УДК 62-799

ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ НЕФТЕПРОВОДА НА ОСНОВЕ ПОСТОЯННОГО ПУЛЬСИРУЮЩЕГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Р.М.ПРОСКУРЯКОВ, *д-р техн. наук*, *профессор*, *app@bk.ru*
А.С.ДЕМЕНТЬЕВ, *аспирант*, *dementyev_91@mail.ru*
Санкт-Петербургский горный университет, *Россия*

Современные системы диагностики не всегда удовлетворяют требованиям нефтяной отрасли. Невозможно оценить полное техническое состояние стенок трубопровода без колоссальных затрат на работу диагностической системы. В статье рассмотрены главные проблемы систем диагностики нефтепроводов. Описан принцип работы системы диагностики трубопровода с помощью постоянного пульсирующего магнитного поля. Система позволяет оценивать продолжительные участки нефтепровода без вмешательства в работу объекта. Большая сеть трубопроводов может контролироваться отдельными участками, подключенными к пульту диспетчера по очереди. Эти участки могут быть разветвленными и подключаться по аналогии с четырехполюсниками. За носителя информации принимается постоянное магнитное поле, дальность распространения которого по ферромагнитному проводнику не ограничена.

Приведена структурная схема диагностической системы с кратким описанием работы каждого элемента, а также основные расчеты мощности магнитного поля. Показан исходный сигнал и сигнал, преобразованный из-за неисправностей стенок трубы: трещин, каверн, отверстий. Проходя через подобные места в трубопроводе, магнитное поле в местах повреждений испытывает отражение, преломление, интерференцию, создавая экстратоки, которые искажают прямоугольную форму модуляции постоянного магнитного поля.

***Ключевые слова*:** нефтепровод, система диагностики, магнитное поле, динамические системы.

До настоящего времени ни в нашей стране, ни за рубежом не существует системы оценки целостности нефтепровода, удовлетворяющей многочисленным требованиям нефтяников: состояние стенок трубы, наличие повреждений от ржавчины, трещины, вмятины, неудовлетворительное состояние швов, определение местонахождения неисправностей и т.д. [6].

В качестве принципиальной теоретической основы для построения таких систем в настоящее время используются волновые внутритрубные методы: методы волн давления, волны скорости, волны акустические, а также методы направленных электромагнитных излучений (как внутри, так и снаружи трубопровода), лазерные методы, ультразвуковые (внутритрубные и непосредственно с использованием материала самой трубы). Все это многообразие может быть охарактеризовано и ограничено хотя бы одной, но достаточно весомой характеристикой – протяженность контролируемого участка очень мала, либо существуют слишком жесткие требования (прямолинейность трубопровода, большой диаметр трубы). Исторически удовлетворительные системы контроля получались очень сложными, требующими участия нескольких человек [3, 4, 5].

В настоящей статье описана суть системы диагностики. Из общей теории электротехники известно, что на поддержание постоянного магнитного поля вдоль трубопровода не требуется никакой работы. Катушка намагничивания W имеет индуктивность L и сопротивление r. При установившемся в катушке значении постоянного тока $i = U/r$ для времени dt в цепи будет выделена энергия $i^2 r dt = uidt$, где правая часть уравнения – работа источника тока за время dt. Но работа источника тока равна энергии по закону Джоуля – Ленца, а значит для поддержания постоянного магнитного поля не требуется никакой работы (независимо от протяженности ферромагнетика). Модулированное пульсирующее постоянное магнитное поле показано на рис.1.

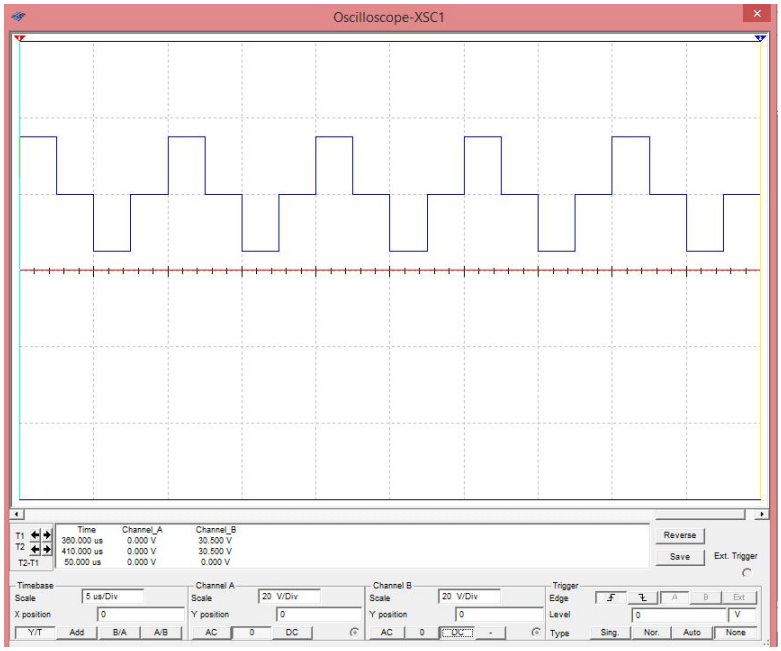


Рис.1. Постоянное пульсирующее магнитное поле, синхронное в катушке и генераторе импульсов

Для случая нарастающего сигнала модуляции поля должно нарастать и значение *di*/*dt*, в цепи появляется ЭДС самоиндукции, которая вызовет вихревой ток

$$\delta_i = \frac{|\varepsilon_c|}{r} = \frac{L_0}{r}\frac{di}{dt}.$$

Ток δ_i направлен встречно току i, поэтому полная сила тока $i = (i - \delta_i)$. Ограничиваясь членами первого порядка малости, вычислим энергию по закону Джоуля – Ленца $r(i-\delta_i)^2 dt$, которая уменьшается по сравнению со случаем постоянного тока на величину $ri^2 dt - r(i-\delta_i)^2 dt = 2ri\delta_i dt = Lidi$. Поэтому в случае нарастающего фронта тока энергия источника больше затраченного тепла, выделившегося в цепи обмотки *W*.

Работа, необходимая для нарастания импульса тока и модуляции поля $dPt = Lidt$, где *P* – мощность; *t* – время, в течение которого производится работа *Lidt*.

Полная работа, необходимая для установления тока в генерирующей обмотке *W*,

$$Pdt = L\int_0^i idi = \frac{1}{2}Li^2.$$

При уменьшении модулирующего тока и генерации заднего фронта импульса работу совершают экстратоки размыкания с энергией.

В результате экспериментов по схеме (рис.2), оценивая энергоинформативные характеристики схемы и не приводя обычных преобразований, заметим, что полная энергия магнитного поля (любого) равна

$$Pt = \frac{\mu_0}{2}\int_\tau \mu H^2 d\tau,$$

где интегрирование распространяется на весь объем τ трубы. Это хорошо, так как чем больше τ, тем больше энергия поля, являющегося в нашем случае носителем информативного параметра. Это нужно для того, чтобы с наибольшей точностью, чувствительностью и воспроизводимостью осуществить измерения в системе диагностики.

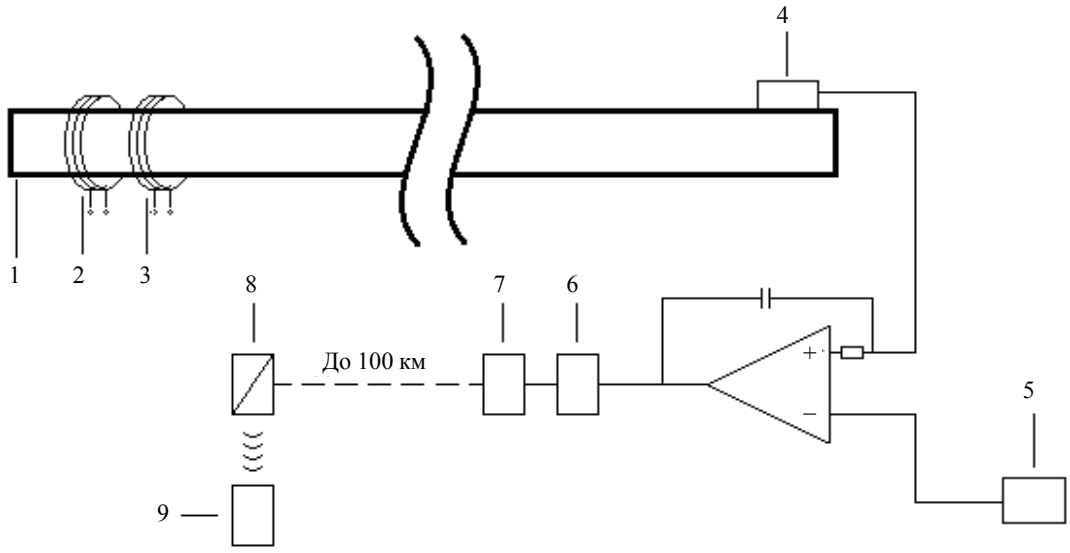


Рис.2. Структура диагностической системы нефтепровода

1 – трубопровод; 2 – катушка индуктивности с постоянным напряжением; 3 – катушка индуктивности с переменным прямоугольным напряжением; 4 – пьезокерамический преобразователь магнитного поля в напряжение; 5 – генератор прямоугольных импульсов, синхронный с катушкой 3; 6 – пороговый элемент с зависимой магнитудой; 7 – преобразователь «напряжение – временной код»; 8 – пороговый элемент с передатчиком по сотовой сети; 9 – пульт диспетчера

Классическая теория энергоинформативного обмена при измерениях гласит:

$$q = 9{,}3 + \frac{1}{2}\lg Pt \ ;$$

где Pt – количество энергии при получении информации, Дж; q – информация [2].

В предлагаемом нами варианте можно получить информацию без экономии, т.е. согласно общей классической теории измерений наша схема работоспособна. Она предпочтительна еще и потому, что во вторичном приборе может быть применена теория и практика акустической техники, широко и детально исследованная ранее. Таким образом, за основу измерительной среды как носителя информации принимаем постоянное магнитное поле, дальность распространения которого по ферромагнитному проводнику не ограничена.

Из теории динамических систем известно, что любое динамическое состояние систем может быть охарактеризовано почти с 90-процентной полнотой через переходные процессы в системе. Потому у постоянного магнитного поля, полученного по закону полного тока $Hl = Iw$ с помощью обмотки с большим числом витков w, питаемой достаточно большой силой тока I, и второй обмотки, питаемой триггером частотой 50 Гц, вершины получаемых «зубцов» стараемся сделать максимально прямоугольными (при настройке системы срезаем вершины синусоидального тока, пропускаемого по модулирующей обмотке, и с помощью пояса Грановского смотрим и подбираем форму магнитного поля на осциллографе).

Модуляция магнитного поля позволяет зарегистрировать его на втором конце трубопровода чувствительными методами на основе индукции. Пройдя через испорченный трубопровод, магнитное поле в местах повреждений испытывает отражение, преломление, интерференцию, создает экстратоки. Все это искажает прямоугольную форму модуляции постоянного магнитного поля (рис.3) [1].

На приемном пункте сравнивают два тока прямоугольной формы: один синхронный и синфазный с током намагничивания в начале трубы, второй – «испорченный» неисправной трубой. Синфазность и синхронность тока в месте регистрации и тока намагничивания трубы обеспечиваются подключением обмоток к одной фазе питающей сети 50 Гц.

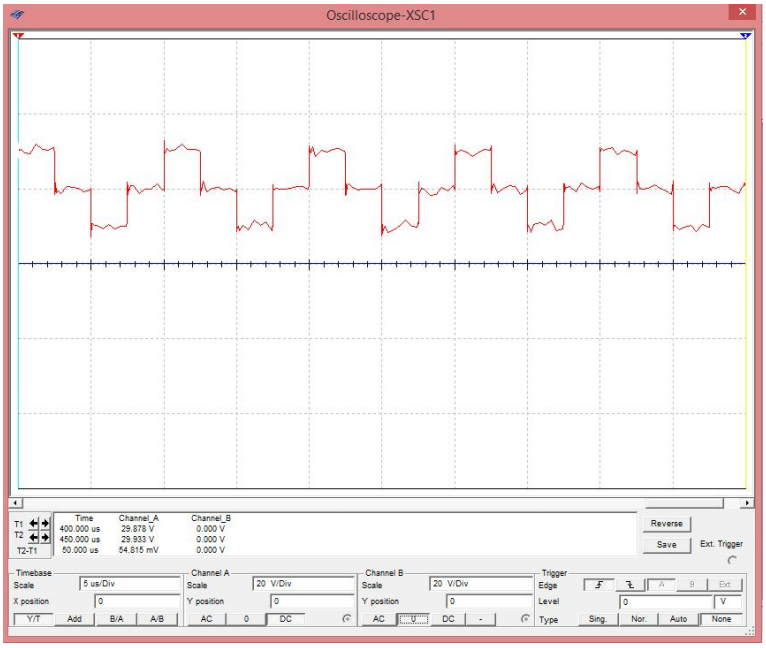


Рис.3. «Испорченный» сигнал

Мощность «испорченного» тока значительно меньше мощности тока-эталона (рис.3), поэтому разность мощностей, интегрируемая операционным усилителем, достигает своего критического значения и включает *R-S*-триггер, посылающий сигнал диспетчеру по сотовой сети или через спутник. Диспетчер принимает решение – отправить по трубе диагностический ультразвуковой зонд или послать обходчиков для определения характера и места неисправностей. Каждый случай срабатывания системы диагностики классифицируется и наносится на шкалу состояния в виде вербальных значений на пульте диспетчера и в оперативном запоминающем устройстве ЭВМ.

В заключение стоит отметить, что достаточно большая сеть нефтепровода может быть поставлена на контроль отдельными участками, подключаемыми к диагностическому пульту циклически – по очереди. Эти участки могут быть разветвленными. Соединяются участки в расчетной схеме по аналогии с четырехполюсниками, теория которых уже хорошо разработана. Основной критерий при параллельно-последовательном соединении четырехполюсника – обеспечение наибольшего энергетического КПД, т.е. выходной импеданс предыдущего четырехполюсника должен быть равен входному последующего.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Дорф Р.*, *Бишоп Р.* Современные системы управления. М.: Лаборатория базовых знаний, 2002, 832 с.

2. *Котельников В.А.* О пропускной способности «эфира» и проволоки в электросвязи / Всесоюзный энергетический комитет. Материалы к I Всесоюзному съезду по вопросам технической реконструкции дела связи и развития слаботочной промышленности. М.: Управление связи РККА, 1933. С.1-19.

3. Патент 2315230 РФ. Система для контроля утечки газа из магистрального газопровода / С.В.Власов, И.И.Губанок, А.Н.Дудов и др. Опубл. 20.01.2008. Бюл. № 2.

4. *Проскуряков Р.М.* Автоматическая корректировка метрологических характеристик измерителей случайных сигналов первичного преобразователя анализатора жидкостных потоков / Р.М.Проскуряков, А.В.Коптева, И.Н.Войтюк // Записки Горного института. 2012. Т.195. С.277-280.

5. *Смолдырев А.Е.* Трубопроводный транспорт. М.: Недра, 1970. 272 с

6. *Stuart L. Scott.* Status Multuphase Metering // Russian Oil&Gas Technologies (ROGTEC). 2006. Is.11. P.32-47.

REFERENCES

1. *Dorf R.*, *Bishop R.* Sovremennye sistemy upravleniya (*Modern control systems*). Moscow: Laboratoriya bazovykh znanii, 2004, p.832.
2. *Kotelnikov V.A.* O propusknoi sposobnosti «efira» i provoloki v elektrosvyazi (*About bandwidth ether and wire in electric*). Vsesoyuznyi energeticheskii komitet. Materialy k I Vsesoyuznomu s"ezdu po voprosam tekhnicheskoi rekonstruktsii dela svyazi i razvitiya slabotochnoi promyshlennosti. Moscow: Upravlenie svyazi RKKA 1933, p.1-19.
3. *Vlasov S.V.*, *Gubanok I.I.*, *Dudov A.N.* et al. Patent 2315230 RU. Sistema dlya kontrolya utechki gaza iz magistral'nogo gazoprovoda (*A system for monitoring gas leakage from a main pipeline*). Publ. 20.01.2008. Bul. N 2.
4. *Proskuryakov R.M.*, *Kopteva A.V.*, *Vojtuk I.N.* Avtomaticheskaya korrektirovka metrologicheskikh kharakteristik izmeritelei sluchainykh signalov pervichnogo preobrazovatelya analizatora zhidkostnykh potokov (*Automatic adjustment of metrology characteristics of random signals of the primary device analyzer fluid streams*). Zapiski Gornogo institute. 2012. Vol.195, p.277-280.
5. *Smoldyrev A.E.* Truboprovodnyi transport (*Pipeline transport*). Moscow: Nedra, 1970, p.272.
6. *Stuart L. Scott.* Status Multuphase Metering. Russian Oil&Gas Technologies (ROGTEC). 2006. Is.11, p.32-47.

THE BUILDING A SYSTEM OF DIAGNOSING THE TECHNICAL CONDITION OF THE PIPELINE ON THE BASIS OF CONTINUOUS PULSED MAGNETIC FIELD

R.M.PROSKURYAKOV, *Dr. of Engineering Sciences*, *Professor*, *89633288039 app@bk.ru*
A.S.DEMENTEV, *postgraduate student*, *89112449231*, *dementyev_91@mail.ru*
Saint-Petersburg Mining University, *Russia*

Modern diagnostic systems do not always satisfy the requirements of the oil workers. At the moment, it is impossible to assess the overall technical condition of the pipeline without huge costs on operation diagnostic system. The article deals with the main problems of diagnostics of oil pipelines. The principle of operation of the pipeline system diagnostics using pulsed DC magnetic field. This system allows you to assess the long section of the pipeline without interfering with the operation of the plant. A large network of pipelines can be controlled by separate sections that are connected to the console controller at a time. These sites can be branched. They must be connected by analogy with the four-pole. For information carrier assumes a constant magnetic field, the range of spread of the ferromagnetic conductor is not limited.

The block diagram of the proposed diagnostic system with a brief description of each item is present in the article. The basic calculation power of the magnetic field. Show original signal, and the signal is converted because of the fault of the pipe walls: cracks, cavities, orifices. Walking through these places in the line, the magnetic field at the injury site experienced reflection, refraction, interference, creating extra- that distorts the rectangular modulation constant magnetic field.

***Key words*:** pipeline, system of diagnosing, magnetic field, dynamical systems.