

ИЗМЕРИТЕЛЬ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ШТОКА ВНУТРИТРУБНОГО ГЕРМЕТИЗАТОРА

А. В. Сахарук, А. М. Морозько, Ю. В. Садовников

*Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Беларусь*

Научные руководители: Ю. В. Крышнев, Э. М. Виноградов, Л. А. Захаренко

Внутритрубные герметизаторы применяются на нефтепроводах для выполнения ремонтных работ. Они оснащены разжимающимися под давлением нефти манжетами, что позволяет фиксировать снаряд в трубопроводе.

Для отслеживания и обнаружения местоположения герметизатора используется система CD-42, которая состоит из передающей части («маячка»), установленной на снаряде, и приемной части («локатора»). Маячок включает в себя антенну и передатчик, который генерирует пачки импульсов частотой 22 Гц, длительностью 0,36 с и периодом следования 1,45 с. Локатор состоит из антенны и приемного устройства, оснащенного жидкокристаллическим дисплеем. По индикации на дисплее можно определить местоположение герметизатора.

Последовательность выполнения операций при ремонтных работах с использованием герметизатора, следующая:

1. При приближении снаряда к месту ремонта его обнаруживают по радиосигналу маячка.
2. Подают команду на остановку насосов.
3. Закрывают задвижку трубопровода ниже положения герметизатора.
4. Поднимают давление в трубопроводе до тех пор, пока не будет разрушена входная мембрана гидроцилиндра. Поршень гидроцилиндра перемещается и через систему рычагов разжимает манжеты герметизатора. На поршне имеется шток с пазами, в которые входят механические фиксаторы, удерживающие конечное положение поршня, а следовательно, и давление манжет на стенки трубопровода. За счет этого герметизатор останавливается и удерживает гидростатическое давление столба нефти.
5. Выполняются ремонтные работы на трубопроводе.
6. После завершения работ открываются задвижки, при включении насосов герметизатор сдвигается с места и уносится потоком нефти.

Опыт использования внутритрубного герметизатора на РУП «Гомельтранснефть Дружба» выявил его существенный недостаток - это отсутствие информации

о действительном положении поршня гидроцилиндра, а следовательно, и о положении манжет герметизатора.

Для устранения данного недостатка предлагается использовать измеритель перемещения штока (ИПШ) герметизатора с передачей информации наземному устройству по радиоканалу. При этом в ИПШ используется индуктивный датчик, вырабатывающий сигнал, пропорциональный перемещению штока поршня, и приемопередатчик с антенной, который размещается в хвостовой части герметизатора.

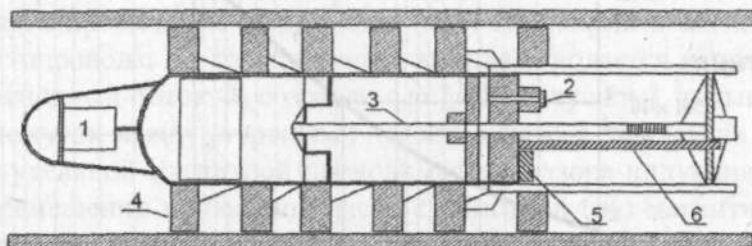


Рис. 1. Схема герметизатора и расположение ИПШ: 1 - радиомаячок; 2 - мембрана; 3 - шток; 4 - уплотнители; 5 - радиопередающий блок; 6 - измеритель перемещения штока

Приемопередатчик ИПШ работает на частоте 22 Гц. Выбор частоты производится исходя из следующего:

1. Система CD-42 работает на этой же частоте и необходимо обеспечить дальнейшую ее работу.
2. Затухание сигнала, передаваемого из трубопровода, должно быть по возможности минимальным.
3. Конструкция приемной и передающей антенн устройства должна предусматривать небольшие габариты.

Прохождение электромагнитного поля из трубопровода Γ_{Σ} определяется произведением двух коэффициентов прохождения Γ_m и $\Gamma_{отр}$ [1]:

$\Gamma_m = e^{-\sqrt{\pi f \mu_0 \gamma_{ст}} \cdot \Delta}$ - коэффициент прохождения электромагнитного поля из-за отражения от границ «металл-диэлектрик»;

$\Gamma_{отр} = \frac{4 \cdot Z_2}{Z_1}$ - коэффициент прохождения электромагнитного поля, связанный с потерями в металле;

$Z_2 = \sqrt{\frac{2\pi f \mu_0}{\gamma_{ст}}}$ - характеристическое сопротивление металла с учетом намагниченности;

$Z_1 = \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon}}$ - характеристическое сопротивление среды вне слоя металла.

На рис. 2 показана зависимость полного коэффициента прохождения сигнала Γ_{Σ} от частоты.

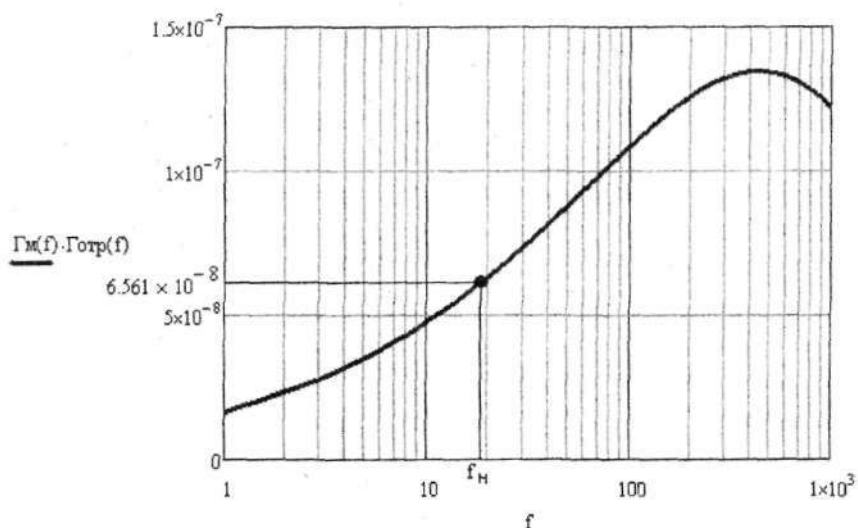


Рис. 2. Зависимость коэффициента прохождения сигнала Γ_{Σ} от частоты

Было установлено, что несущая частота 22 Гц является компромиссом между небольшим затуханием сигнала в трубе и небольшими габаритами приемной антенны наземного прибора.

Согласно разработанному алгоритму работы приемопередатчика в промежутке между сигналами маячка наземное устройство посылает запрос на передачу данных, после получения запроса производится передача информации о положении штока.

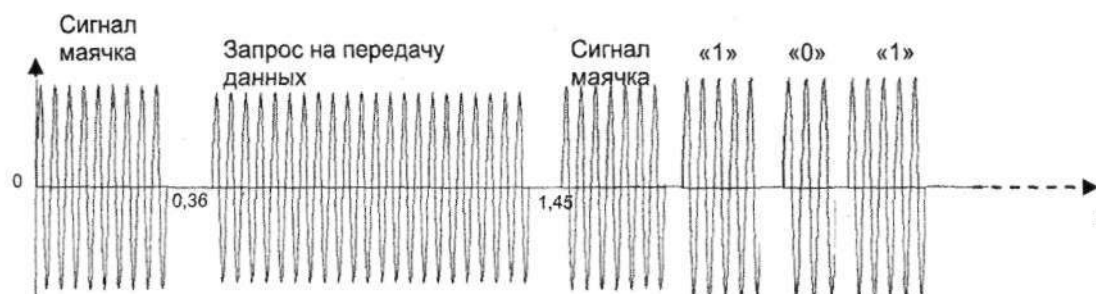


Рис. 3. Временная диаграмма передачи данных

Разработка ИПШ должна быть произведена с учетом особенностей эксплуатации внутритрубного герметизатора:

- Высокое давление в нефтепроводе.
- Вибрации при движении герметизатора.
- Разброс температуры в нефтепроводе.
- Влияние среды (нефти) на результат измерения.

Для измерения перемещения штока внутритрубного герметизатора были рассмотрены следующие варианты датчиков:

- Индукционный, с регистрирующим перемещение элементом (струной).
- Индуктивный, с продольным движением возбуждающей катушки вдоль ряда приемных.
- Дифференциальный датчик с распределенными параметрами.

Первые два датчика не подходят по причине сложности реализации и наличия открытых контактов. Наиболее перспективным вариантом реализации ИПШ является дифференциальный индуктивный датчик с распределенными параметрами [2].

На рис. 3 изображен преобразователь с распределенной магнитной проводимостью воздушного промежутка между длинными стержнями и магнитным сопротивлением магнитопровода. На катушку возбуждения I подается напряжение переменного тока. Магнитный поток Φ , создаваемый МДС катушки 1, замыкается через воздушный промежуток между стержнями преобразователя, причем на участке $0 - X_{max}$ с постоянной удельной магнитной проводимостью зазора индукция в зазоре постоянна. При перемещении подвижной части с обмоткой (W_2) магнитный поток вдоль стержней уменьшается по линейному закону от максимального значения в сечении $X_{max} - X_{max}$ до минимального $0 - 0$.

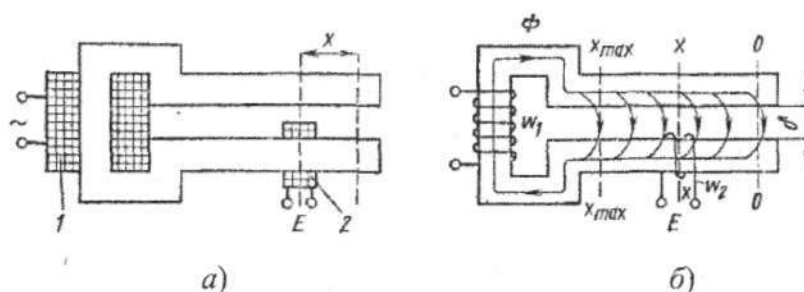


Рис. 4. Дифференциальный индуктивный датчик с распределенными параметрами: а – схема работы датчика; б – направленность магнитных полей

В конструкции, показанной на рис. 4, на П-образном магнитопроводе 1 размещены первичная обмотка 2 и измерительная обмотка 3. Витки измерительной обмотки равномерно распределены вдоль одного из стержней магнитопровода так, что удельное число витков, приходящееся на единицу длины w , остается постоянным. В воздушном промежутке δ между длинными стержнями перемещается сердечник 4, влияющий на распределение потоков в магнитной цепи преобразователя.

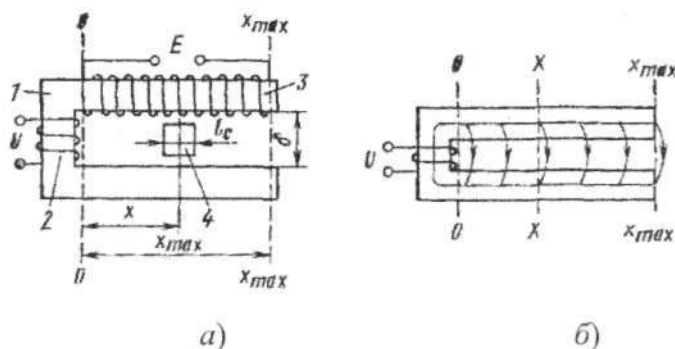


Рис. 5. Дифференциальный индуктивный датчик с распределенными параметрами, с П-образным сердечником: а – схема работы датчика; б – направленность магнитных полей

Однако данные виды датчика имеют некоторые недостатки. Одним из них является наличие катушки вдоль всего стержня, что нежелательно в условиях измерений. Предлагается преобразовать некоторые части датчика, в частности, уменьшить длину катушки до минимальной длины, что упростит конструкцию и эксплуатацию.

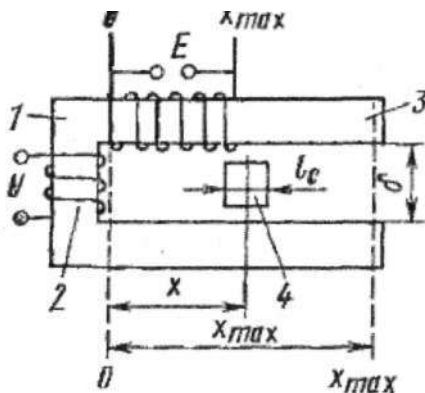


Рис. 6. Преобразованная схема с П-образным сердечником

Приближенный расчет преобразователя производят, пренебрегая сопротивлением стальных участков магнитопровода. При этом ЭДС, наводимая в измерительной обмотке E , будет складываться из двух составляющих. Первая составляющая E_1 обусловлена потоком, замыкающимся через сердечник 4 и сцепляющимся с витками измерительной обмотки только на участке X . Вторая составляющая E_2 обусловлена потоком, замыкающимся через промежуток δ между стержнями и сцепляющимся с витками измерительной обмотки на всем участке от 0 до X_{max} .

Данный датчик будет располагаться в задней части герметизатора параллельно направлению движения штока, а в качестве перемещающегося элемента будет использована задняя стенка подвижной части герметизатора.

Данная конструкция может быть усовершенствована за счет того, что концы П-образного сердечника могут быть разведены в противоположные стороны. При перемещении штока в данном случае происходит дополнительное увеличение ЭДС за счет сужения сечения магнитопровода.

Также рассматриваются варианты использования данного датчика в дифференциальном включении, когда сердечник имеет E-образную форму, а измерительные катушки, намотанные на крайних стержнях, включены встречно для взаимной компенсации ЭДС при нулевом значении перемещения штока (рис. 7).

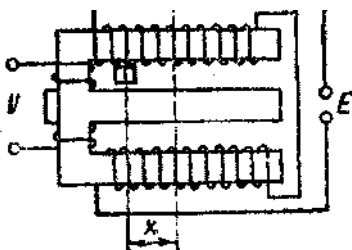


Рис. 7. Дифференциальный индуктивный датчик с распределенными параметрами, с E-образным сердечником

Функциональная схема ИПШ имеет вид, показанный на рис. 8.

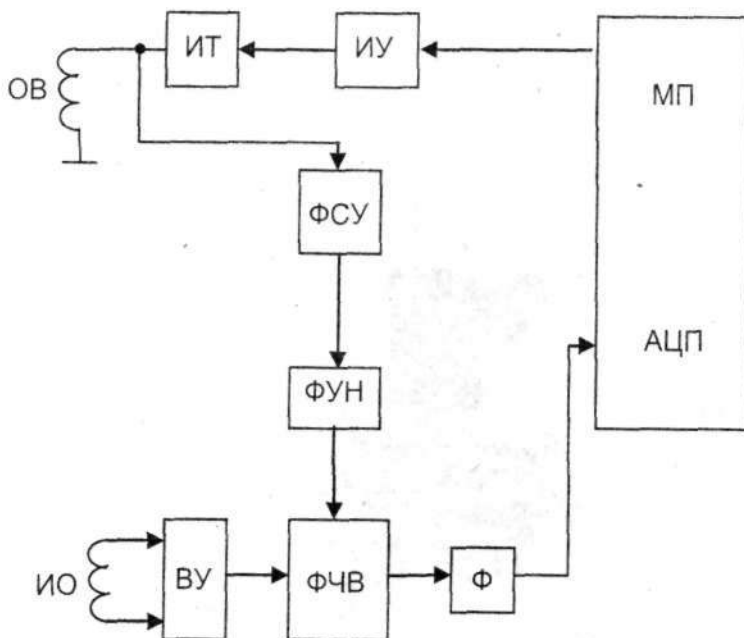


Рис. 8. Функциональная схема ИПШ: *ОВ* – обмотка возбуждения; *ИТ* – источник тока; *ИУ* – избирательный усилитель; *ФСУ* – фазосдвигающее устройство; *ФУН* – формирователь управляющего напряжения; *ФЧВ* – фазочувствительный выпрямитель; *Ф* – фильтр; *ВУ* – входной усилитель; *МП* – микропроцессор; *АЦП* – аналого-цифровой преобразователь; *ИО* – измерительные обмотки

Литература

1. Исследование эффективности экранов из тонколистовых металлов : метод, указания к лаборатор. работе по курсу «Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств» для студентов радиотехн. специальностей / сост. В. Н. Левкович. - Минск : БГУИР, 1995.
2. Проектирование датчиков для измерения механических величин / под ред. Е. П. Осадчего. - Москва : Машиностроение, 1979. - 480 с.: ил.