



Т **РАНСПОРТ** **И ХРАНЕНИЕ**

НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ

4

МОСКВА · 1965

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ НЕФТЕДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
ПРИ ГОСПЛАНе СССР

ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ТЕХНИКО-
ЭКОНОМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО НЕФТЯНОЙ, НЕФТЕХИМИЧЕСКОЙ
И ГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Т **РАНСПОРТ** **И ХРАНЕНИЕ** **НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ**

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СБОРНИК

4

ЦНИИТЭ нефтегаз
МОСКВА 1965

ТРАНСПОРТ нефти и нефтепродуктов

УДК 622.692.4 : 534.6

Метод акустической локации для определения местоположения скребков, ершей и разделителей в нефте- и газопроводах

Е. В. РОМАНЕНКО

(Акустический институт АН СССР)

При испытаниях и эксплуатации нефте- и газопроводов часто возникает необходимость определить местонахождение скребков, ершей и разделителей в различные моменты их продвижения по трубопроводу [1].

С этой целью может быть применен метод акустической локации. Сущность его заключается в следующем (рис 1). Излучатель звука 1 посылает звуковой импульс в трубу 2, в которой находится подлежащий обнаружению объект 3, на некотором расстоянии l см от излучателя. Импульс звука, отражаясь от объекта, возвращается к излучателю, где и принимается специальным приемником звука. Измеряется время, прошедшее с момента излучения до момента приема звука. Расстояние до объекта рассчитывается по формуле

$$l = \frac{tC}{2},$$

где t — время, сек;
 C — скорость звука, см/сек.

Оценим возможность метода акустической локации в следующем частном случае:

1) труба заполнена воздухом при атмосферном давлении и температуре 0°C;

2) объект отражает 100% падающей на него звуковой энергии;

3) нелинейное поглощение звука в трубе пренебрежимо мало.

При распространении в круглой трубе, заполненной воздухом, звуковой импульс будет ослабляться в основном вследствие вязкостных и тепловых потерь на стенках трубы по закону

$$P_x = P_0 e^{-\alpha x}, \quad (2)$$

где P_0 и P_x — величины звукового давления в трубе соответственно у излучателя и на расстоянии x см от него (в дин/см²).

Коэффициент затухания α определяется формулой Кирхгофа—Гельмгольца [2]:

$$\alpha = \frac{1}{c \cdot R} \sqrt{\frac{\pi f}{\rho}} \left[\sqrt{\eta} + (\gamma - 1) \sqrt{\frac{K}{C_p}} \right], \quad (3)$$

где R — радиус трубы, см;
 f — частота звуковых колебаний, гц;
 ρ — плотность воздуха, заполняющего трубу, г/см³;
 η — сдвиговая вязкость воздуха, пз;
 $\gamma = C_p/C_v$, C_p и C_v — теплоемкость воздуха соответственно при постоянном давлении и объеме, кал/г·град;
 K — коэффициент теплопроводности воздуха, кал/сек·см·град.

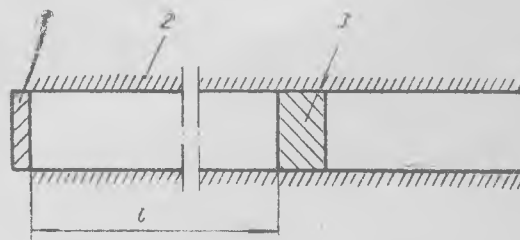


Рис. 1. Схема использования метода акустической локации для определения местонахождения объекта в трубе

Формула (3) свидетельствует о том, что для трубы данного диаметра ослабление звука тем меньше, чем ниже частота звука. Однако, во-первых, очень низкочастотные звуковые сигналы достаточно высокой интенсивности создать в трубе трудно, во-вторых, точность обнаружения местонахождения объекта в трубе будет тем ниже, чем ниже частота. Поэтому в каждом конкретном случае должен быть выбран оптимальный диапазон рабочих частот. Выбрать этот диапазон позволит источник звука, создающий звуковой импульс с достаточно широким спектром частот. Таким источником звука прежде всего может быть взрыв (холостой выстрел) в трубе или разряд электрического конденсатора. Могут быть предложены и другие способы создания широкополосного импульсного звукового сигнала типа взрыва (например, прорыв тонкой мембраны сжатым воздухом, сжигание тонкой проволоочки электрическим током большой величины и т. п.). Спектр звука, образующийся в результате взрыва или разряда, простирается от нуля до нескольких тысяч герц.

Так как при распространении в трубе звуковой сигнал вследствие затухания обедняется высокочастотными компонентами, то точность измерения расстояния до объекта будет тем меньше, чем больше дальность. Однако для каждой конкретной дальности может быть достигнута максимально возможная точность, если регистрация отраженного от объекта звукового сигнала будет осуществлена широкополосным приемником звука и анализ принятого сигнала будет произведен с помощью серии полосовых фильтров (например октавных) для увеличения отношения сигнал : шум на выходе приемной аппаратуры.

Для пояснения сказанного на рис. 2 приведены осциллограммы звукового давления, создаваемого при выстреле из пистолета на расстоянии 30 см от места выстрела. На осциллограммах [3] показаны составляющие спектра звука выстрела, заключенные в октавных полосах частот 150—300 и 300—600 гц.

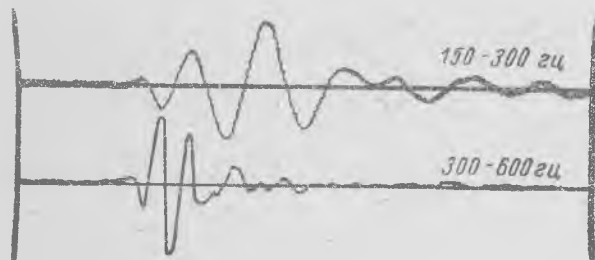


Рис. 2. Осциллограммы звукового давления, создаваемого при выстреле из пистолета на расстоянии 30 см

Легко заметить, что при пользовании осциллограммой, где составляющие спектра сигнала заключены в полосе частот 300—600 гц, точность определения дальности будет больше, чем в полосе 150—300 гц. Это замечание, однако, справедливо лишь до тех частот, при которых длина звуковой волны не превышает диаметра трубы. В каждом конкретном случае придется выбирать ту наиболее высокочастотную октаву, которая еще позволяет четко обнаруживать отраженный сигнал на фоне шумов. Эта октава и будет оптимальной для данной конкретной дальности.

Точность определения расстояния до отражающего объекта зависит не только от дальности, но также от температуры воздуха, заполняющего трубу. Последнее объясняется тем, что скорость звука в воздухе зависит от температуры. Для температур, близких к комнатной, эта зависимость имеет вид:

$$c = (33145 + 60,7 \cdot T^{\circ}\text{C}) \text{ см/сек.} \quad (4)$$

Если $T^{\circ}\text{C}$ сильно отличается от 20°C , то более точный результат дает формула

$$c = 33145 \sqrt{\frac{273 + T^{\circ}\text{C}}{273}} \text{ см/сек.} \quad (5)$$

Оценка показывает, что точность местонахождения отражающего объекта в трубе радиусом 50 см измеряется десятками метров, когда расстояние между объектом и источником звука составляет около 10 км.

Оценим дальность обнаружения отражающего объекта в трубе, которая может быть достигнута с помощью метода акустической локации.

Согласно Беранеку [3], в трубе сравнительно легко получить звуковой импульс с пиковым давлением около 30 дин/см^2 в полосе 1 гц в диапазоне частот от нуля до нескольких сот герц с помощью выстрела или разряда батареи электрических конденсаторов. При этом спектральная плотность энергии сигнала вблизи источника в указанном диапазоне частот будет почти постоянной.

Для приема отраженных сигналов могут быть использованы серийные микрофоны или специально разработанные приемники звука, достаточно чувствительные в диапазоне частот от единиц до сотен герц и обладающие возможно меньшим уровнем собственных шумов. С помощью пьезоэлектрических приемников можно принимать звук с минимальным давлением около 0,002 дин/см^2 . Следует иметь в виду, что большие помехи приему отраженных сигналов могут оказать микросейсмь [4] в том районе, где будут проводиться измерения.

Микросейсмсы — это колебания земной поверхности в том или ином районе, обусловленные движением поездов, грузовых автомобилей, телег, работой различного рода машин, действием морского прибоя, мороза, ветра и т. п. Оценка показывает, что звуковой фон за счет микросейсмсов в худшем случае может достигать величины $0,2 \text{ дин/см}^2 \cdot \text{октаву}$ в диапазоне частот от единиц до сотен герц.

Можно оценить дальность обнаружения отражающего объекта в трубе при различных условиях, используя соотношение

$$l = \frac{\ln \frac{P_0}{P_M}}{2 \alpha}, \quad (6)$$

которое является следствием формулы (2).

Здесь P_0 — величина звукового давления у источника звука, $\text{дин/см}^2 \cdot \text{октаву}$;

P_M — минимальная величина звукового давления, которая еще может быть зарегистрирована приемным устройством.

Такая оценка была проведена и результаты представлены на рис. 3. На графике показана дальность обнаружения в трубе радиусом 50 см отражающего объекта в зависимости от выбранной рабочей частоты. По оси ординат отложена дальность в км, по оси абсцисс — средние частоты октав. На графике выделена полоса значений дальности обнаружения. Верхней границе полосы соответствуют дальности обнаружения, которые могут быть достигнуты при отсутствии помех со стороны микросейсмсов. За минимально измеримое звуковое давление принято давление, равное $0,002 \text{ дин/см}^2 \cdot \text{октаву}$. Нижней границе полосы соответствуют дальности обнаружения при наличии помех со стороны микросейсмсов величиной $0,2 \text{ дин/см}^2 \cdot \text{октаву}$.

При увеличении интенсивности звука у источника дальность обнаружения будет возрастать пропорционально $\ln \frac{P_0}{P_M}$, как это следует из выражения (6). При уменьшении радиуса трубы дальность обнаружения будет пропорционально уменьшаться. Если труба заполнена воздухом при давлении $P_{ат}$, то дальность обнаружения возрастает в \sqrt{P} раз по сравнению с той, которая указана на рис. 3. Если труба заполнена не воздухом, а светильным газом, то дальность обнаружения будет примерно такой же, как и в случае заполнения трубы воздухом. При заполнении трубы водой или нефтепродуктами условия обнаружения отражающего объекта в трубе будут, по-видимому, не хуже, чем при заполнении воздухом.

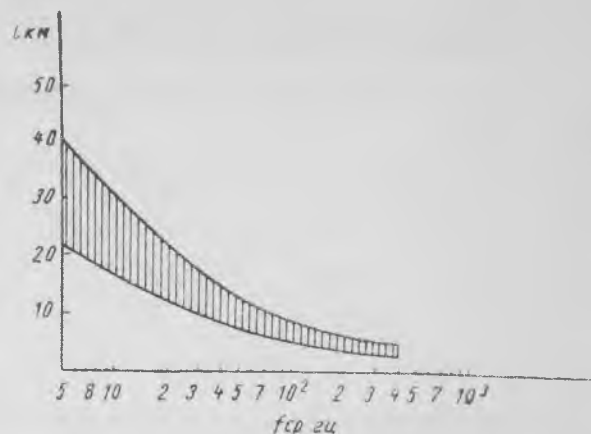


Рис. 3. Дальность обнаружения объекта в трубе диаметром 50 см в зависимости от выбранной рабочей частоты

Только при заполнении трубы газом или нефтепродуктами должен быть изыскан взрыво-безопасный способ создания в трубе импульса звука. Этот вопрос не представляет принципиальных затруднений.

Если отражающий объект имеет коэффициент отражения звука меньше единицы, то потери энергии звукового сигнала при отражении приведут к некоторому уменьшению дальности обнаружения. Учитывая, однако, что скребки, ерши и разделители изготавлиются, как правило, из металла или других твердых материалов, коэффициент отражения звука от них не должен сильно отличаться от единицы.

Что же касается нелинейного поглощения звука при распространении в трубе, то при условиях, при которых проводились оценки, оно пренебрежимо мало. Его необходимо учитывать в том случае, если величина давления у источника звука будет в 10—100 раз больше той, при которой проводились оценки.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. Б. Певзнер, Н. А. Бнатов, Л. О. Патик. Контроль и сигнализация прохождения скребков и разделителей по магистральным трубопроводам. НТС «Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов», № 5, М., 1964.

2. P. Mariens. Kirchoff-Helmholtz Absorption in Wide and in Capillary tubes at audible frequencies. JASA. v. 29, No. 4, 1957, p. 442—445.

3. Л. Беранек. Акустические измерения, ИЛ. М., 1952, стр. 30, 282—285.

4. Б. Гутенберг. Основы сейсмологии, ОНТИ. 1935, стр. 123.

23/XII 1964 г.