

## ОБНАРУЖЕНИЕ И УСТРАНЕНИЕ ГИДРАТНЫХ ПРОБОК В ГАЗОПРОВОДАХ

Стаднюк Е.И.

Научный руководитель: Шиян В.П. к.ф.-м.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: Lenusik\_ST@vtomske.ru

Природный газ, насыщенный парами воды, при высоком давлении и при определенной температуре способен образовывать твердые соединения с водой – гидраты. По внешнему виду это белая кристаллическая масса, похожая на лед или снег. Они состоят из одной или нескольких молекул газа (метана, пропана, углекислого газа и др.) и воды [1].

При добыче газа гидраты могут образовываться в стволах скважин, промысловых коммуникациях и магистральных газопроводах. Отлагаясь на стенках труб, гидраты резко уменьшают их пропускную способность.

В настоящее время существует несколько способов ликвидации гидратных пробок. Основным является ввод в газопровод ингибиторов, т.е. веществ, препятствующих гидратообразованию. В качестве ингибиторов могут применяться метиловый спирт (метанол), гликоли и 30%-ный раствор  $\text{CaCl}_2$ . Этот метод является на сегодняшний день наиболее эффективным, однако имеет ряд недостатков (высокая стоимость и токсичность некоторых ингибиторов). Для разложения гидратной пробки в зоне образования гидратов снижают давление. Сущность метода заключается в нарушении равновесного состояния гидратов, в результате чего происходит их разложение. При отрицательных температурах по методу снижения давления в некоторых случаях не получают должного эффекта, так как вода, образовавшаяся в результате разложения гидратов, переходит в лед и образует ледяную пробку. Метод подогрева гидратов приводит к их разложению, однако на магистральных газопроводах данный способ практически применять невозможно и экономически нецелесообразно, так как он требует больших капитальных и эксплуатационных расходов.

Образование гидратов является одной из основных проблем, связанных с процессами добычи, переработки и транспортировки природного газа и его производных жидкостей.

Очень важно знать места возможного гидратообразования в газопроводе, чтобы своевременно предупредить или ликвидировать гидратные пробки. Для решения задач обнаружения гидратных пробок 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. Преимуществом данного метода является то, что наряду с

пробками в газопроводах могут быть обнаружены и другие инородные объекты, например скребки для механической очистки труб, поршни и т.д.

Применительно к нашей задаче волноводом является трубопровод, а неоднородностью – гидратная пробка. Отражение СВЧ импульса от пробки происходит за счет разницы электрофизических параметров ( $\epsilon$ ,  $\text{tg}\delta$ ) рабочей среды газопровода и гидратной пробки. Рабочая среда представляет собой трехкомпонентную газоконденсатную смесь, состоящую из основной компоненты (газа), жидкого углеводородного конденсата в виде мелкодисперсных капель (аэрозоли) и воды – также в виде мелкодисперсных капель. Поскольку диэлектрическая проницаемость газа мала, например, для метана  $\epsilon_m = 1,08$  при  $P \approx 10$  МПа, то вклад в общую ДП будут вносить ДП газоконденсата и воды. При малых относительных объемах водяной компоненты значение ДП смеси можно принять равным ДП углеводородной компоненты,  $\epsilon_{\text{ув}} \approx 2,10$ .

В работе [2] представлен лабораторный макет устройства обнаружения инородных объектов внутри трубопроводов. Структурная схема устройства приведена на рис. 2.

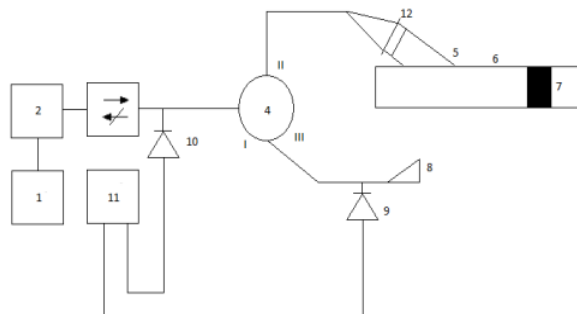


Рис. 2. Структурная схема устройства импульсной диагностики

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 огибающей отраженного импульса подается на устройство 11, формируя временную

метку, отстоящую от начала развертки на время  $t_1$ . Этот интервал равен времени пробега СВЧ импульса до инородного объекта и обратно. Зная скорость распространения СВЧ импульса по трубе (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. Эхограмма представляет собой зарегистрированную цифровым осциллографом и обработанную сопряженным с ним компьютером последовательность импульсов, отраженных от изгибов, запорной арматуры, стыков газопровода. По мере необходимости производят сравнение этой опорной эхограммы с контрольной, в результате которого выявляется отсутствующий ранее импульс, соответствующий возникающей гидратной пробке или иному инородному объекту в трубе. Данный способ позволяет отслеживать динамику изменения картины отраженных импульсов, постепенно пополняя банк данных типовых участков отраженной картины, облегчая интерпретацию и повышая ее точность. Вместе с тем появляется возможность отслеживать постоянное и периодическое изменение состояния контролируемого участка трубопровода.

После обнаружения гидратных пробок необходимо их ликвидировать. Для разрушения гидратных образований мы предлагаем использовать метод подогрева, т.е. повышение температуры с применением СВЧ энергии.

Так как рабочая среда в трубопроводе находится под высоким давлением (1,2 – 10 Мпа) [3], то возникает задача создания окна ввода СВЧ энергии, которое с одной стороны способно выдерживать высокие давления, а с другой обладает низким коэффициентом ослабления. В соответствии с указанными требованиями было разработано устройство ввода на основе Н-образного волновода с фторопластовой вставкой (ФГУП "НПП "Исток"). Внешний вид окна приведен на рис. 3.



Рис. 3. Окно ввода СВЧ импульса на базе Н – образного волновода с фторопластовой вставкой  
Данное окно было испытано на давление до 200 атмосфер. Оно также способно выдерживать

без пробоя прохождение СВЧ мощности свыше 5 кВт. Размеры окна составляют  $D = 16$  см,  $b = 4,5$  см. Были произведены измерения КСВН и коэффициента ослабления окна в диапазоне частот 2 – 4 ГГц. Частотная зависимость КСВН приведена на рис. 4.

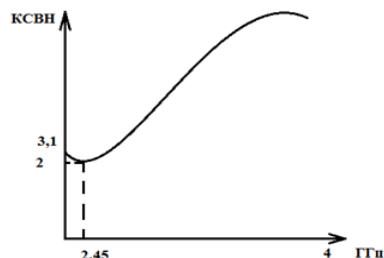


Рис. 4. Частотная зависимость КСВН окна ввода СВЧ

Для рабочей частоты 2,45 ГГц значение КСВН составил  $\rho = 2$ , а коэффициент ослабления –  $\alpha = 0,5$  дБ.

Коэффициент отражения равен

$$|\Gamma| = \frac{\rho - 1}{\rho + 1} = 0,333 \quad (2)$$

Принимая падающую мощность СВЧ за 100%, был рассчитан уровень отраженной мощности

$$P_{отр} = P_{пад} \cdot |\Gamma|^2 = 100\% \cdot 0,111 = 11,1\% \quad (3)$$

Приведенные характеристики окна ввода СВЧ энергии являются приемлемыми для его использования в наших исследованиях.

С целью предварительной оценки требуемых уровней СВЧ мощности для разрушения гидратных образований в качестве его имитатора примем лед. Простой расчет показывает, что для того чтобы растопить лед массой, например, 5кг потребуется

$$Q = c \cdot m \cdot (T_{кон} - T_{нач}) = 301,5 \text{ кДж}, \quad (4)$$

где  $c = 2,01 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{K)}$  – удельная теплоемкость льда,  $T_{кон} = 283,15 \text{ K}$  – конечная температура воды,  $T_{нач} = 253,15 \text{ K}$  – начальная температура льда.

Для более корректной оценки требуемого количества СВЧ энергии необходимо провести исследования реальных гидратных образований.

Список использованной литературы:

- 1) Эксплуатация магистральных газопроводов. Изд. 2-е, перераб. и дополн. И.Я.Котляр, В. М. Пиляк. Л., "Недра", 1971, 248 стр.
- 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.
- 3) Строительные нормы и правила. Магистральные трубопроводы. СНиП 2.05.06-85\*. Москва 1997.