

построения тональных аудиограмм по выполненной выборке из базы данных имеет вид, показанный на рис. 2.

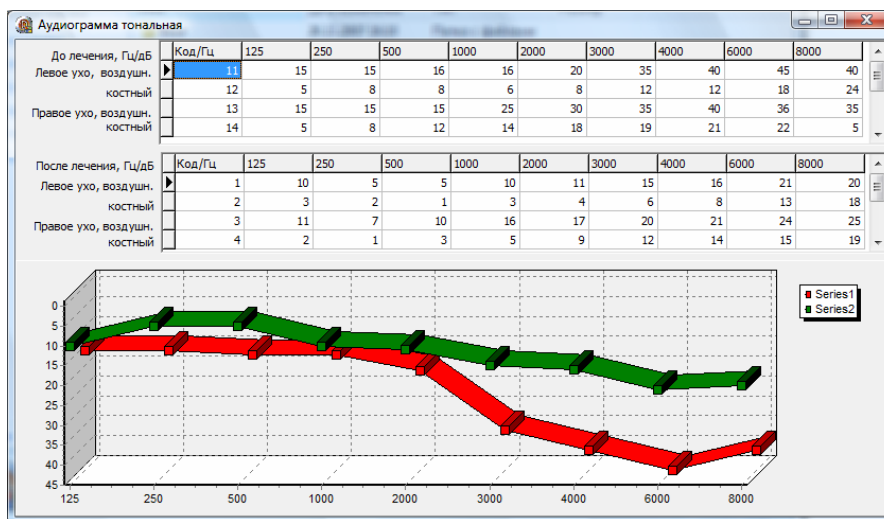


Рис.2. Окно вывода тональной аудиограммы

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кириченко И.А., Бросалин А.В. Нелинейные преобразования речевых сигналов в аудиометрии // Известия ТРТУ. – Таганрог. –1998. – №4. – С. 155–156.
2. Кириченко И.А., Бондаренко Р.П. Биотехническая система для аудиометрии с нелинейным преобразованием речевого сигнала // Известия ТРТУ. – Таганрог. –2006. –№11. – С. 160–161.
3. Хоменко А.Д. Самоучитель Delphi.NET. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 464 с.

УДК 615.47:617-089

А.И. Солдатов, С.А. Цехановский, В.С. Макаров

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ГАЗОАНАЛИЗАТОР ДЛЯ АНЕСТЕЗИИ

В настоящее время в России широко распространена комбинированная анестезия с использованием слабого и не безупречного анестетика – закиси азота. Из-за токсичности и экологической безопасности теряют свои позиции галогеносодержащие анестетики – фторотан, пентран. Вместе с тем будущее остается за экологически чистыми и комфортными анестетиками. К их числу относится ксенон. Ксенон экологически безопасен, обладает рядом преимуществ: не горюч, не взрывоопасен, не токсичен, не имеет запаха и цвета, обладает достаточной наркотической силой.

В настоящее время активизировалась работа по конструированию новых образцов наркозных аппаратов, адаптированных или модернизированных под ксенон. Одновременно идет разработка комплектующих изделий наркозной техники, адсорбентов для ксенона, газоанализаторов. Важным требованием для газоанализаторов является получение оперативной информации о газовом составе, необходимой для управления современными сис-

темами анестезии.

Существуют различные методы исследования газового состава. Методы анализа бинарных смесей подразделяются на косвенные (инструментальные) и прямые (химические) методы. Механические методы анализа, основанные на измерении молекулярно-механических параметров состояния или свойств анализируемой газовой смеси, не обладают, как правило, высокими точностными характеристиками, пригодными для газового анализа. Тепловые методы могут служить мерой концентрации, однако недостатком анализаторов, основанных на тепловом эффекте, является отравление катализатора, действие которого нарушается каталитическими ядами, которые могут присутствовать в анализируемом газе или выделяться на поверхности катализатора. Магнитные методы анализа используются, прежде всего, для определения кислорода.

Акустические методы анализа, в отличие от рассмотренных выше, достаточно просты в реализации, обладают высокой чувствительностью, легко поддаются автоматизации и позволяют получать информацию о концентрации и, кроме того, о расходе газа при использовании одного первичного преобразователя. Оптимальным решением многочисленных вариантов является использование ультразвукового преобразователя. В литературе нам не удалось обнаружить материал по использованию ультразвуковых газоанализаторов для контроля содержания ксенона в газовой смеси, поэтому возникла задача проведения теоретических и экспериментальных исследований о возможности использования ультразвукового метода для решения этих задач.

Для того чтобы оценить метрологические характеристики ультразвукового метода измерения концентрации ксенона, необходимо построить аналитические зависимости.

Процесс распространения упругих механических колебаний в газах неразрывно связан с характеристиками среды. Акустические свойства вещества характеризуются удельным акустическим (волновым) сопротивлением среды $Z = \rho \cdot c$ – произведение плотности (ρ) среды на скорость звука (c). Скорость распространения звуковых колебаний в газах и коэффициент поглощения являются основными величинами, характеризующими как форму звуковой волны, так и характеристику звукового поля. Скорость звука в газах определяется формулой [1]

$$c = \sqrt{RT\gamma/M}, \quad (1)$$

где $R=8,314 \cdot 10^7$ эрг/град – универсальная газовая постоянная; T – универсальная температура, К; M – молекулярная масса вещества; $\gamma=C_p/C_v$ – отношение удельных теплоемкостей; C_p – удельная изобарная теплоемкость; C_v – удельная изохорная теплоемкость.

Последнюю формулу часто записывают в виде [3]

$$c = \sqrt{\frac{P\gamma}{\rho}}, \quad (2)$$

где P – давление газа; ρ – плотность газа. Последняя формула получается из формулы (1) при использовании уравнения состояния газа, если положить $M/V=\rho$.

Формула (2) пригодна для той температуры t , при которой измерены P и ρ . Как известно, $P/\rho = (P_0/\rho_0)(1 + \alpha t)$; следовательно, вместо формулы (2) можно написать более общую:

$$c = \sqrt{\frac{P_0\gamma \cdot (1 + \alpha t)}{\rho_0}} \quad (3)$$

Из формулы (1) можно получить отношение скоростей звука в каком-либо газе при двух различных абсолютных температурах t_1 и t_2 [1]:

$$\frac{c_{t_1}}{c_{t_2}} = \sqrt{\frac{t_1}{t_2}}. \quad (4)$$

Это выражение справедливо лишь для звуковых волн, длина которых по порядку величины превышает длину свободного пробега молекулы ($\approx 10^{-5}$), т.е. при частотах звука, не превышающих 105 кГц. Формула для скорости ультразвука в смеси двух газов, полученная на основании правила смешения, имеет вид [1]

$$c^2 = \frac{RT}{xM + (1-x)M_1} \cdot \frac{x C_p + (1-x) C_{p1}}{x C_v + (1-x) C_{v1}}, \quad (5)$$

где M – молекулярный вес ксенона; M_1 – молекулярный вес кислорода; C_p , C_v – удельная изобарная и удельная изохорная теплоемкость ксенона; C_{p1} , C_{v1} – удельная изобарная и удельная изохорная теплоемкость кислорода; x – концентрация ксенона, в долях.

По полученному уравнению был построен график изменения скорости ультразвука в зависимости от концентрации кислорода и ксенона (рис.1).

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что с изменением объемной доли ксенона в смеси с кислородом от 0 до 100 %, скорость ультразвука изменяется в пределах от 314,5 до 169,7 м/с (рис.1), следовательно, возможен контроль содержания ксенона ультразвуковым методом. Необходимо также уточнить, что приведенные расчеты соответствуют условиям внешней среды $t=0$ °C (273 K), $P=0,10135$ МПа. Поэтому в реальных условиях необходимо учитывать изменение скорости звука при изменении температуры среды.

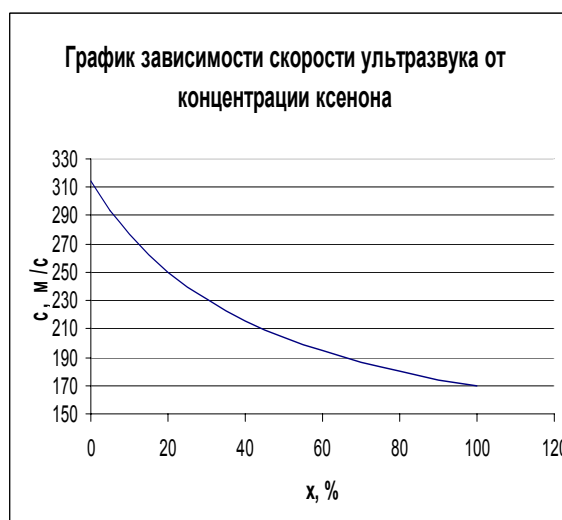


Рис. 1. Зависимость скорости ультразвука от концентрации ксенона

Для проверки теоретических расчетов был разработан ультразвуковой газоанализатор, структурная схема которого представлена на рис. 2.

Акустический тракт газоанализатора состоит из волновода с двумя датчиками, работающими в совмещенном режиме, которые расположены на противоположных концах волновода длиной L . К волноводу подведена емкость с газовой смесью, в нашем случае кислород с ксеноном. CPU разрешает работу генераторов $G1$ и $G2$ и ультразвуковые датчики одновременно излучают акустические импульсы, которые пройдя через исследуемую среду принимаются ультразвуковыми датчиками, усиливаются избирательными усилителями $У1$ и $У2$ и поступают на входы компараторов 1 и 2. На вторые входы компараторов подается напряжение порога с источника опорного напряжения. С выходов компараторов сигнал поступает на вход прерываний $INT0$ и $INT1$ соответственно.

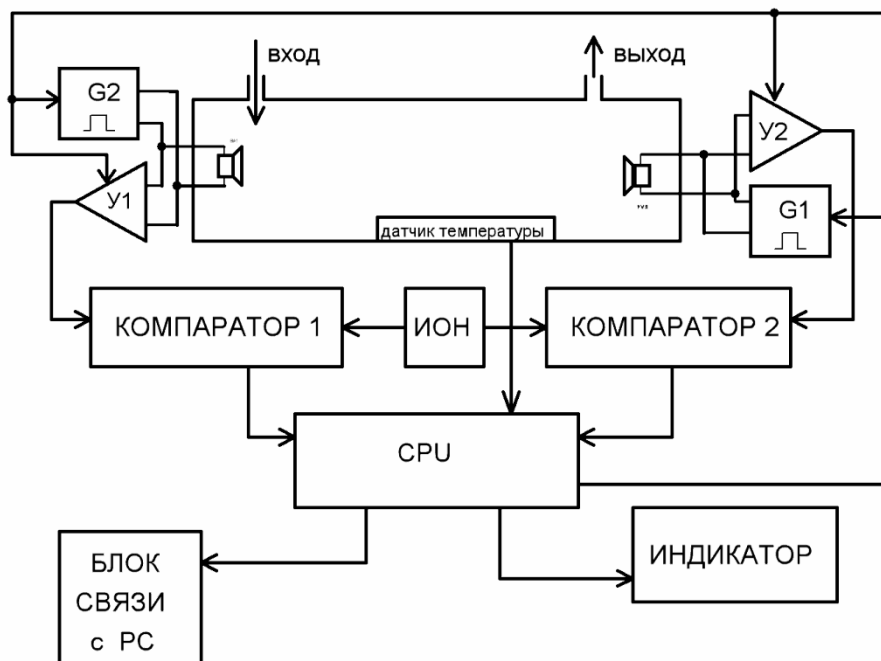


Рис. 2. Структурная схема ультразвукового газоанализатора

По сигналам прерывания фиксируется время прохождения акустических импульсов в исследуемой среде во встречных направлениях. Это позволяет исключить влияние движения газа через акустический тракт на результат измерения. Время распространения ультразвука в исследуемой среде по схеме на рис. 2, считая, что оба датчика находятся на одной прямой, определяется из выражения

$$T_{пр} = L/c + L/Vn$$

$$T_{обр} = L/c - L/Vn$$

$$T = T_{пр} + T_{обр} = L/c + L/Vn + L/c - L/Vn = 2L/c$$

где $T_{пр}$ – время прямого прохождения луча; Vn – скорость потока газовой смеси; $T_{обр}$ – время обратного прохождения луча; L – расстояние между датчиками.

Из формулы видно, что суммарное время распространения акустического импульса в контролируемой среде не зависит от скорости потока среды. Мешающим фактором при использовании такого газоанализатора для ксеноновой анестезии является наличие третьего газа, который существенно меняет выходную характеристику. Этим газом является азот, выделяемый организмом, содержание которого может меняться от 0 до 6 % за время проведения операции, поэтому необходимы дальнейшие теоретические и экспериментальные исследования, позволяющие определить влияние азота на погрешность измерения концентрации ксенона. Так как температура контролируемой среды может изменяться, то в газоанализаторе предусмотрен датчик температуры.

Разработанный газоанализатор проходит испытания в Томском онкологическом центре при проведении операций с ксеноновой анестезией. Диапазон измеряемых концентраций колеблется в пределах 55 – 65 %.

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.

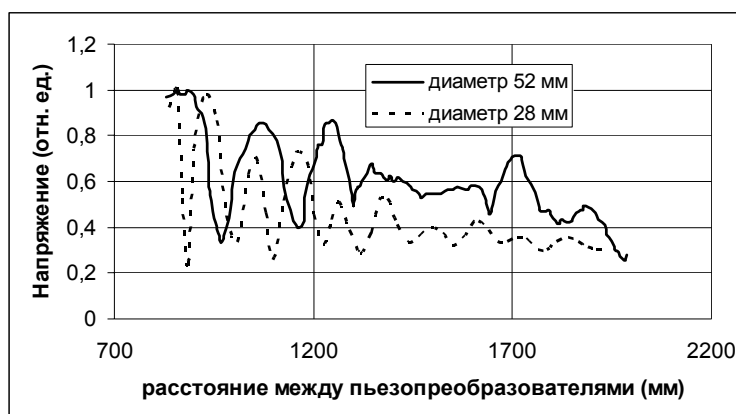


Рис. 1. Зависимость нормированной амплитуды сигнала на приемнике от расстояния до излучателя для частоты 40 кГц

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-