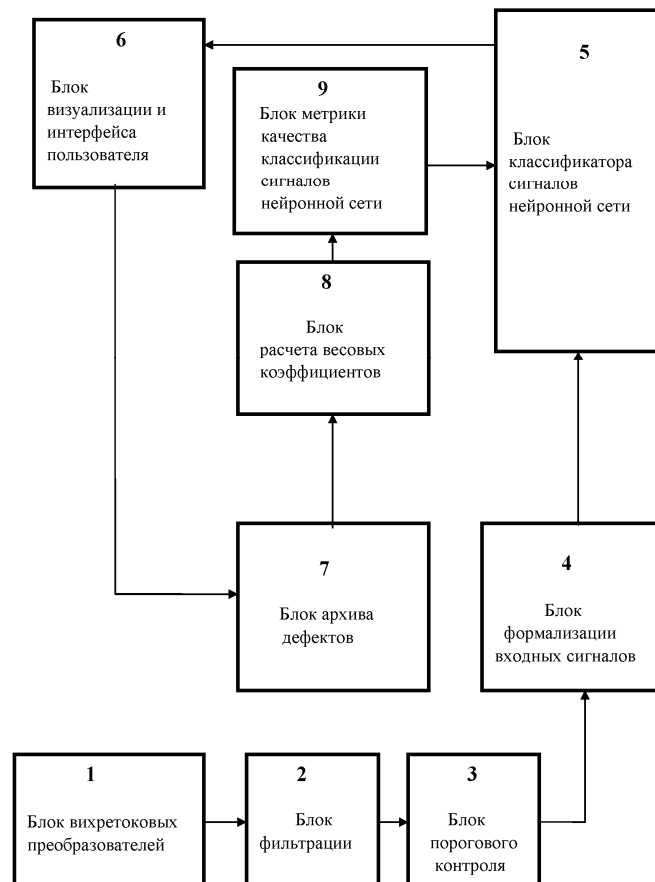
Важно отметить, в отличие от известных решений предлагаемое устройство позволяет производить переобучение классификатора нейронной сети в реальном масштабе времени (без остановки дефектоскопии колесной пары) вихретокового неразрушающего контроля колесных пар рельсового транспорта. Если в процессе контроля блок классификатора сигналов нейронной сети 5 не распознает сигнал, которого нет в блоке архива дефектов 7, то неопознанный сигнал с выхода блока визуализации и интерфейса пользователя 6 автоматически попадает на вход блока архива дефектов 7 и запускается процедура пересчета весовых коэффициентов в блоке 8. Далее результаты расчета проверяются в блоке контроля метрики качества классификации сигналов нейронной сети 9, а затем результаты проверки попадают через второй вход блока классификатора сигналов нейронной сети 5. После чего колесная пара проходит частично повторный вихретоковый неразрушающий контроль, где классификатор сигналов нейронной сети обучен распознавать, неизвестный ранее, сигнал от дефекта. Вся операция по переобучению классификатора нейронной сети осуществляется в реальном масштабе времени и занимает, примерно, 10% от общего времени контроля колесной пары, в то время как среднее время контроля и показатель перебраковки заявленное устройство снижает при этом многократно и без участия человека.

Заявленное устройство, согласно совокупности отличительных признаков, позволяет получить технические преимущества перед известными решениями.

Достигнутым техническим результатом является сокращение времени и уменьшение перебраковки и пропуска недопустимых дефектов вихретокового неразрушающего контроля элементов колесных пар рельсового транспорта при производстве и эксплуатации, в том числе при потоковой их организации, устранив при этом влияние человеческого фактора.

#### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

Устройство вихретокового неразрушающего контроля элементов колесных пар рельсового транспорта, содержащее последовательно соединенные блок вихретоковых преобразователей, блок фильтрации, блок порогового контроля, блок формализации входных сигналов, блок классификатора сигналов нейронной сети, блок визуализации и интерфейса пользователя, а также содержащее блок архива дефектов, соединенный с блоком расчета весовых коэффициентов, отличающееся тем, что дополнительно введен блок контроля метрики качества классификации сигналов нейронной сети, вход и выход которого соединены соответственно с выходом блока расчета весовых коэффициентов и с вторым входом блока классификатора нейронной сети, блок формализации входного сигнала выполнен в виде вычислителя геометрических параметров двух замкнутых контуров годографа сигнала от несплошности, образующих "восьмерку" на комплексной плоскости: тангенсов углов наклона первого и второго замкнутых контуров относительно вещественной оси, максимальных и минимальных длин отрезков прямых, соединяющих центры масс первого и второго замкнутых контуров годографа с точками на их кривых соответственно, а также тангенс общего угла наклона всего годографа относительно вещественной оси комплексной плоскости, блок архива дефектов выполнен в виде архива маркированных геометрических параметров годографов сигналов от реальных допустимых и недопустимых эксплуатационных дефектов, аналогичных геометрическим параметрам блока формализации входных сигналов, а блок классификатора сигналов нейронной сети выполнен в виде устройства классификации реальных допустимых и недопустимых эксплуатационных дефектов, уровень сигнала от которых превысил браковочный уровень.



Фиг. 1

