

# ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ  
СОБСТВЕННОСТИ

(19) ВУ (11) 8659

(13) U

(46) 2012.10.30

(51) МПК

G 01C 22/02 (2006.01)

G 01C 23/00 (2006.01)

## (54) ЭЛЕКТРОННЫЙ ОДОМЕТР ДЛЯ ВНУТРИТРУБНОГО СНАРЯДА

(21) Номер заявки: u 20120328

(22) 2012.03.29

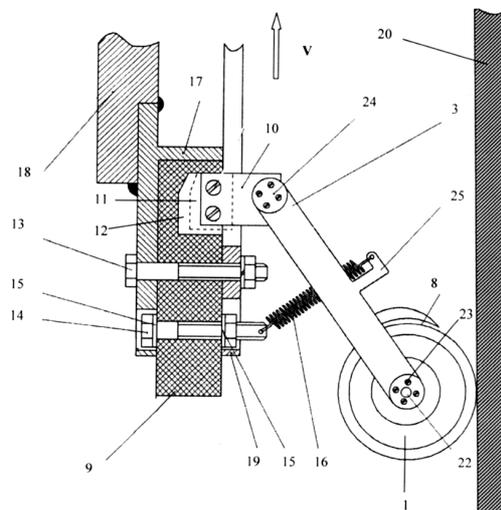
(71) Заявитель: Белорусский государственный университет (ВУ)

(72) Авторы: Анищик Виктор Михайлович;  
Ярмолович Вячеслав Алексеевич (ВУ)

(73) Патентообладатель: Белорусский государственный университет (ВУ)

(57)

Электронный одометр для внутритрубного снаряда, содержащий колесо из металла, полулю немагнитную ось, укрепленную на рычаге, с прикрепленным к ней с внутренней стороны неподвижным относительно оси магниточувствительным преобразователем, демпфирующее устройство, выполненное в виде рычага, прикрепленного к эластичной манжете с помощью кронштейна и щек со шпильками и шайбами и пружины, прикрепленной к эластичной манжете с помощью двух утолщенных шайб, прижатых к двум плоскостям эластичной манжеты с помощью шпильки, входящей в соосные отверстия, выполненные в стальном круговом ободе, приваренном к гермоконтейнеру, и круговой наладке, при этом угол между осями пружины и рычага равен  $90^\circ$ , а осевая линия рычага составляет угол  $45^\circ$  с продольной осью трубопровода, причем полая ось одометра жестко крепится к рычагу и через нее проходят электрические провода, служащие для передачи выходных сигналов, поступающих в гермоконтейнер через соединительный герметичный разъем, а подвижная часть колеса одометра соединена с полую ось через посредство двух подшипников и состоит из двух крышек, к которым винтами прикрепляются заглушки, в которые вставлены сальники, обеспечивающие сохранение смазки шарикоподшипников, отличающийся тем, что колесо выполнено из цветного металла в виде кольца с



Фиг. 1

## BY 8659 U 2012.10.30

немагнитными крышками и нанесенным на внешнюю поверхность кольца износостойким рифленным слоем с высоким коэффициентом трения, а внутренняя поверхность кольца содержит ориентированные параллельно оси колеса расположенные равномерно на одинаковых расстояниях друг от друга куски бистабильной в магнитном отношении ферромагнитной проволоки Виганда, состоящей из магнитомягкой сердцевины с небольшой коэрцитивной силой и магнито жесткой оболочки, а магниточувствительный преобразователь выполнен в виде миниатюрной катушки из медной проволоки и двух одинаковых постоянных магнитов, размещенных в непосредственной близости по обе стороны от катушки параллельно ее оси и осям проволок соответственно, причем полюса магнитов ориентированы противоположно, а стороны магнитов, обращенные к внутренней стороне кольца, выполнены выпуклыми с радиусом, приближенно равным внутреннему радиусу кольца колеса, а количество проволок Виганда  $P$  выбрано из диапазона  $36 \leq P < 2\pi R / (V \cdot \Delta t)$ , где  $V$  - максимально возможная линейная скорость перемещения одометра,  $\Delta t$  - длительность электрического импульса, генерируемого в катушке,  $R$  - внешний радиус колеса одометра с износостойким покрытием.

(56)

1. Электронный ресурс: Сайт в Интернете [http: www.aprodit.ru](http://www.aprodit.ru).
2. Снаряд-дефектоскоп "Крот СК 1000". Техническое описание и инструкция по эксплуатации. РНКШ 1010.00.00.00.00 ГО. ООО "Газприборавтоматикасервис". - Саратов, 2003. - 64 с.
3. Патент RU 2334980, МПК G 01N 27/83, F 17D 5/02, G 01B 7/14, 2008 (прототип).
4. Баранчиков М.Л. Микромагнитоэлектроника. Т. 1. - М.: ДМК Пресс, 2001. - 544 с.

---

Заявляемая полезная модель относится к области неразрушающего контроля нефтегазопроводов и может быть использована для целей определения пройденного расстояния на борту внутритрубного снаряда-дефектоскопа или профилемера.

Известен электронный одометр [1] 6-8.ОДО.00-000 для трубопроводов диаметром 156-219 мм, который устанавливается на внутритрубные снаряды (профилемеры, дефектоскопы и др.) для измерения пройденной дистанции и предназначен для эксплуатации в трубопроводах, по которым транспортируется нефть, нефтепродукты, газоконденсат, а также вода при различных давлениях и температуре. При движении внутритрубного снаряда одометрические колеса катятся по стенке трубопровода. Вместе с колесом вращается ось с магнитом. Встроенная в корпус одометра измерительная микросхема, содержащая датчики Холла, вырабатывает импульсы электрического тока под действием вращающегося магнитного поля. Частота электрических импульсов пропорциональна скорости движения внутритрубного снаряда. Подключение одометра к снаряду производится соединительным кабелем с герметичным разъемом. Надежность работы одометра и срок его службы обеспечены герметичностью корпуса и надежной защитой подшипников измерительного модуля от попадания в них загрязненной рабочей среды. Вал одометра уплотняется износостойким резиновым кольцом специальной формы сечения, обеспечивающим высокую герметичность при малом трении. Для смазки подшипников полость одометра заполнена маслом. Перепады давления среды эксплуатации компенсируются специальным поршнем в корпусе одометра, с помощью которого выравнивается давление внутри и снаружи одометра. Данный одометр может быть установлен на внутритрубные снаряды любого типоразмера от 100 до 1420 мм. Диаметр колеса (от 30 до 150 мм) подбирается исходя из условий эксплуатации, а количество импульсов за оборот колеса (от 32 до 1024) задается программой в зависимости от требуемого разрешения одометра. Давление в среде эксплуатации от 0,5 до 12 МПа. Линейная скорость вращения обода колеса одо-

## BY 8659 U 2012.10.30

метра от 0,1 до 10 м/с. Температура среды эксплуатации от 0 до 50 °С. Напряжение электропитания одометра  $5 \pm 0,5$  В. Ток потребления одометром 16 мА.

Недостатком данного типа одометра является недостаточная надежность и точность из-за проскальзывания колеса на участках трубопровода с жидкостью, при вращении внутритрубного снаряда вокруг продольной оси, повышенное энергопотребление, обусловленное тем, что магниточувствительный преобразователь Холла и схема электроники потребляют ток в непрерывном режиме 16 мА (при напряжении 5 В) и с учетом того, что обычно несколько одометров функционирует в составе внутритрубного снаряда, который является автономным устройством и вся электроника питается от аккумуляторных батарей на всем участке пробега снаряда, то на энергопотребление всех одометров расходуется существенная часть запасенной энергии.

Известен одометр внутритрубного снаряда-дефектоскопа [2]. Он конструктивно представляет собой колесо, установленное в рычаге, который в свою очередь установлен на кронштейне контейнера внутритрубного снаряда-дефектоскопа. В колесе снаряда установлен датчик с встроенным магниточувствительным преобразователем Холла и магнитный диск, который конструктивно состоит из двух металлических дисков и шести магнитов, размещенных между дисками и залитых эпоксидным компаундом. Металлические диски совмещены таким образом, что внутренние зубцы одного диска входят в пазы другого с определенным зазором, создавая 25 магнитных пар. Магниточувствительный преобразователь Холла неподвижно связан с осью колеса одометра, а диск - с вращающимся колесом. При вращении колеса одометра вместе с магнитным диском в датчике вырабатываются импульсы, поступающие в электронный блок по проводам, размещенным в соединителе, и далее в герметичный разъем. Пружина постоянно прижимает колесо одометра к внутренней стенке трубопровода. В кронштейне имеется фиксатор, который предназначен для фиксации одометра только в транспортном положении.

Недостатком данного типа одометра является недостаточная надежность и точность из-за проскальзывания колеса на участках трубопровода с жидкостью, при вращении внутритрубного снаряда вокруг продольной оси, повышенное энергопотребление, обусловленное тем, что магниточувствительный преобразователь Холла и схема электроники потребляют ток в непрерывном режиме свыше 30 мА и с учетом того, что обычно несколько одометров функционирует в составе внутритрубного снаряда, который является автономным устройством и вся электроника питается от аккумуляторных батарей на всем участке пробега снаряда, то энергопотребление необходимо минимизировать.

Наиболее близким по технической реализации к предлагаемому решению является колесный одометр, приведенный в [3] (прототип), который встраивается во внутритрубный снаряд-дефектоскоп.

Устройство содержит колесо с зубчатым диском, выполненным из магнитопроводящей стали, полую ось, укрепленную на рычаге, к этой оси прикреплены два датчика, каждый из которых состоит из двух магниточувствительных преобразователей Холла, расположенных на расстоянии, равном двойной ширине магнита, который расположен на равных расстояниях между преобразователями Холла (при этом датчики смещены по окружности на угол, соответствующий целому числу половинок зубцового шага и сдвигу выходных сигналов датчиков на угол 90 электрических градусов), и блок электроники, в состав которого по меньшей мере входят два предварительных усилителя, дифференциальный усилитель, пиковый детектор отрицательного сигнала, пиковый детектор положительного сигнала, RS-триггер, фильтры питания и формирователь выходного сигнала. При этом в конструкции одометра предусмотрено демпфирующее устройство, которое выполнено в виде рычага, прикрепленного к эластичной манжете с помощью кронштейна и шек со шпильками и шайбами, и пружины, прикрепленной к эластичной манжете с помощью двух утолщенных шайб, прижатых к двум плоскостям эластичной манжеты с помощью шпильки, входящей в соосные отверстия, выполненные в стальном круговом ободе, при-

## BY 8659 U 2012.10.30

варенном к гермоконтейнеру и круговой наладке, при этом угол между осями пружины и рычага равен  $90^\circ$ , а осевая линия рычага составляет угол  $45^\circ$  с продольной осью трубопровода. Колесо одометра с помощью пружины и рычага прижато к внутренней стенке трубопровода. Полая ось одометра жестко крепится к рычагу и через нее проходят электрические провода, которые подводят электрическое питание к датчикам, закрепленным на оси, и служат для передачи выходных сигналов, снимаемых с электронных схем их предварительной обработки. Электронные схемы предварительной обработки сигнала, входящие в состав датчика, позволяют формировать дискретный выходной сигнал при вращении колеса одометра. Подвижная часть колеса одометра соединена с осью через посредство двух подшипников и состоит из двух крышек, к которым винтами прикрепляются заглушки, в которые вставлены сальники, обеспечивающие сохранение смазки шарикоподшипников. В одной из крышек установлен подвижный экран, а на полой оси закреплен на втулке неподвижный экран. Экраны экранируют датчики и плату с электрическими схемами предварительной обработки сигналов от внешних электрических и магнитных помех. С внешней цилиндрической стороны экран соединен сваркой с обечайкой одометра, имеющей на наружной цилиндрической стороне насечки, обеспечивающие ей лучшее сцепление с внутренней поверхностью трубопровода. При этом подвижные части колеса выполнены с высокой точностью, статически и динамически сбалансированы.

Работает устройство следующим образом. При начале движения внутритрубного снаряда по трубопроводу колесо одометра вследствие трения в контакте между трубопроводом и колесом одометра начинает вращаться по часовой стрелке. Зубчатый диск вращается вместе с обечайкой тоже по часовой стрелке, последовательно перекрывает зубцами воздушный зазор между магниточувствительным преобразователем Холла и магнитом. При этом формируется вначале положительная полуволна ЭДС на выходе одного из преобразователей Холла, а затем отрицательная полуволна на выходе другого преобразователя Холла, которые после усиления усилителями соответственно суммируются дифференциальным усилителем, а пиковые детекторы формируют последовательно импульсы, которые устанавливают RS-триггер в состояние 1, а затем в состояние 0. Контроллер осуществляет операцию счета количества оборотов колеса одометра. Подключение одометра к термоконтейнеру снаряда производится соединительным кабелем с герметичным разъемом.

Тем не менее, описанное устройство (прототип) обладает пониженной надежностью в связи с недостаточно высоким уровнем сигнала, величина которого составляет несколько десятков милливольт для среднестатистических датчиков Холла, и соответственно требует сложных схем обработки сигнала и экранировки, чтобы получить требуемую последовательность электрических импульсов. Все это требует значительных затрат в энергопотреблении.

Задачей, решаемой в настоящем изобретении, является повышение надежности электронного одометра одновременно с исключением энергопотребления.

Электронный одометр для внутритрубного снаряда содержит колесо из металла, полую немагнитную ось, укрепленную на рычаге, с прикрепленным к ней с внутренней стороны неподвижным относительно оси магниточувствительным преобразователем, демпфирующее устройство, выполненное в виде рычага, прикрепленного к эластичной манжете с помощью кронштейна и щек со шпильками и шайбами, и пружины, прикрепленной к эластичной манжете с помощью двух утолщенных шайб, прижатых к двум плоскостям эластичной манжеты с помощью шпильки, входящей в соосные отверстия, выполненные в стальном круговом ободе, приваренном к гермоконтейнеру и круговой наладке, при этом угол между осями пружины и рычага равен  $90^\circ$ , а осевая линия рычага составляет угол  $45^\circ$  с продольной осью трубопровода, причем полая ось одометра жестко крепится к рычагу и через нее проходят электрические провода, служащие для передачи выходных сигналов, поступающих в гермоконтейнер через соединительный герметичный

# BY 8659 U 2012.10.30

разъем, а подвижная часть колеса одометра соединена с полкой осью через посредство двух подшипников и состоит из двух крышек, к которым винтами прикрепляются заглушки, в которые вставлены сальники, обеспечивающие сохранение смазки шарикоподшипников.

Электронный одометр для внутритрубного снаряда отличается тем, что колесо выполнено из цветного металла в виде кольца с немагнитными крышками и нанесенным на внешнюю поверхность кольца износостойким рифленным слоем с высоким коэффициентом трения, а внутренняя поверхность кольца содержит ориентированные параллельно оси колеса расположенные равномерно на одинаковых расстояниях друг от друга куски бистабильной в магнитном отношении ферромагнитной проволоки Виганда [4], состоящей из магнитомягкой сердцевины с небольшой коэрцитивной силой и магнито жесткой оболочки, а магниточувствительный преобразователь выполнен в виде миниатюрной катушки из медной проволоки и двух одинаковых постоянных магнитов, размещенных в непосредственной близости по обе стороны от катушки параллельно ее оси и осям проволок соответственно, причем полюса магнитов ориентированы противоположно, а стороны магнитов, обращенные к внутренней стороне кольца, выполнены выпуклыми с радиусом, приближенно равным внутреннему радиусу кольца колеса, а количество проволок Виганда  $P$  выбрано из диапазона  $36 \leq P < 2\pi R / (V \cdot \Delta t)$ , где  $V$  - максимально возможная линейная скорость перемещения одометра,  $\Delta t$  - длительность электрического импульса, генерируемого в катушке,  $R$  - внешний радиус колеса одометра с износостойким покрытием.

По мнению авторов, устройство содержит вышеприведенный ряд новых и отличительных элементов, позволяющих реализовать выполнение поставленной задачи по повышению надежности и исключению энергопотребления (реализован автономный режим работы электронного одометра).

Решение поставленной задачи достигается тем, что в предложенном устройстве магниточувствительный преобразователь имеет значительно более высокий уровень выходного сигнала по сравнению с прототипом (вольты без усиления) и не требует энергопотребления (сам генерирует выходной сигнал), что позволяет изготавливать устройство более надежным, а исключение блока электроники с усилителями и элементами обработки минимизирует количество проводов, проходящих через герморазъем.

Проведенный анализ уровня техники позволил установить, что заявителем не обнаружено аналога, характеризующегося признаками, тождественными всем признакам заявляемого изобретения, а определение из перечня аналогов прототипа позволило выявить совокупность существенных по отношению к усматриваемому заявителем техническому результату отличительных признаков в заявленном устройстве, изложенных в формуле изобретения.

Таким образом, комплексный анализ изложенных отличительных признаков конструкции одометра показывает, что они являются существенными и находятся в прямой причинно-следственной связи с достигаемым техническим результатом. Из уровня техники не выявлено технических решений, отличительные признаки которых в совокупности обеспечивают решение поставленной задачи в заявляемом изобретении, следовательно, можно сделать вывод о соответствии заявляемого изобретения условию патентоспособности "новизна".

Заявляемая полезная модель поясняется чертежами фиг. 1-3.

На фиг. 1 изображена конструкция одометра, прикрепленного к герметичному отсеку внутритрубного снаряда.

На фиг. 2 представлена конструкция колеса одометра.

На фиг. 3 представлена схема расположения магниточувствительного элемента и проволок Виганда.

На фиг. 4 представлена схема перемагничивания проволоки Виганда симметричным магнитным полем как функция времени  $\tau$ .

## BY 8659 U 2012.10.30

На фиг. 5 приведен выходной сигнал устройства U как функция угла поворота электронного одометра.

Устройство содержит колесо из цветного металла 1, выполненное в виде кольца, полую немагнитную ось 2, укрепленную на рычаге 3, с прикрепленными к ней с внутренней стороны неподвижными относительно оси магниточувствительным преобразователем 4, состоящим из первого постоянного магнита 5, второго постоянного магнита 6, расположенного с зазором относительно магнита 5, и миниатюрной катушки 7, размещенной между ними. Магниты 5 и 6 ориентированы полюсами противоположно, причем стороны магнитов, обращенные к внутренней стороне кольца, выполнены выпуклыми с радиусом, приближенно равным внутреннему радиусу кольца колеса  $R_0$  для обеспечения наименьшего расстояния  $d$ , которое желательно поддерживать не более чем 1,5 мм. На ободе колеса 1 установлено износостойкое покрытие 8, например, из полиуретана, обладающее большим коэффициентом трения с внутренней стенкой трубопровода.

Демпфирующее устройство, выполнено в виде рычага 3, прикрепленного к эластичной манжете 9 с помощью кронштейна 10 и щек 11, 12 со шпильками 13, 14, шайбами 15 и пружины 16, прикрепленной к эластичной манжете с помощью двух утолщенных шайб, прижатых к двум плоскостям эластичной манжеты 9 с помощью шпильки 14, входящей в соосные отверстия, выполненные в стальном круговом ободе 17, приваренном к термоконтейнеру 18 и круговой наладке 19, при этом угол между осями пружины 16 и рычага 3 равен  $90^\circ$ , а осевая линия рычага составляет угол  $45^\circ$  со стенкой трубопровода 20, причем полая ось 2 одометра жестко крепится к рычагу 3 и через нее проходят электрические провода 21, служащие для передачи выходных сигналов, поступающих в гермоконтейнер 18 через соединительный герметичный разъем (не изображен), а подвижная часть колеса одометра соединена с полую осью 2 через посредство двух подшипников, находящихся под крышками 22 (с обеих сторон колеса), к которым винтами 23 прикрепляются заглушки, в которые вставлены с внутренней стороны сальники (не изображены), обеспечивающие сохранение смазки шарикоподшипников. Рычаг 3 в средней части имеет коробчатую конструкцию, обеспечивающую при малой его массе высокую жесткость. В верхней и нижней частях рычага 3 имеются шарикоподшипниковые опоры, закрытые крышками 24 и 22 соответственно. Верхний шарикоподшипниковый узел обеспечивает подвижное соединение рычага 3 с кронштейном 10, вмонтированным в полиуретановую манжету 9, например, с помощью шпилек. Со стороны, обращенной к колесу 1 одометра относительно термоконтейнера 18, в шпильке 14 высверлено отверстие, в которое вставляется один конец стяжной пружины 16. Другой конец ее вставляется в отверстие на кронштейне 25, жестко соединенном с рычагом 3.

Количество проволок Виганда 26 (их число  $P$ ) выбрано из условия  $P \geq 36$  из соображений достаточного количества импульсов ЭДС при полном повороте колеса одометра и обычно применяемых размеров колеса, которые зависят от диаметра трубопровода.

Внутренняя поверхность колеса 1 содержит ориентированные параллельно оси колеса расположенные равномерно на одинаковых расстояниях друг от друга куски бистабильной в магнитном отношении ферромагнитной проволоки Виганда [4] 26 (они могут быть закреплены микросваркой или вмонтированы в гибкую металлическую ленту 27, прикрепленную к 1), состоящей из магнитомягкой сердцевины 28 с небольшой коэрцитивной силой и магнито жесткой оболочки 29. Расположение проволок Виганда можно характеризовать углом  $\omega = 360^\circ/P$ .

Устройство работает следующим образом. При начале движения внутритрубного снаряда по трубопроводу 20 со скоростью  $V$  колесо одометра 1 вследствие трения в контакте между трубопроводом 20 и колесом одометра начинает вращаться по часовой стрелке, приводя во вращение куски ферромагнитной проволоки Виганда 26.

Магниточувствительный преобразователь 4 вследствие симметричного перемагничивания ближайшего отрезка проволоки Виганда, при его перемещении относительно маг-

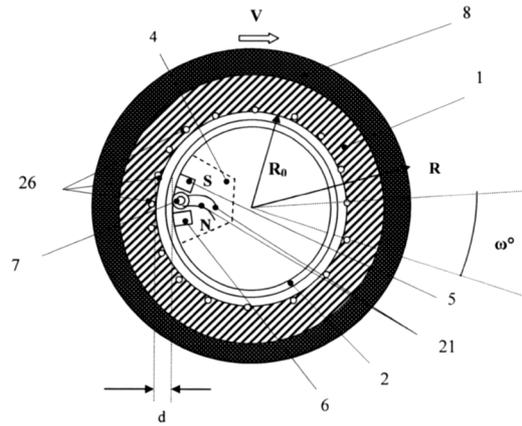
## BY 8659 U 2012.10.30

нитов 5 и 6 генерирует один импульс с большой амплитудой сигнала и один - с маленькой (на полтора порядка меньше). Рассмотрим процесс перемагничивания подробно, что представлено на фиг. 4. В основе функционирования лежит перемагничивание проволоки Виганда большими скачками намагниченности Баркгаузена. Проволока обладает бистабильными магнитными свойствами и характеризуется двумя скачками намагниченности за один цикл перемагничивания. Проволока Виганда состоит из двух областей: магнито-жесткой оболочки 29 с высокой коэрцитивной силой и магнитомягкой сердцевины 28 с низким значением коэрцитивной силы. Проволока Виганда перемещается относительно магнитов 5, 6. Сначала насыщающее магнитное поле первого магнита 5 одной полярности ориентирует полярность сердцевины 28 и оболочки 29 в одном направлении (этап А). В ходе перемещения проволоки к следующему магниту 6 противоположной полярности изменяется полярность приложенного к проволоке магнитного поля. При приближении ко второму магниту 6 напряженность вновь приложенного магнитного поля увеличивается. Это приводит к тому, что сначала переключается полярность стержня (этап Б) и в катушке 7 генерируется импульс напряжения, длительность которого  $\Delta t$  порядка 10 мкс. Затем, при дальнейшем увеличении напряженности поля (по мере приближения ко второму магниту), переключается полярность оболочки (этап В), при этом генерируется импульс гораздо меньшей амплитуды за счет большего времени переключения. В итоге магнитное поле второго магнита 6 полностью насыщает проволоку Виганда (этап Г).

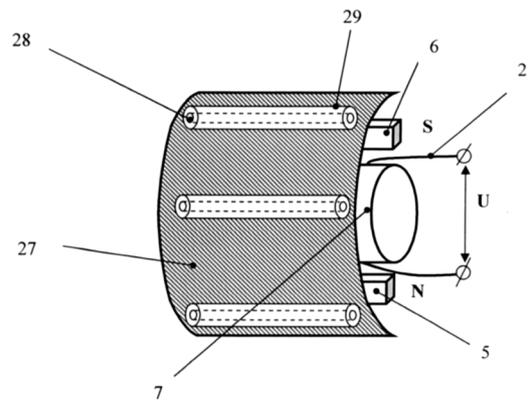
При полном обороте колеса одометра 1 на выходе устройства формируется ряд импульсов положительной полярности амплитудой  $U$ , который представлен на фиг. 5. Измеренный путь одометром пропорционален числу импульсов (обычно считаются только импульсы с большой амплитудой, чтобы отсечь возможные сигналы помех). Чтобы импульсы ни в коей мере не перекрывались необходимо выполнение условия  $\Delta t \cdot P < T$ , где  $T$  - период оборота колеса. Если учесть, что максимальная линейная скорость перемещения внутритрубного снаряда  $V$  (следовательно и одометра) не превышает 10 м/с, то при внешнем радиусе колеса одометра  $R$  (с износостойким покрытием) период не превышает  $T = 2\pi R/V$ , то  $P < 2\pi R/(V \cdot \Delta t)$ . Следовательно, предельное число проволок Виганда  $P$  на колесе 1 электронного одометра ограничено. Таким образом, с учетом получения высокой разрешающей способности по углу число проволок Виганда необходимо выбирать из диапазона  $36 \leq P < 2\pi R/(V \cdot \Delta t)$ , что значительно превышает аналогичную величину у аналогов.

Таким образом, решение поставленной задачи достигается тем, что в предложенном устройстве магниточувствительный преобразователь имеет значительно более высокий уровень выходного сигнала по сравнению с прототипом (вольты без усиления) и не требует энергопотребления (сам генерирует выходной сигнал), что позволяет изготавливать устройство более надежным и исключить энергопотребление, что очень важно для автономных внутритрубных снарядов.

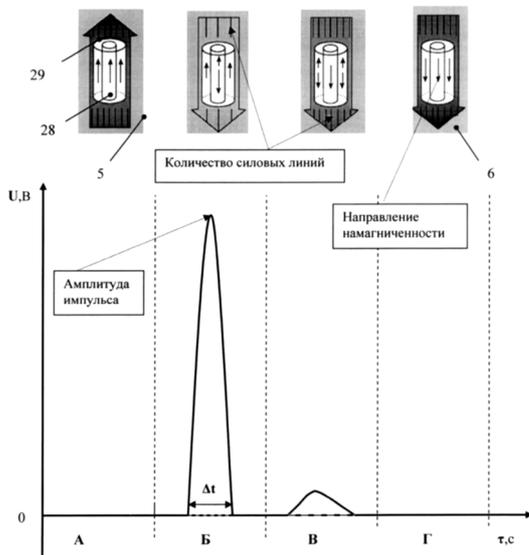
Исходя из вышеизложенного, для заявленного устройства в том виде, как оно охарактеризовано в приведенной формуле, подтверждена возможность его осуществления с помощью вышеописанных в заявке или известных до даты приоритета средств и методов, поэтому заявляемый электронный одометр для внутритрубного снаряда соответствует требованию "промышленная применимость" по действующему законодательству.



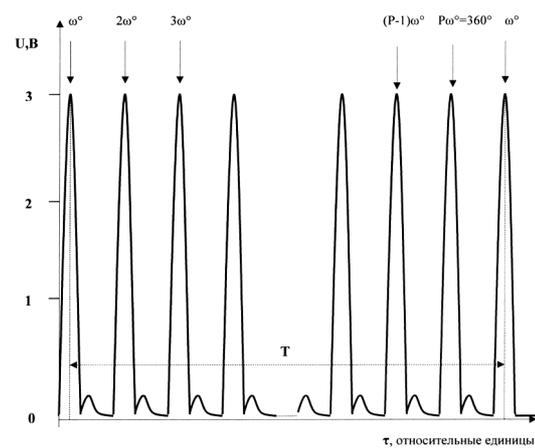
Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5