

Использование приборов сопровождения внутритрубных снарядов

В. И. Петров

начальник лаборатории электроники¹
petrov.vitaliy@aprodit.ru

Н. Б. Козырев

магистрант второго года обучения²
kozyrev.nickolay@gmail.com

¹ООО «Апродит», Коломна, Россия

²Российский государственный университет нефти и газа имени И. М. Губкина, факультет проектирования, сооружения и эксплуатации систем трубопроводного транспорта (ПСиЭСТТ), кафедра термодинамики и тепловых двигателей, направление Техническая диагностика газотранспортных систем, Москва, Россия

Приборы сопровождения внутритрубных снарядов представляют из себя низкочастотные электромагнитные передатчики и приемники-регистраторы (локаторы), которые работают на частоте 22 Гц и настроены в резонанс друг с другом. Сигнал, который излучается и принимается данными приборами, можно описать как медленно меняющееся (пульсирующее) магнитное поле, которое практически беспрепятственно проходит через стенки трубопроводов, грунт, воду или железобетонные конструкции. В статье описан принцип работы низкочастотных передатчиков и локаторов и их использование при сопровождении и поиске внутритрубных снарядов, двигающихся внутри нефте- и газопроводов. Показаны результаты расчётов распределения магнитного поля низкочастотного передатчика в различных условиях. Приведены практические рекомендации по установке передатчиков на очистные скребки и диагностические снаряды для внутритрубной очистки и диагностики. Описаны основные функции современных низкочастотных передатчиков и низкочастотных локаторов. Приведены основные технические решения, использованные в аппаратуре для адаптации к различным климатическим условиям и к условиям в конкретных трубопроводах.

Практика внутритрубного обследования получила широкое распространение в странах северной Америки и Европы в конце XX века, тогда и были разработаны приборы для сопровождения внутритрубных снарядов.

За последние 20 лет и в России стали широко использоваться внутритрубные снаряды для обследования и очистки трубопроводов. Откликаясь на практические потребности, отечественные производители также разработали и освоили производство необходимого оборудования. В настоящее время по своим техническим характеристикам и надежности российские приборы не уступают зарубежным аналогам, а иногда и превосходят их.

Внутритрубная диагностика и очистка заключается в пропуске внутри трубопровода специального устройства, выполненного в виде поршня, который движется под напором перекачиваемой жидкости или газа (рис. 1). Основным риском при проведении таких работ является потеря информации о текущем местоположении внутритрубного снаряда при его остановке где-либо на многокилометровом прогоне.

В настоящее время чтобы избежать таких рисков и финансовых потерь практически все внутритрубные снаряды оснащаются низкочастотными электромагнитными передатчиками. Особенностью этих автономных устройств является то, что излучаемый ими сигнал является колебаниями магнитного поля с низкой частотой (около 22 Гц), а такое поле способно проникать через металлические стенки достаточно большой толщины [1].

Также такой сигнал проходит почти без потерь через слой грунта или воды над трубопроводом [2]. Это позволяет следить за перемещением внутритрубного снаряда, а также находить место его аварийной остановки практически при любых условиях.

Для выделения слабого сигнала передатчика на фоне различных помех,

возникающих от близко расположенных линий электропередач, двигателей и др., в низкочастотном локаторе используется чувствительная антенна, настроенная в резонанс на частоту колебаний магнитного поля передатчика. Кроме того в передатчиках сигнал, воспринимаемый антенной, проходит многоступенчатую аналоговую и цифровую обработку. Всё это происходит автоматически под управлением микроконтроллера. Итоговый результат выводится на панель управления и индикации в понятном для оператора виде.

Результаты компьютерного моделирования, показывают, что магнитное поле передатчика в первом приближении является полем магнитного диполя. На рис. 2 показаны силовые линии такого поля. Согласно расчётам, напряжённость поля от передатчика на воздухе падает пропорционально расстоянию в четвертой степени. Это очень быстрое падение. Поэтому современные передатчики обнаруживаются локаторами на расстоянии не более 20–30 метров по воздуху в отсутствии ослабления сигнала стенками трубы.

Стальные стенки трубопровода замыкают на себя значительную часть магнитного поля передатчика (рис. 3). На практике сигнал от передатчика, находящегося внутри трубопровода с толщиной стенки 20 мм обнаруживается на расстоянии не более 10 м. Это обстоятельство нужно учитывать при проведении внутритрубных диагностических или очистных работ на глубоко расположенных трубопроводах.

Установка передатчика целиком внутри стального корпуса снаряда приводит к ещё большему экранированию магнитного поля (рис. 4). Сигнал от такого передатчика очень сложно обнаружить.

Часто встречается ситуация когда компания, непосредственно проводящая работы по очистке или диагностике трубопровода, устанавливает низкочастотные передатчики ПНТ на внутритрубные снаряды

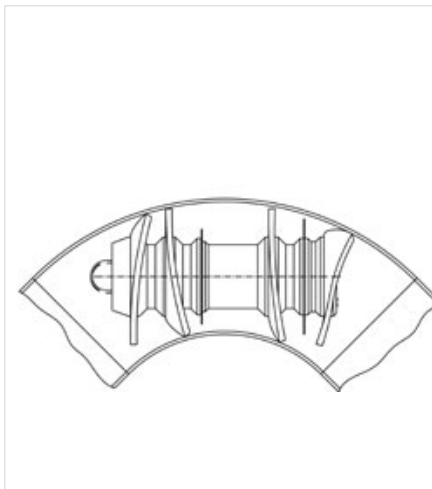


Рис. 1 — Внутритрубный снаряд в повороте трубопровода $R=1,5D$

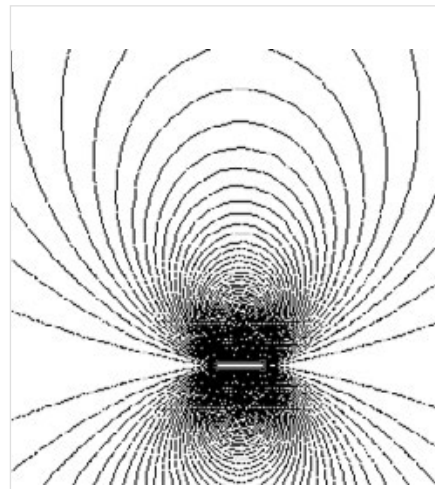


Рис. 2 — Сигнал от передатчика в воздухе

другого производителя. В таких случаях мы рекомендуем обеспечить выступание передатчика из стального корпуса снаряда не менее чем на половину длины передатчика. При такой установке стальной корпус снаряда служит удлинителем магнитного диполя, и не уменьшает дальность обнаружения сигнала передатчика (рис. 5).

Как отследить движение и определить точное положение внутритрубного снаряда, когда он располагается внутри толстостенного металлического трубопровода, да еще и сам трубопровод расположен на некоторой глубине под слоем грунта? Такой вопрос очень актуален при проведении диагностических и очистных работ.

В какой-то степени проблему можно снять, если перед началом работы внутритрубное устройство с установленным передатчиком проверить на уверенный прием низкочастотного сигнала локатором на воздухе.

Для передатчиков ПНТ и локаторов НПР можно, определив максимальную дальность приема сигнала по воздуху, затем по приведенной на рис. 6 номограмме, полученной на основании многочисленных экспериментов, определить максимальную дальность, которая получится при установке внутритрубного устройства с передатчиком в трубопровод с определенной толщиной стенки трубы.

Компании, эксплуатирующие низкочастотные передатчики часто предъявляют к ним достаточно противоречивые требования в зависимости от конкретных условий использования.

Например, при пропуске скребка-калибра с передатчиком по трубопроводу большой протяженности или по трубопроводу, в котором риск остановки скребка велик, очень важна длительность автономной работы передатчика. Это важно для гарантированного обнаружения застрявшего скребка.

А при пропусках очистных скребков по трубопроводам с большой скоростью перекачки, или по трубопроводам расположенным на большой глубине, важно не пропустить сигнал передатчика, когда он проходит через определенную точку трубопровода (например, переход под железной дорогой). В таких случаях на первый план выходит требование по дальности и достоверности обнаружения за короткий интервал времени. Это, в свою очередь, приводит к требованию увеличения мощности излучения передатчика.

Для успешной работы в различных трубопроводах передатчики имеют несколько режимов излучения сигнала (пачками, непрерывный, режим повышенной мощности). Непосредственно перед запуском скребка в трубопровод оператор может переключить передатчик в тот режим, который больше подходит для конкретных условий. Для переключения режимов не нужно снимать передатчик с внутритрубного снаряда. Переключение осуществляется дистанционно по инфракрасному каналу.

Экономичный режим (пачками) позволяет обнаружить сигнал передатчика в течение длительного времени (до 30 суток). Непрерывный режим повышает надежность регистрации быстро движущихся снарядов.

Режим повышенной мощности может быть

полезен при работе в трубопроводах с большой толщиной стенки и когда трубопровод проложен в металлическом кожухе.

При пропуске снарядов по коротким участкам трубопровода, когда время прохождения снаряда невелико, нецелесообразно каждый раз заменять батареи в передатчике. Вместе с тем, оператору важно быть уверенным в том, что передатчик не прекратит работу во время пропуска скребка по трубопроводу из-за разряда батарей.

Так, откликаясь на запрос ООО «РН-Юганскнефтегаз», в передатчики в 2009 году была добавлена функция индикации остаточного ресурса батарей. Эта индикация была реализована с помощью серий всплесков яркого светодиода, расположенного под полупрозрачной крышкой в торце передатчика. По числу всплесков в серии оператор узнаёт, сколько часов передатчик проработает в выбранном режиме излучения на установленных в него в данный момент батареях. Данная функция позволяет оператору, ориентируясь на конкретное производственное задание, принять решение о необходимости замены батарей перед запуском снаряда в трубопровод.

Современные низкочастотные локаторы являются многофункциональными устройствами.

Кроме основной функции — приема низкочастотного сигнала, с их помощью можно управлять режимами работы передатчиков, так как в локаторы встроена аппаратура дистанционного управления по инфракрасному каналу.

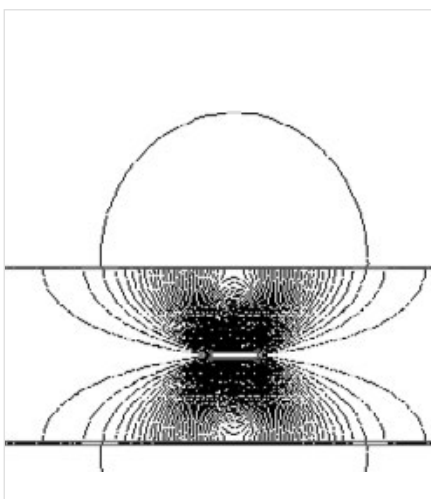


Рис. 3 — Сигнал от передатчика ослабленный стенками трубы

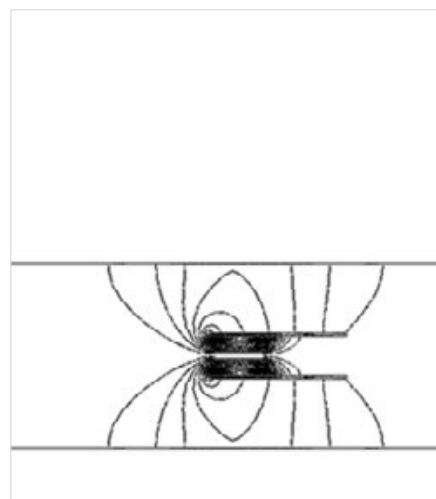


Рис. 4 — Передатчик целиком находится в корпусе снаряда

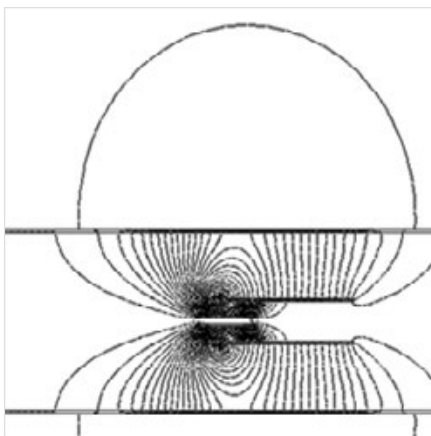


Рис. 5 — Передатчик наполовину выступает из корпуса снаряда

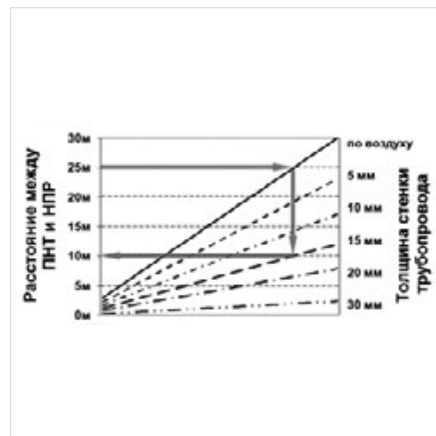


Рис. 6 — Номограмма для определения дальности обнаружения передатчика

Материалы и методы

Магнитомягкие ферромагнетики, распространение магнитного поля в различных средах, компьютерное моделирование, электромагнитный резонанс, аналоговая и цифровая фильтрация полезного сигнала на фоне помех, поле магнитного диполя, магнитное поле Земли.

Ключевые слова

внутритрубная диагностика, очистка, обследование, газопровод, нефтепровод, магнитные поля, низкочастотный передатчик, внутритрубное устройство, взрывобезопасность, дальность обнаружения

Также в локахторах НПР имеется функция регистрации искажений естественного магнитного поля Земли. Такая функция была добавлена по запросам компаний, у которых уже существует большой парк очистных внутритрубных снарядов, для которых оснащение низкочастотными передатчиками не предусматривалось. Как показала практика, функция регистрации изменений магнитного поля Земли позволяет достаточно надежно регистрировать прохождение внутритрубного скребка внутри трубопровода, даже если скребок не был оснащен постоянным магнитом. Достаточно чтобы корпус скребка был изготовлен из стали, а НПР локатор находился на расстоянии не более 1 метра от трубопровода или вплотную к нему.

Высокие требования предъявляются к панели управления и индикации локатора.

Многие зарубежные производители используют для индикации сигнала жидкокристаллические дисплеи. Такие дисплеи, обладая высокой информативностью, имеют один существенный недостаток — они не способны работать в условиях низких температур. Учитывая климатические условия России, в локахторах НПР для индикации используются сверх яркие светодиоды, которые не снижают своей светимости даже на самых сильных морозах. Для той же цели (возможность длительной работы при низких температурах) предусмотрена возможность использования «литиевых» батарей.

В 2012 году по запросу ОАО «ТНК-Нягань»

было разработана модификация НПР локатора с подключаемой внешней чувствительной антенной, с помощью которой можно надежно регистрировать сигнал от малого передатчика ПНТ-04, находящегося на глубине до 5 метров в толстостенной трубе малого диаметра (168мм x 16мм). При этом оператор с локатором и антенной может передвигаться пешком по грунту над трубопроводом. По дальности обнаружения в режиме передвижения это на 30% лучше, чем для стандартного НПР локатора со встроенной антенной. Данное низкочастотное оборудование использовалось в 2012 году в ОАО «ТНК-Нягань» в опытно-промышленных испытаниях внутритрубных снарядов для поиска мест образования гидратов в толстостенных глубоководных трубопроводах малого диаметра.

Современные низкочастотные передатчики и локаторы являются приборами, которые при правильной эксплуатации, работают 10 и более лет. Требуется только замена батареек, которые можно купить в любом магазине. Плановое применение таких приборов самым положительным образом сказывается на надежности и предсказуемости диагностических и очистных работ на любых строящихся или эксплуатируемых трубопроводах.

Итоги

Практика внутритрубного обследования и очистки получила широкое распространение во всех странах имеющих разветвленную сеть трубопроводов.

Приборы сопровождения и поиска внутритрубных снарядов широко используются на предприятиях эксплуатирующих и сдающих в эксплуатацию трубопроводы различного назначения. Такие приборы разрабатываются, сертифицируются и изготавливаются с учетом требований взрывобезопасности, надежности и удобства эксплуатации.

Выводы

При правильной установке низкочастотного передатчика на внутритрубном снаряде имеется возможность следить за перемещением и осуществлять поиск остановившегося внутритрубного снаряда практически в любых условиях. Современные низкочастотные передатчики и локаторы для поиска и сопровождения внутритрубных снарядов являются multifunctional устройствами, которые существенно повышают качество и надежность проведения работ по внутритрубной очистке и диагностике.

Список используемой литературы

1. Шапиро Д.Н. Основы теории электромагнитного экранирования // Энергия. 1975.
2. Реутов Ю.Я., Лоскутов В.Е. Проникновение магнитного поля маркера, расположенного внутри газопровода, через стенку стальной трубы // Дефектоскопия. 2007. №11. С. 15–22.

ENGLISH

MEASURING EQUIPMENT

Use of low-frequency transmitters and locators in pigging and diagnostic of pipelines UDC 620.1, 681.2

Authors:

Petrov I. Vitaliy — head of laboratory of electronics¹; petrov.vitaliy@aprodit.ru

Nicholay B. Kozyrev — master student of the second year of study²; kozyrev.nickolay@gmail.com

¹Aprodit, Kolomna, Russian Federation

²Russian State University of Oil and Gas named after Gubkin, faculty of design, construction and operation of pipeline systems, Department of thermodynamics and heat engines, the direction of technical diagnostics of gas transmission systems, Moscow, Russian Federation

Abstract

Low-frequency electromagnetic transmitters and locators operate at a frequency of 22 Hz. These devices are tuned in resonance with each other. The signal which they emit and receive can be described as a slowly fluctuating magnetic field which pass through pipeline wall, soil, water or concrete structures practically without weakening by these substances. This paper describes low-frequency transmitters and locators principle of work and their use in tracking and searching of in-line smart and utility PIG moving inside oil and gas pipelines. It also shows the results of computer simulation for distribution of magnetic field by low-frequency transmitter in a variety of conditions. Some practical recommendations for installation of the transmitters to the PIG used in pigging and diagnostics of different pipelines. This paper

also contains description of main technical solutions used in the low-frequency equipment of Russian company "APRODIT" L.L.C. to adapt this equipment to different climatic conditions and to the specific conditions in the pipelines.

Material and methods

Magnetically soft ferromagnetic materials, distribution of the magnetic field in different environments, computer modeling, electromagnetic resonance, analog and digital filtering of the useful signal from noise magnetic dipole field, Earth magnetic field

Results

In-line diagnostics and pigging are widespread in all countries with extensive network of pipelines. Low-frequency electromagnetic transmitters and locators are widely used in enterprises performing

pigging and commissioning of different pipelines. These devices are designed, certified and manufactured to meet the requirements of explosion protection, reliability and serviceability.

Conclusions

Properly installed low-frequency transmitter to Pig can monitor the movement and search stopped Pig almost any conditions. Modern low-frequency transmitters and locators to find and maintenance pigging are multifunctional devices that significantly improve the quality and reliability of the work on in-line clean-up and diagnostics.

Keywords

pigging, diagnostics, inspection, gas pipeline, oil pipeline, magnetic field, low frequency transmitter, in-line PIG, explosion protection, detection range

References

1. Shapiro D.N. *Osnovy teorii elektromagnitnogo ekranirovaniya* [Basics principles of electromagnetic shielding]. Energia, 1975.
2. Reutov Y.Y., Loskutov V.E. *Proniknovenie magnitnogo polya markera, raspolozhennogo vnuri gazoprovoda, cherez stenu stal'noy truby* [Distribution of magnetic field from the marker located inside gas pipeline through steel wall]. Nondestructive Testing, 2007, issue 11, pp. 15–22.