

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бергман. Ультразвук и его применение – М., 1956.
2. Воробьев Н.П. Исследование и разработка ультразвукового псевдоселективного измерителя уровня загрязненности воздуха для автоматизированной системы контроля: Дис. ... канд. техн. наук: Спец. 05.02.11/Н. П. Воробьев; ТПУ. – Томск, 1980.
3. Красильников В.А. Звуковые и ультразвуковые волны в воздухе, воде и твердых телах. – М., 1960.
4. Физические величины: Справочник / А. П. Бабичев, Н. А. Бабушкина и др.; Под ред. Н.С. Григорьева, Е.З. Мейлихова. – М., 1991.

УДК 615.47:617-089

А.И. Солдатов, С.А. Цехановский

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ РАСХОДОМЕР С ВОЛНОВОДНЫМ АКУСТИЧЕСКИМ ТРАКТОМ

Ультразвуковые расходомеры в последнее время находят все более широкое применение в различных областях промышленности. Однако используются они в основном для контроля расхода жидких продуктов. Использование их для измерения расхода газов и скорости газов в трубопроводах ограничено из-за сильного затухания ультразвука, которое резко растет с увеличением частоты. Для регистрации малых расходов необходимо увеличивать размеры акустического канала, что требует учета особенностей распространения ультразвука в волноводах. Волноводный акустический тракт имеет нелинейную амплитудно-пространственную характеристику, обусловленную многомодовым характером распространения акустических сигналов в волноводе. Экспериментальные данные амплитудно-пространственной характеристики для частот 40 кГц (рис. 1) и 200 кГц (рис. 2) были сняты для различных диаметров волноводов.

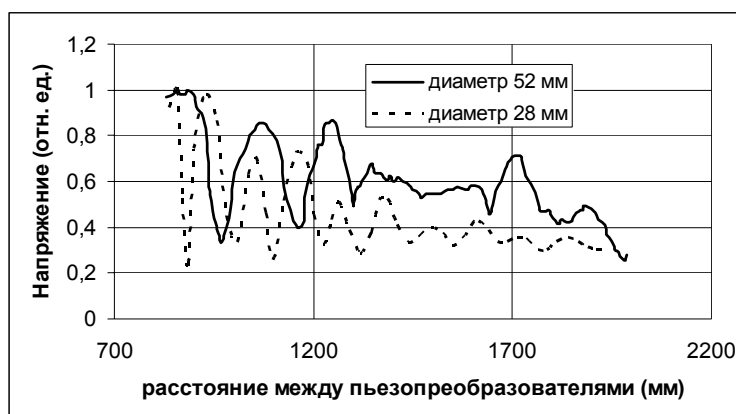


Рис. 1. Зависимость нормированной амплитуды сигнала на приемнике от расстояния до излучателя для частоты 40 кГц

Как видно из рисунков, изменения амплитуды сигнала в волноводе может достигать 10 раз. Это приводит к неоднозначности определения временного интервала и, следовательно, к появлению погрешности расчета скорости распространения ультразвука в контроли-

руемом потоке, которая является информативным параметром для определения расхода газа или жидкости. Поэтому выбор параметров акустического тракта, к которым относятся длина волны, диаметр и длина волновода, является одной из важнейших задач при проектировании ультразвукового расходомера.

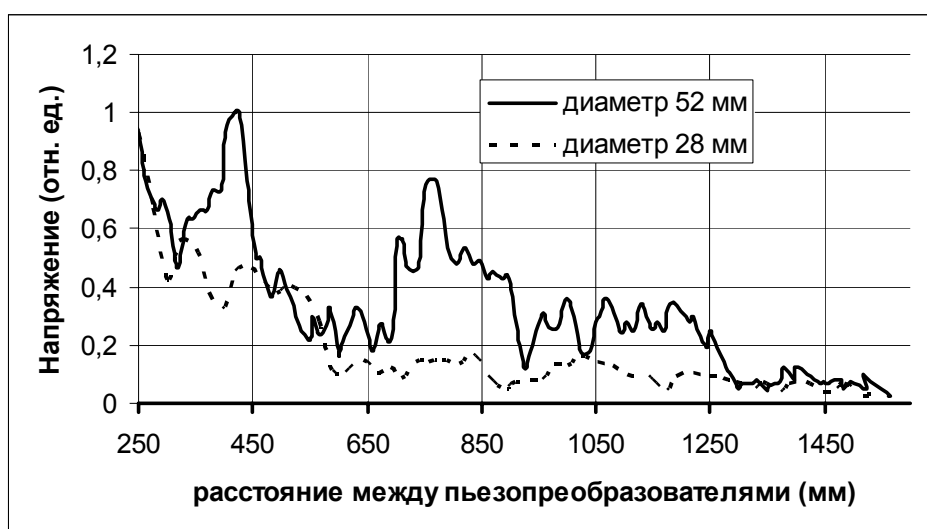


Рис. 2. Зависимость нормированной амплитуды сигнала на приемнике от расстояния до излучателя для частоты 200 кГц

Для выбора оптимальных параметров волноводного акустического тракта была разработана модель с использованием метода геометрической акустики. На одном конце волновода размещен излучатель, на расстоянии Z от него расположен приемник. Обозначим диаметр волновода R_w . Рассмотрим простейший случай, когда излучатель и приемник имеют размеры много меньше длины волны и их можно считать точечными. Сигнал на приемнике будет представлять сумму сигналов, пришедших на приемник от излучателя со своей фазой, в зависимости от пройденного акустического пути. Для нахождения всех возможных путей от излучателя до приемника рассмотрим поперечное и продольное сечения волновода рис. 3, на котором для примера показана одна траектория луча при трех отражениях. Таких траекторий для трех отражений может быть некоторое множество, зависящее от положения пьезопреобразователей в волноводе, соответственно и количество отражений тоже будет некоторое множество, которое определяется из условия полного внутреннего отражения на приемнике. Следовательно, выражение для амплитуды сигнала будет иметь вид

$$A = \sum_k \sum_i A_{m_{ki}} * \sin(\omega t + \varphi_{ki}),$$

где $A_{m_{ki}}$ – модуль амплитуды k -го отражения, i -й траектории, φ_{ki} – фаза соответствующего луча.

Если приемник и излучатель имеют размеры, превышающие точечные, то необходимо взять интеграл по площади излучателя и приемника:

$$A = \iint \sum_k \sum_i A_{m_{ik}} * \sin(\omega t + \varphi_{ki}) dS_m dS_n.$$

Полученные расчетные зависимости амплитуды сигнала на приемнике очень хорошо согласуются с экспериментальными данными. Увеличение скорости распространения

ультразвука по потоку приводит к увеличению длины волны и изменению фазовых соотношений мод, распространяющихся в волноводе.

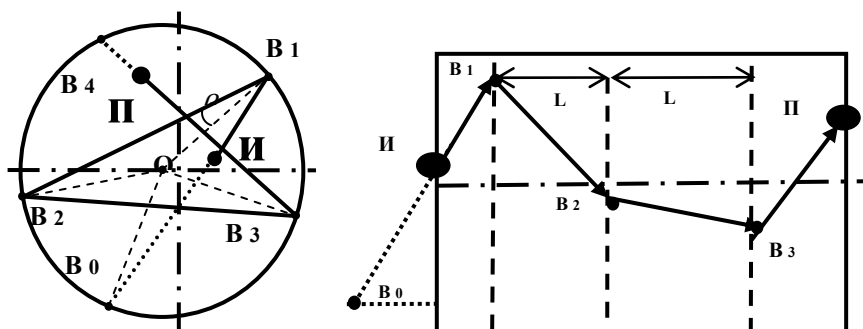


Рис. 3. Модель волновода, И – излучатель, П – приемник, V^i – точки пересечения ультразвукового луча со стенкой волновода

Анализ расчетных данных показывает, что в этом случае амплитудно-пространственная характеристика смещается в сторону больших значений длин (наблюдается эффект растягивания характеристики). И наоборот, уменьшение скорости распространения ультразвука против потока приводит к уменьшению длины волны и к смещению амплитудно-пространственной характеристики в сторону меньших значений длин (происходит сжатие характеристики). При незначительных изменениях скорости ультразвука в потоке изменение амплитуды сигнала незначительно, вследствие малого диапазона изменения амплитудно-пространственной характеристики. Кроме того, анализ экспериментальных данных показал, что с увеличением длины акустического канала задержка распространения ультразвуковой волны изменяется неравномерно.

С учетом приведенных факторов нами был разработан ультразвуковой расходомер для ксеноновой анестезии. Структурная схема устройства приведена на рис. 4.

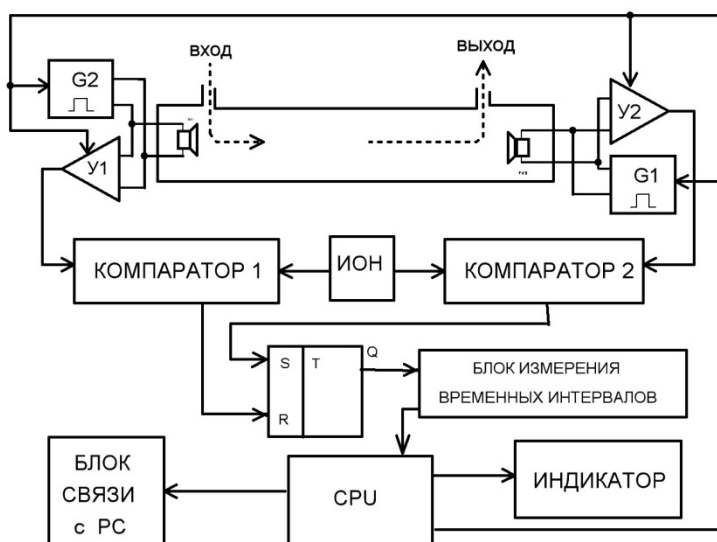


Рис. 4. Структурная схема расходомера

Расходомер состоит из двух одинаковых каналов, работающих по потоку и против потока. В акустическом тракте применены два ультразвуковых преобразователя, расположенных на противоположных концах волновода и работающих в совмещенном режиме. Излучение по потоку и против потока происходит одновременно пачкой из нескольких импульсов, причем период повторения импульсов выбран из условия их разделения на приемниках, количество импульсов в пачке определяется временем распространения ультразвука по потоку при максимальной скорости потока, а период повторения пачки импульсов определяется временем распространения ультразвука против направления потока при максимальной скорости потока. Ультразвуковой импульс, распространяющийся по потоку, принимается пьезопреобразователем, усиливается и поступает на вход компаратора 2, а с него на вход установки триггера. Импульс, распространяющийся против потока, принимается другим пьезопреобразователем, усиливается усилителем 1 и поступает на вход компаратора 1, а с него на вход сброса триггера. Таким образом, на выходе триггера формируется временной интервал, пропорциональный удвоенной скорости потока. Блок измерения временного интервала позволяет измерять временной интервал с дискретностью 10 нс.

Диаграммы, поясняющие работу расходомера, приведены на рис.5.

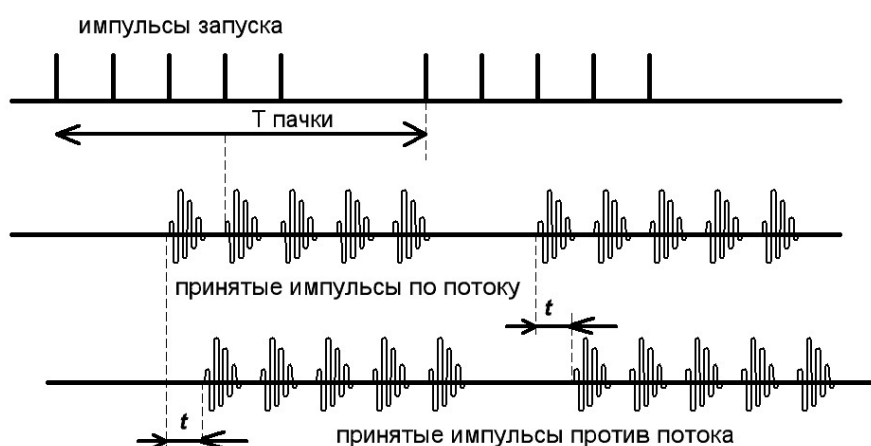


Рис. 5. Диаграмма работы расходомера

Скорость потока определяется из выражения

$$V = 2 \cdot Z / t,$$

где Z – длина акустического тракта, t – временной интервал на выходе триггера.

Для исключения реверберационных процессов в волноводе на его торцах установлены акустические ловушки. Первичная обработка данных производится микроконтроллером и передается в персональный компьютер для создания базы данных, позволяющих наблюдать динамику изменения расхода. Частота работы ультразвуковых пьезопреобразователей была выбрана 200 кГц, а длина акустического тракта 1000 мм, что позволило работать не только на частоте 200 кГц, но и на частоте 40 кГц без существенного уменьшения амплитуды сигнала на приемнике.