

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ИНОРОДНЫХ ОБЪЕКТОВ В ГАЗОПРОВОДАХ

Стаднюк Е.И.

Томский политехнический университет, г. Томск

*Научный руководитель: Шиян В.П., к.ф.-м.н., доцент кафедры
физических методов и приборов контроля качества*

В ходе технического обслуживания магистральных трубопроводов нередко затруднения эксплуатации, вызванные нарушением полнопроходного сечения.

Полная или частичная закупорка трубопровода может произойти по следующим причинам:

1.попадания в трубопровод строительного мусора, земли, кусков дерева и других предметов, по недосмотру оставленных в трубопроводе после строительства или ремонта;

2.застревания очистных устройств и автономных приборов диагностики, движущихся с потоком нефти: диагностические устройства, скребки, разделительные поршни и др.;

3.попадания и накопления мелких частиц породы, а также окарины и мелких кусочков металла, оставшихся на внутренних стенках труб;

4.образования ледяных пробок вследствие замерзания скопившейся в низких местах воды, попавшей в трубопровод при строительстве;

5.накопления большого количества парафиновых или полимерных отложений;

6.отложения кристаллогидратов (газогидратов) в газопроводах, образующихся при наличии влаги в газе при определенном давлении и температуре.

Известен ряд способов получения информации о состоянии линейной части магистрального трубопровода: устройства для контроля состояния проходного сечения трубопровода, использование внутритрубных инспекционных снарядов с ультразвуковыми датчиками, использование передвижных газоанализирующих установок, электрометрия и акустические определители мест утечек.

Указанные способы, обладая высокой информационной ценностью, не позволяют получать информацию о состоянии магистрального трубопровода в совокупном виде (обо всех возможных недостатках объекта и обладают низкой оперативностью).

Для решения задачи определения местоположения инородных объектов в трубопроводах мы предлагаем использовать метод радиоимпульсной рефлектометрии. Суть метода состоит в зондировании линии передачи (волновода) сверхвысокочастотным (СВЧ) импульсом наносекундной длительности с последующей фиксацией времени прохода отраженного от неоднородности импульса к входному концу волновода.

Применительно к нашей задаче волноводом является трубопровод. Отражение СВЧ импульса от инородного объекта происходит за счет разницы электрофизических параметров (ϵ , $\text{tg}\delta$) рабочей среды газопровода и инородного объекта.

Структурная схема лабораторного макета устройства обнаружения инородных объектов внутри трубопроводов приведена на рис. 1.

Сформированный генератором 2 импульс наносекундной длительности через ферритовый вентиль 3 поступает на вход I циркулятора 4 и далее через вход – выход II циркулятора, трансформатор типа волны 5, радиопрозрачную диэлектрическую вставку (окно ввода) 12 поступает в контролируемую трубу 6. С детектора 10 сигнал, пропорциональный мощности падающего импульса подается на запуск развертки устройства обработки и отображения информации (осциллографа) 11. Отраженный от инородного объекта 7 импульс возвращается на вход II циркулятора, через вход III проходит в согласованную нагрузку 8 и поглощается в ней. С детектора 9 огибающая отраженного импульса подается на устройство 11, формируя временную метку, отстоящую от начала развертки на время t_1 .

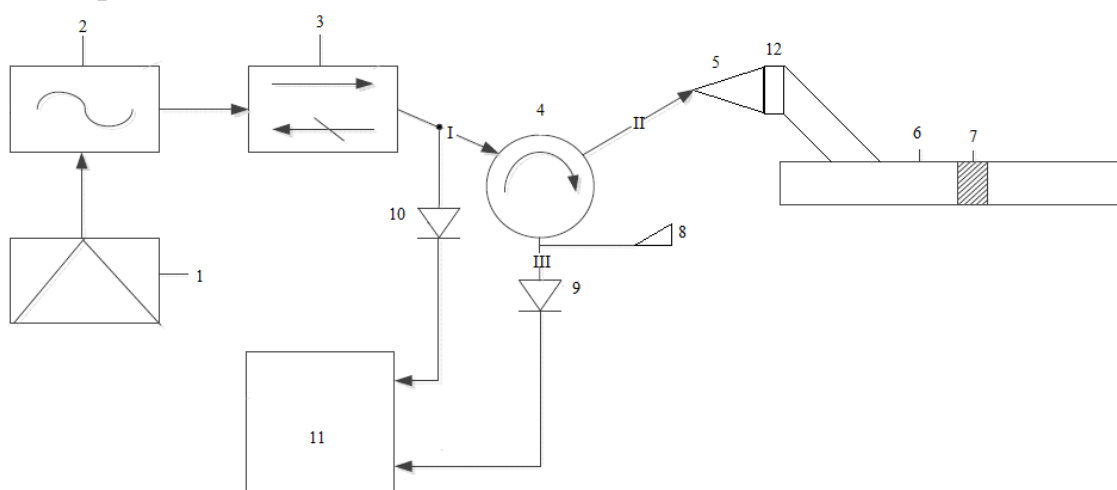


Рис. 1. Структурная схема устройства импульсной диагностики

Этот интервал равен времени пробега СВЧ импульса до инородного объекта и обратно. Зная скорость распространения СВЧ импульса по трубе ($\approx 0,3$ м/нс), можно определить расстояние от точки ввода СВЧ импульса в трубу до объекта по простой формуле

$$l_x = \frac{\Delta t \cdot V}{2}, \quad (1)$$

где V – скорость распространения СВЧ импульса по трубе.

Для выделения полезного сигнала предварительно записывается эхограмма контролируемого участка трубы, в котором заведомо отсутствуют инородные объекты. По мере необходимости производят сравнение этой опорной эхограммы с контрольной, в результате которого выявляется отсутствующий ранее импульс.

Данный способ позволяет отслеживать динамику изменения картины отраженных импульсов, постепенно пополняя банк данных типовых участков отраженной картины, облегчая интерпретацию и повышая ее точность.

Одно из основных преимуществ данного способа диагностики – оперативность.

Для оценки погрешности определения местоположения инородного объекта был проведен эксперимент. Инородным объектом, имитирующим гидратную пробку, послужил лед.

В качестве генератора СВЧ сигнала был выбран генератор на диоде Ганна типа 3А703Б, работающий в сантиметровом диапазоне длин волн, имеет минимальную непрерывную выходную мощность на одной из частот диапазона 8,24...12,5 ГГц не менее 20 мВт. В данном случае рабочая частота 10 ГГц. Тип волны, распространяющийся в волноводе, H_{11} .

Для детектирования СВЧ колебаний использовали диод Д3А, работающий в диапазоне длин волн 2,9 ... 5,4 см. Коэффициент качества диода при $P_{\text{пад}} = 20$ мВт и $\lambda_p = 3,2$ см составляет не менее $22 \text{ Вт}^{-1/2}$.

Для одного из выбранных местоположений инородного объекта время пробега зондирующего импульса до объекта и обратно составило 8 нс.

Скорость распространения СВЧ импульса в трубе рассчитывается по формуле 2.

$$V = c * \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda_p}{\lambda_{\text{кр}}}\right)^2}, \quad (2)$$

где

λ_p – рабочая длина волны, см;

c – скорость распространения ЭМВ в свободном пространстве, м;

$\lambda_{кр}$ – критическая длина волны, м.

Так как $\lambda_{кр} = 3,41 * R$, а $R = 9$ см, то $\lambda_{кр} = 30,69$ см.

Следовательно, расстояние от точки ввода СВЧ импульса в трубу до объекта составляет 1,2 м. Абсолютная погрешность измерения равна $\Delta = \pm 3$ см.

Для предварительной оценки потенциальных возможностей метода были измерены потери в пустой шлейфовой трубе диаметром 273 мм, которые составили 0,3 дБ/м.

С учетом коэффициента усиления усилителя, например, 50 дБ и минимальной обнаруживаемой мощностью приемника 10^{-9} Вт инородный объект может быть обнаружен на расстоянии ≈ 180 м при использовании генератора на базе магнетрона с выходной импульсной мощностью 230 кВт.

После проведенных расчетов можно сделать следующий вывод, что данный метод позволяет осуществлять непрерывный контроль напряженных участков трубы в местах с плотной застройкой, в местах, где расположены промышленные зоны, а также вблизи железных и автомобильных дорог.

Однако для оценки дальности в реальных условиях диагностики трубопроводов необходимо учитывать потери, как в стенках трубы, так и в среде.

Список информационных источников

1. Техника и приборы СВЧ. Под ред. академика Н.Д. Девяткова. Учебник для студентов вузов по специальности «Электронный прибор», М., «Высш. школа», 1970. 440 стр. с илл.

2. К.А.Коровин, В.П.Шиян СВЧ-метод определения местоположения инородных объектов в газопроводах // Спецвыпуск журнала «Репутация качества»: Материалы XII Международной научно-практической конференции «Качество-стратегия XXI века». Томск: издательство ТПУ, 2007. – 71 стр.