

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

*Кафедра компьютерной физики и метаматериалов  
на базе Саратовского филиала  
Института радиотехники и электроники  
имени В.А. Котельникова РАН*

**УЛЬТРАЗВУК В ГАЗОВОЙ СРЕДЕ**

**АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ**  
студента 4 курса 431 группы  
направления 03.03.02 «Физика» физического факультета  
**Камочкина Вадима Сергеевича**

Научный руководитель  
д.ф.-м.н. профессор

В. В. Петров

Заведующий кафедрой  
компьютерной физики и метаматериалов,  
д.ф.-м.н. профессор

В.М. Аникин

Саратов

2017 год

## Введение

**Актуальность темы** обусловлена широким спектром физико-технического применения ультразвуковых волн, в частности для измерения расхода природного газа с помощью ультразвуковых волновых пучков. Сегодня методы ультразвуковых измерений практически вытеснили другие методы, принимая во внимание отсутствие в разрабатываемых системах механически движущихся частей и высокую точность измерений.

**Целью** работы является изучение практических аспектов применения ультразвуковых датчиков.

Задачами работы являются изучение вопросов применения:

а) ультразвукового (УЗ) датчика (УЗД) для газовых расходомеров для генерации и приема акустических волн в газовых средах в частотном диапазоне от 50 до 500 кГц;

б) ультразвукового (УЗ) датчика (сенсора, УЗС) для обнаружения физических объектов, находящихся в зоне действия сенсора и измерения расстояния до этих объектов в диапазоне от 10 до 200-300 кГц.

**Структура работы.** Работа состоит из 4 глав общим объемом 85 с. Библиографический список – 25 источников.

Содержание работы по главам:

Введение.

1. Теоретическая часть.

Распространение ультразвука в газовой среде.

Возбуждение и прием ультразвуковых колебаний.

2. Акустические расходомеры.

Общая характеристика.

Излучатели и приемники акустических колебаний.

Принцип действия и разновидности расходомеров.

Влияние профиля скоростей.

Преобразователи ультразвуковых расходомеров.

Фазовые, частные и импульсные ультразвуковые расходомеры.

Ультразвуковые расходомеры с коррекцией на скорость звука и плотность измеряемого вещества.

Погрешности расходомеров, основанных на перемещении акустических колебаний.

3. Ультразвуковой измеритель расстояния.

Состав и конструкция ультразвукового сенсора.

Устройство ультразвукового приемо-излучающего датчика.

4. Экспериментальная часть.

Измерение диаграммы направленности.

Измерение резонансных частот УЗ датчиков.

Исследование зависимости скорости звука от температуры.

Заключение.

Список использованных источников.

## Основные результаты работы

Широкое распространение использования ультразвуковых волн в газовой среде обусловлено появлением новых надёжных средств излучения и приёма акустических волн, с одной стороны, обеспечивших возможность существенного повышения излучаемой ультразвуковой мощности и снижение затухания ультразвука в воздухе, для обеспечения достаточной протяженности измеряемой базы, а с другой — позволивших продвинуть использование УЗ датчиков для работы в жестких климатических условиях в широком диапазоне температур (от  $-60^{\circ}\text{C}$  до  $+100^{\circ}\text{C}$ ).

Актуальным является вопрос применения ультразвуковых (УЗ) датчиков, предназначенных для генерации и приема акустических волн в газовых средах.

Описанные в данной работе ультразвуковой (УЗ) датчик для газовых расходомеров и ультразвуковой сенсор, предназначенный для обнаружения физических объектов, находящихся в зоне действия сенсора и измерения расстояния до этих объектов имеют широкое применение, обусловленное целым рядом достоинств.

Одним из основных достоинств УЗ расходомеров является отсутствие механически подвижных деталей и узлов. Другим несомненным преимуществом оказывается весьма широкий диапазон внешних воздействующих факторов, при которых УЗ расходомеры остаются работоспособными и сохраняют высокие эксплуатационные характеристики. В частности, таким внешним воздействующим фактором является температура рабочего вещества (газа).

Широкое применение ультразвуковых сенсоров в современных системах мониторинга и контроля обусловлено целым рядом достоинств ультразвуковых методов. Это, в частности: отсутствие механически подвижных элементов; возможность эксплуатации в условиях агрессивных сред; работа в сложных климатических условиях — в широком диапазоне температур, при высокой

влажности, в условиях задымленности и тумана; высокая точность измерений; УЗ датчики оказываются вне конкуренции в сравнении с инфракрасными датчиками, которые не могут работать в условиях задымленности, или тумана. Кроме того, инфракрасные датчики допускают ложные срабатывания, реагируя, например, на тепловые потоки от отопительных батарей или на прямой солнечный свет, имеющий широкий спектр излучения. Ультразвуковые сенсоры в подобных условиях сохраняют высокую работоспособность.

Основными достоинствами разрабатываемого УЗ сенсора являются высокие технические характеристики, лежащие на уровне лучших мировых аналогов. Данные преимущества реализуются за счет применения разработанного УЗ приемо-излучающего элемента с оптимизированными параметрами, а также алгоритма обработки принимаемых сигналов.

Ультразвуковой (УЗ) приемо-излучающий датчик для газового расходомера является основным элементом устройств, использующих ультразвуковые волны в качестве зонда для решения целого ряда практических задач.

В частности, при разработке ультразвуковых измерителей расхода газа, характеристики ультразвуковых датчиков определяют основные технические свойства расходомеров. По этой причине разработка высокоэффективных и надежных в работе УЗ датчиков является, фактически, основным звеном при построении УЗ системы измерения расхода газа в целом.

Основным назначением разработанных макетных образцов приемо-излучающих узлов является экспериментальное исследование применимости тех или иных комбинаций технологий и композитов, которые могли бы быть использованы при производстве и эксплуатации УЗ датчиков, предназначенных для работы в температурном диапазоне  $-60^{\circ}\text{C}$  до  $+100^{\circ}\text{C}$ .

Разрабатываемый ультразвуковой (УЗ) датчик (сенсор) предназначен для обнаружения физических объектов, находящихся в зоне действия сенсора и измерения расстояния до этих объектов. Такой сенсор может быть использован

к датчик присутствия или датчик перемещения в системах сигнализации и охраны объектов или в интеллектуальных системах управления жилыми или производственными объектами.

Например, сенсор, инкорпорированный в комплекс «Умный дом», сможет включать освещение в помещении, в которое входит человек, и поддерживать помещение освещенным, пока в нем находятся люди. Эта энергосберегающая функция прибора выгодно отличает его от существующих и используемых для аналогичной цели датчиков движения, которые при движении объекта внутри помещения для действия датчика включают освещение на фиксированное время, после чего освещение выключается и требуется возобновить движение, чтобы вновь произошло включение. Разрабатываемый сенсор позволяет удерживать освещение включенным в течение всего времени пребывания человека в помещении.

Также разрабатываемый УЗ сенсор может быть использован в качестве элемента охранной сигнализации и включать тревожные устройства в случае санкционированного проникновения в зону действия датчика.

С другой стороны, такой сенсор может найти применение как датчик уровня для различных систем накопления и расходования жидкостей или сухих пылевых продуктов.

Например, в комплексе «Умный дом» могут использоваться различные системы хранения и возобновления запаса воды. Разрабатываемый УЗ сенсор может служить датчиком уровней и при уменьшении уровня воды ниже критического значения выдавать сигналы на устройства включения насоса для пополнения воды, а затем, при достижении заданного уровня, подавать сигналы на устройства выключения насоса.

Разрабатываемый ультразвуковой датчик, содержащий приемопередаточный УЗ элемент, акустическую систему корректировки диаграммы направленности, электронную схему, включающую генератор импульсов, усилитель принимаемых сигналов, контроллер для обработки информации и

вывода пользовательских данных, может найти применение для решения целого ряда практических задач. Ниже приведен далеко не полный перечень возможных применений.

- Обнаружение объектов. УЗ датчик разрабатываемого типа может быть использован для обнаружения объектов, появляющихся в зоне действия датчика, не зависимо от материала объекта, его цвета, яркости освещения, прозрачности, задымленности, или загазованности помещения. При этом такие устройства могут работать в широком диапазоне температур<sup>1</sup> (от -25 до 60 градусов Цельсия).

- Перемещение объектов. УЗ датчик может быть также использован для контроля и измерения перемещения объектов в широком диапазоне расстояний (от 50 см до 8 метров) с высокой степенью точности (до 1 %).

- Измерение уровня жидкостей или сыпучих веществ является также одной из задач, лежащей в рамках возможных функций разрабатываемого УЗ датчика. При этом точность измерения уровня может составлять до единиц миллиметров на один метр измеряемого уровня.

- Счет продукции на потоковых производствах. Разрабатываемый датчик может также найти применение в массовом производстве штучных изделий при конвейерной технологии для автоматического счета количества выпускаемых изделий. При этом датчик может быть инкорпорирован в систему упаковки с исполнительным механизмом, отсекая заданное количество изделий в партии.

- Контроль провисания ленточной продукции, контроль смещения кромки ленты, контроль диаметра рулона. При производстве ленточных материалов разрабатываемый УЗ датчик может найти применение для измерения диаметра рулонов с точностью до единиц миллиметров, а также для измерения поперечного смещения кромки ленты и обеспечения обратной связи для управления скоростью подачи материала. Также такой датчик может измерять степень провисания ленточного материала для оптимизации технологического процесса.

- Обеспечение безопасности сближения. Разрабатываемый УЗ датчик может также найти применение в системах обеспечения безопасности сближения различных механизмов и машин.

- Контроль тяги в вытяжных вентиляционных трубах и дымоходах. УЗ датчик разрабатываемого типа может также быть использован в системах безопасности помещений с повышенной загазованностью для контроля скорости газового потока в вытяжных трубах и воздуховодах.

Разрабатываемый сенсор выгодно отличается от существующих аналогов в части соотношения характеристик: потребительское качество / стоимость.

Для разработчиков охранных систем, где ультразвуковые сенсоры востребованы как датчики присутствия или перемещения,<sup>1</sup> а также для разработчиков систем контроля уровня или других систем, весьма существенным обстоятельством является степень завершенности конструкции таких сенсоров. В частности, важным обстоятельством является наличие электронной «обвязки» такого сенсора, имеющей встроенный генератор электромагнитных импульсных или непрерывных сигналов, встроенный приемник и усилитель сигналов, характеризующих отраженный ультразвуковой импульс, малое потребление энергии питания, малые габаритные размеры, удобный интерфейс и приемлемый набор пользовательских функций. При этом наибольшим спросом пользуются сенсоры, имеющие максимально высокое отношение характеристик: функциональное качество / цена.

Несмотря на большое количество разработанных измерительных ультразвуковых систем и устройств, направление ультразвуковой сенсорики продолжает активно развиваться в настоящее время, что обусловлено, наряду с достоинствами УЗ методов, простотой конструкции самих датчиков, их сравнительно невысокой стоимостью и широким спектром применений. С учетом возможностей, открывающихся использованием новейших методов обработки сигналов, УЗ сенсоры оказываются практически безальтернативными при разрешении множества технических задач.

## **Заключение**

При выполнении работы проведены экспериментальные исследования характеристик ультразвуковых приемо-излучающих датчиков, являющихся основным элементом газовых расходомеров, подтвердившие эффективность их использования.