

**Савчиц А.В.**

**Технические средства  
информационных систем**

**Волжский**

**2018**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ  
ВОЛЖСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (ФИЛИАЛ)  
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО  
УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОЛГОГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

А.В. Савчиц

# **Технические средства информационных систем**

Электронное учебное пособие



2018

УДК 004.3(07)  
ББК 32.81  
С 137

Рецензенты:

Кандидат технических наук, доцент кафедры АТП ВолгГТУ  
*Алёхин А.Г.*,  
кандидат технических наук, инженер первой категории ООО «Синергия»  
*Браганец С.А.*

Издается по решению редакционно-издательского совета  
Волгоградского государственного технического университета

Савчиц, А.В.

Технические средства информационных систем [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.В. Савчиц ; ВПИ (филиал) ВолгГТУ. - Электрон. текстовые дан. (1 файл: 13,51 МБ). – Волжский, 2018. – Режим доступа: <http://lib.volpi.ru>. – Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-5-9948-2808-3

Содержит сведения об информационно-измерительных системах, их классификации. Приведены основные технические средства получения информации в информационно-измерительных системах.

Пособие рассчитано на студентов магистров очной и заочной формы обучения направления 15.04.04 «Автоматизация технологических процессов и производство».

Ил. 40, табл. 1, библиограф.: 8 назв.

ISBN 978-5-9948-2808-3

© Волгоградский государственный  
технический университет, 2018  
© Волжский политехнический  
институт, 2018

## Содержание

|                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| Введение.....                                                                     | 5  |
| 1 Состав измерительных информационных систем .....                                | 7  |
| 1.1 Основные компоненты измерительных информационных систем .....                 | 7  |
| 1.2 Системные технические средства измерительных информационных систем ..         | 10 |
| 2 Устройства сбора, первичной обработки и передачи измерительной информации ..... | 18 |
| 2.1 Датчики давления .....                                                        | 18 |
| 2.1.1 Тензорезистивный чувствительный элемент .....                               | 19 |
| 2.1.2 Пьезорезистивный метод чувствительный элемент .....                         | 20 |
| 2.1.3 Емкостной чувствительный элемент.....                                       | 21 |
| 2.1.4 Резонансный чувствительный элемент .....                                    | 22 |
| 2.1.5 Индуктивный чувствительный элемент.....                                     | 23 |
| 2.2 Датчики уровня .....                                                          | 24 |
| 2.2.1 Емкостной уровнемер .....                                                   | 24 |
| 2.2.2 Гидростатический уровнемер .....                                            | 25 |
| 2.2.3 Магнитострикционный уровнемер.....                                          | 27 |
| 2.2.4 Микроволновые рефлексные уровнемеры.....                                    | 29 |
| 2.2.5 Ультразвуковые уровнемеры .....                                             | 30 |
| 2.2.6 Акустические уровнемеры .....                                               | 31 |
| 2.2.7 Микроволновые радарные уровнемеры .....                                     | 33 |
| 2.2.8 Радиоизотопные уровнемеры.....                                              | 35 |
| 2.2.9 Лотовые уровнемеры .....                                                    | 37 |
| 2.3 Датчики температуры.....                                                      | 38 |
| 2.3.1 Термоэлектрические преобразователи.....                                     | 38 |
| 2.3.2 Термопреобразователи сопротивления.....                                     | 40 |
| 2.3.3 Измерение температуры бесконтактным методом .....                           | 42 |

|       |                                                 |    |
|-------|-------------------------------------------------|----|
| 2.4   | Датчики расхода .....                           | 46 |
| 2.4.1 | Скоростные счетчики расхода .....               | 46 |
| 2.4.2 | Объемные расходомеры .....                      | 50 |
| 2.4.3 | Шестеренчатые расходомеры .....                 | 52 |
| 2.4.4 | Расходомеры переменного перепада давления ..... | 53 |
| 2.4.5 | Ультразвуковые расходомеры .....                | 56 |
| 2.4.6 | Электромагнитные расходомеры.....               | 59 |
| 2.4.7 | Вихревые расходомеры .....                      | 62 |
| 2.4.8 | Кориолисовые расходомеры .....                  | 66 |
| 2.4.9 | Тепловые расходомеры.....                       | 68 |
|       | Библиографический список.....                   | 72 |

## **Введение**

Измерительные информационные системы – это совокупность функционально объединенных измерительных, вычислительных и других вспомогательных технических средств для получения измерительной информации, ее преобразования, обработки в целях представления потребителю. Полученную информацию можно использовать для ввода в автоматизированные системы управления технологическим процессом (АСУТП), автоматизированные системы научных исследований и комплексных испытаний (АСНИ и КИ) в требуемом виде, либо автоматического осуществления логических функций измерения, контроля, диагностики, идентификации и т.п.

Измерительная информационная система предназначена для целенаправленного оптимального ведения измерительного процесса и обеспечения смежных систем высшего уровня достоверной количественной информацией. Исходя из этого, основными функциями ИИС являются получение измерительной информации от объекта исследования, ее обработка, передача, представление информации оператору или/и ЭВМ, запоминание ее, отображение и формирование управляющих воздействий.

Назначение любой измерительной информационной системы, ее необходимые функциональные возможности, технические характеристики и другие показатели в решающей степени определяются объектом исследования или управления, для которого данная система создается.

В целом такая система включает в себя: систему первичных преобразователей (датчиков), устройства сбора и первичной обработки информации, средства вторичной обработки информации, устройства управления и контроля, устройства связи с другими системами объекта, накопители информации.

Современные ИИС строятся на основе программно-управляемой измерительно-вычислительной аппаратуры и средств вычислительной техники, и используют локальные и глобальные телекоммуникационные сети, последние достижения информационных технологий и широкий набор специального и универсального инструментального и прикладного программного обеспечения. ИИС применяются для решения задач управления технологическими и производственными процессами, задач экспериментальных исследований, испытаний, мониторинга, диагностирования и тестирования аппаратных средств (агрегатов, самолетов, вертолетов) и т. п.

# **1 Состав измерительных информационных систем**

## **1.1 Основные компоненты измерительных информационных систем**

Состав и структура конкретной ИИС определяются общими техническими требованиями, установленными государственным стандартом, и частными требованиями, содержащимися в техническом задании на ее создание.

Измерительная информационная система должна:

- управлять измерительным экспериментом в соответствии с принятым алгоритмом функционирования;
- выполнять возложенные на нее функции в соответствии с назначением и целью;
- обладать требуемыми показателями и характеристиками точности, надежности и быстродействия;
- отвечать экономическим требованиям, предъявляемым к способам и форме представления информации, размещению технических средств и т.д.;
- быть приспособленной к функционированию с ИИС смежных уровней иерархии и другими ИИС и ИВК, т.е. обладать свойством программной, технической, информационной и метрологической совместимости;
- допускать возможность дальнейшей модернизации и развития и др.

Процессом функционирования ИИС (как и любой другой технической системы), является целенаправленное преобразование входной информации в выходную. Это преобразование выполняется либо автоматически – комплексом технических средств (техническим обеспечением), либо сов-

местно – оперативным персоналом и комплексом технических средств (КТС) в сложных ИИС, ИВК, измерительно-информационных управляющих системах (ИИУС).

Схема взаимодействия основных компонентов ИИС представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 - Схема взаимодействия основных компонентов измерительных информационных систем

Технические средства ИИС включают в себя:

- множество первичных измерительных преобразователей (датчиков);
- множество вторичных измерительных преобразователей;
- множество элементов сравнения – мер;
- блок цифровых устройств;
- множество элементов описания – норм;
- множество преобразователей сигнала, средств отображения, памяти и др.

При наличии ЭВМ в составе ИИС информация к ЭВМ может поступать непосредственно от устройств сбора, обработки и (или) хранения.

Чтобы люди и комплекс технических средств (КТС) могли работать оптимально, необходимы соответствующие инструкции и правила. Эту задачу выполняет организационное обеспечение. Математическое, программное и информационное обеспечения входят в состав только ИИС, ИВК и ИИУС с цифровым вычислительным комплексом.

Математическое обеспечение – это совокупность методов, математических моделей и вычислительных алгоритмов.

Программное обеспечение гарантирует конкретную реализацию вычислительных алгоритмов, а также и алгоритмов функционирования системы и охватывает круг решений, связанных с разработкой и эксплуатацией программ. Современное программное обеспечение (ПО), которое используется в ИИС, имеет многовариантную и многоуровневую архитектуру и включает в себя взаимосвязанные средства программной поддержки функционирования системы в целом и ее отдельных компонентов. Отличительной особенностью ИИС является то, что в них кроме общеизвестных широко используемых ПО, таких как DOS, Windows, Windows NT/95, Windows NT/95/3/1, HP-UX, X-Windows для OS-9, VxWorks, Sun OS, VADSWorks, OS-9, Windows-9, XD-Ada, Unix, Lynx OS и ряда других, применяются специальные ПО:

- для сети датчиков – протоколы для взаимодействия контрольно-измерительных приборов, контроллеров и систем ввода-вывода. К этой группе относятся такие протоколы, как As-I, CAN, DeviceNet, Interbus, LON, Profibus-PA, Foundation Fieldbus HI и HART;
- сети контроллеров – протоколы, используемые для соединения систем ввода-вывода данных, контроллеров, операторских станций и систем оперативного управления. К этой группе относятся такие

протоколы, как BACnet, Control Net, Foundation Fieldbus HSE, Modbus, Profibus-FMS Industrial Ethernet;

- сети промышленных предприятий – протоколы для административного уровня, системы управления производством (локальные и глобальные вычислительные сети).

Информационное обеспечение определяет способы и конкретные формы информационного отображения состояния объекта исследования (в виде документов, диаграмм, графиков, сигналов) для представления обслуживающему персоналу и ЭВМ в целях дальнейшего использования в управлении.

## **1.2 Системные технические средства измерительных информационных систем**

Информационные системы являются многофункциональными многоуровневыми системами. Каждый уровень ИИС имеет свое функциональное назначение и соответственно техническое, алгоритмическое и программное обеспечения.

Задачи сбора информации и управления объектом решаются на нижнем уровне (рисунок 2), программно-алгоритмического управления ИИС – на уровне управляющих контроллеров (компьютерное управление), вторичной обработки, представления информации различным пользователям – на верхнем уровне.

Основополагающим стандартом, утвердившим структуру и основные принципы построения ИИС, стал ГОСТ 12997 – 76. «ГСП. Общие технические требования». Он предусматривает эксплуатационную, информационную, энергетическую, конструктивную и метрологическую совместимости систем.

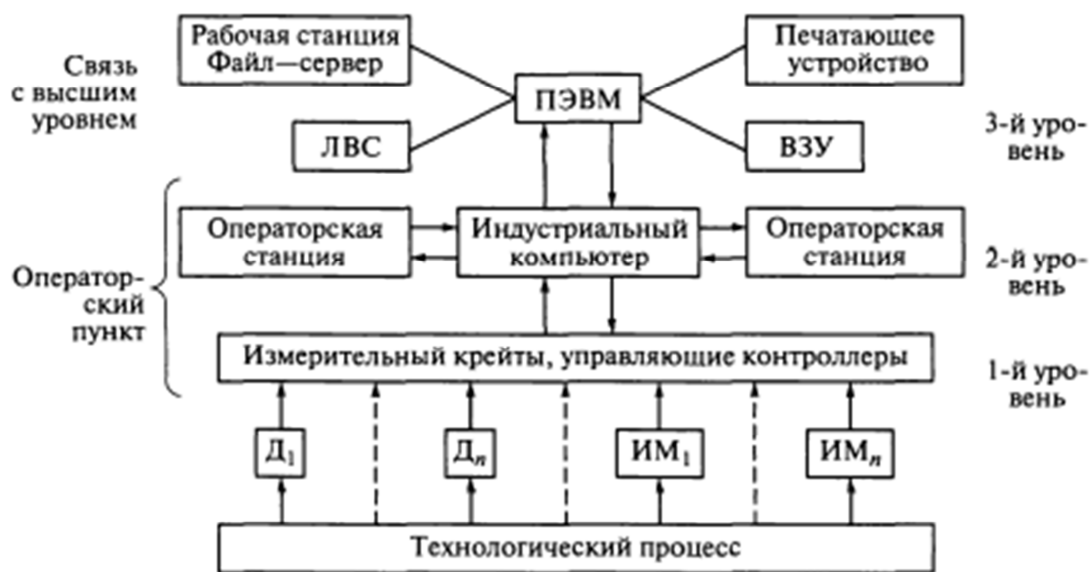


Рисунок 2 - Многоуровневая измерительная управляющая система: ВЗУ — внешнее запоминающее устройство; ЛВС — локальные вычислительные сети;  $Д_1$ – $Д_n$  — датчики;  $ИМ_1$  –  $ИМ_n$  — исполнительные механизмы

Под *информационной совместимостью* понимают согласованность действий функциональных блоков в соответствии с условиями, определяющими структуру и состав унифицированного набора информационных шин, способ кодирования и форматы команд, данных, адресной информации и информации состояния, а также временные соотношения между управляющими сигналами и ограничения на их форму и взаимодействие.

Энергетическая совместимость обеспечивает согласованность статических и динамических параметров электрических сигналов в системе информационных шин и линий связи с учетом ограничений на пространственное размещение устройств ИИС и техническую реализацию приемопередающих элементов.

Конструктивная совместимость определяет условия взаимного соответствия конструктивов ИИС для обеспечения механического контакта соединений и механической замены схемных модулей, блоков и устройств.

Основными видами совместимости элементов аппаратуры являются информационная и энергетическая, без которых невозможно установить взаимодействие. Минимальные требования по конструктивной совместимости определяют параметры устройств для механических соединений – разъемов. В стандартах оговариваются размеры плат и конструктивных элементов.

В дальнейшем был издан целый ряд государственных стандартов, уточняющих и расширяющих систему стандартов на технические средства автоматизации, измерений, контроля и требования к ним.

Основное назначение государственной системы приборов и средств автоматизации (ГСП) – обеспечение рационального с экономической и технической точек зрения выпуска комплекса современных приборов и средств автоматизации. Разнообразные технические средства контроля и измерений, применяемые в промышленности и сельском хозяйстве, можно подразделить на общепромышленные, входящие в состав ГСП и используемые в самых различных отраслях экономики, и специализированные, разработанные для специфичных процессов и условий измерений (к последним, главным образом, относятся датчики и устройства связи).

При построении ГСП соблюдают следующие основные принципы, обеспечивающие технико-экономическую эффективность ГСП:

- разделение приборов по функциональным признакам на основе типизации структур ИИС и АСУТП;
- минимизация номенклатуры с учетом удовлетворения спроса на основе создания параметрических рядов, унифицированных систем и агрегатных комплексов приборов;
- блочно-модульное построение приборов на основе типовых унифицированных блоков и моделей, состоящих из типовых унифицированных модулей;
- агрегатированное построение сложных устройств и систем на

основе типовых унифицированных блоков и приборов;

- совместимость приборов и устройств ГСП при работе в различных по структуре ИИС на основе унификации сигналов связи между приборами, конструктивов и присоединительных разъемов, технических и эксплуатационных требований;
- непрерывность развития на основе блочно-модульного и блочно-агрегатного построения системы, а также плановой периодической модернизации и замены одних видов и конструкций приборов на другие.

По функциональным признакам средства ГСП можно разделить на ряд групп в соответствии с их назначением. Это разделение позволяет уменьшить номенклатуру и упростить выбор средств ГСП.

Группа I объединяет устройства получения нормированной информации о состоянии объекта исследования (датчики). В нее входят первичные измерительные преобразователи, вторичные нормирующие преобразователи.

В группу 2 входят средства преобразования и передачи информации, включающие в себя:

- преобразователи (шифраторы) информации, обеспечивающие высокую помехоустойчивость при передаче сигналов на большие расстояния;
- каналы связи;
- преобразователи (дешифраторы) информации.

Группа 3 объединяет средства преобразования, хранения информации и выработки команд управления, т.е. средства, выполняющие наиболее сложные функции. К ним относятся:

- анализаторы и распределители сигналов;
- вторичные показывающие и регистрирующие приборы;
- статические и динамические преобразователи;

- регуляторы;
- устройства памяти;
- устройства вспомогательной информации (задатчики и т.д.);
- агрегатированные комплексы средств централизованных контроля и регулирования;
- управляющие вычислительные машины.

Данную группу называют еще центральной частью как ГСП, так и ИИС. В зависимости от уровня и объема решаемых в ИИС задач все устройства центральной части можно подразделить на следующие виды:

- средства местных (локальных) систем контроля и регулирования;
- унифицированные системы и агрегатированные комплексы для контроля и регулирования;
- средства вычислительной техники для автоматизации управления исследованием или производством.

К группе 4 относятся средства преобразования и передачи команд управления, включающие в себя (как и средства группы 2):

- преобразователи (шифраторы) команд управления;
- каналы связи;
- преобразователи (дешифраторы) команд управления.

Группа 5 объединяет средства воздействия на технологический процесс: усилители мощности сигналов управления; исполнительные механизмы (электродвигатели с редуктором, пневмо- и гидропоршни и т.п.); регулирующие органы (краны, задвижки, шиберы и т.п.).

К группе 6 относятся нормированные источники энергии (питания) и специальные преобразователи одного вида энергии в другой для связи между ветвями ГСП.

Средства групп 1 и 5 выполняют более простые функции, чем средства группы 3, но они непосредственно взаимодействуют с управляемым объектом, поэтому более специфичны, менее поддаются унификации и стан-

дартизации. Особенно это относится к первичным измерительным преобразователям и регулирующим органам.

Унифицированные типовые конструкции ГСП предусматривают конструктивное сопряжение устройств измерения на основе единых присоединительных и основных размеров, единой элементной базы, типовых конструктивов и унификации методов конструирования.

В настоящее время разработан комплекс унифицированных типовых конструкций (УТК) – плат, каркасов, шкафов для изделий центральной части ГСП и некоторых периферийных устройств.

Для приборов различного функционального назначения УТК подразделяют на две части: общепромышленную и приборную. Первая часть УТК служит для компоновки аппаратуры промышленной автоматики, периферийных средств управляющей вычислительной техники и других изделий, используемых в ИИС и ЛСУТП.

Классификация приборов и изделий средств автоматизации ГСП приведена на рисунке 3. Стандартные сигналы приведены в таблице 1.

Нормируются также метрологические характеристики изделий: виды погрешностей, методы нормирования погрешностей отдельных устройств, виды погрешностей совокупности звеньев и систем, классы точности и методы аттестации.

Развитие государственной системы приборов и средств автоматизации замедлилось в связи с распадом СССР, многие выпускавшиеся стандарты не были увязаны между собой, что не позволяло создавать единые системы и комплексы. Поэтому за основу стали приниматься международные стандарты, разрабатываемые в Европе, США.

Среди стандартов на элементы аппаратуры, обеспечивающих создание практически всего многообразия структур ИИС, выделяются следующие:

- стандарты на конструктивное исполнение плат, модулей, приборов и стоек DIN, Евромеханика;

- стандарты на приборные интерфейсы IEEE-488.1, IEEE-488.2;
- стандарты расширения ввода-вывода ПЭВМ для использования серийных компьютеров в системах управления и измерений ISA, EISA, PCMCIA;
- стандарты на интерфейсы магистрально-модульных ИИС VME, VXT, SCXI, PXT;
- стандарты на интерфейсы внешних устройств ПЭВМ RS-232, RS-422, RS-485, USB;
- стандарты на средства связи и локальные сети для распределенных систем контроля и управления C1, C2, M1L-STD/1553 B, Ethernet.

Таблица 1-Стандартные сигналы ГСП

| Способ представления информации | Характер сигнала      | Параметр сигнала      | Установленные значения параметра стандартных сигналов                                                                                                                                                            |
|---------------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Аналоговый                      | Непрерывно меняющийся | Постоянное напряжение | 0... 10 мВ; -10...0... 10 мВ;<br>0...20 мВ; -20...0...20 мВ;<br>0...50 мВ; -50...0...50 мВ;<br>0... 100 мВ; -100...0... 100 мВ; 0...1 В; -1...0... 1 В;<br>0...5 В; -5...0...5 В;<br>0...10 В; -10...0... 10 В   |
|                                 |                       | Постоянный ток        | 0...5 мА; -5...0...5 мА;<br>0(4)...20 мА; -20...0...20 мА;<br>0...100 мА; -100...0...100 мА<br>(применять только по согласованию с заказчиком)                                                                   |
|                                 |                       | Переменное напряжение | -0,25...0...0,25 В;<br>-0,5...0...0,5 В;<br>-1...0...1 В; 0...2 В                                                                                                                                                |
| Дискретный                      | Дискретно меняющийся  | Частота               | Диапазоны:<br>0...50 Гц; 50...500 Гц;<br>0,5...5,0 кГц; 5...50 кГц; 50...500 кГц.<br>Частота входных и выходных импульсов (тактовые частоты): 10,5; 2,5 МГц; 500, 250, 100 кГц;<br>500, 400, 250, 100, 50, 25 Гц |
|                                 |                       | Амплитуда             | Номинальные значения амплитуды импульсов:<br>0,6; 1,2; 3,6; 12, 14, 48, 60, 110, 220 В;<br>1, 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500 мА                                                                                 |

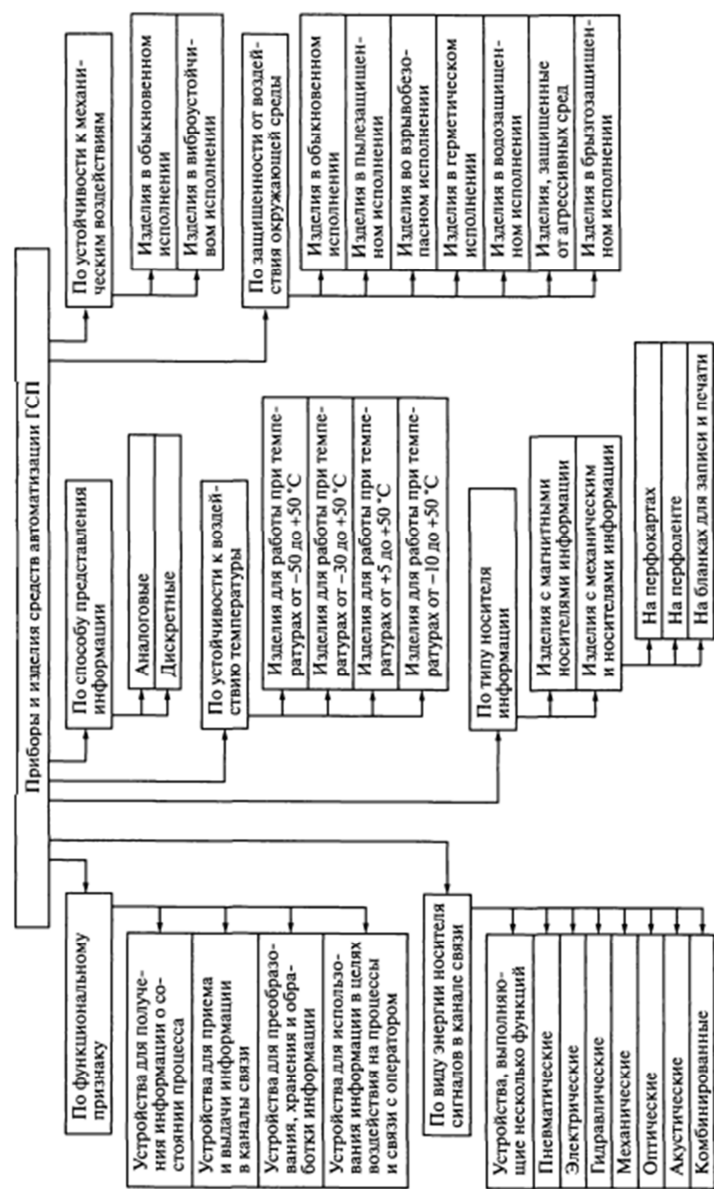


Рисунок 3 - Классификация приборов и изделий средств автоматизации ГСП

## 2 Устройства сбора, первичной обработки и передачи измерительной информации

### 2.1 Датчики давления

Принцип действия (большинства) микропроцессорных преобразователей давления основан на использовании физических эффектов в чувствительном элементе, специальной конструкции. Чувствительный элемент воспринимает измеряемое давление (или внешнее силовое воздействие) и преобразует его в пропорциональный электрический сигнал, обеспечивая при этом высокую стабильность метрологических характеристик и практическое отсутствие гистерезиса.

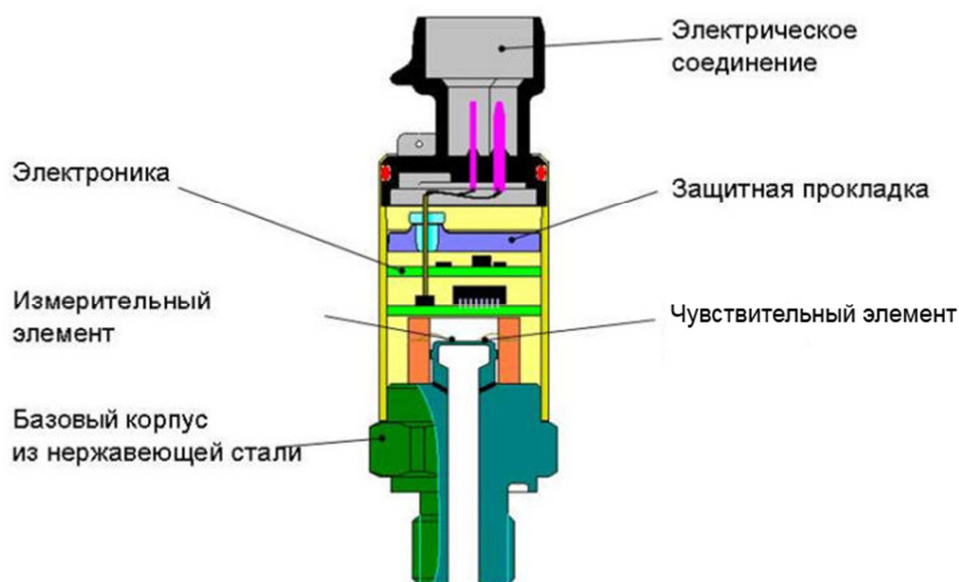


Рисунок 4 – Структура датчика давления

Микропроцессорные датчики имеют существенные преимущества перед аналоговыми датчиками по метрологическим, техническим, функциональным и эксплуатационным показателям. Микропроцессорные датчики при работе осуществляют непрерывную самодиагностику. В случае возникновения неисправности датчик формирует предупредительный аналоговый сигнал постоянного тока.

### 2.1.1 Тензорезистивный чувствительный элемент

В настоящее время основная масса датчиков давления в нашей стране выпускаются на основе чувствительных элементов (рисунок 5), принципом которых является измерение деформации тензорезисторов, сформированных в эпитаксиальной пленке кремния на подложке из сапфира (КНС), припаянной твердым припоем к титановой мембране. Иногда вместо кремниевых тензорезисторов используют металлические: медные, никелевые, железные и др.

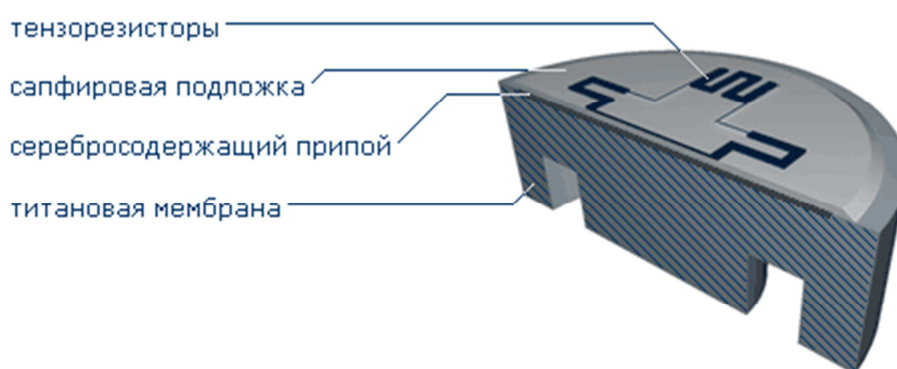


Рисунок 5 - Упрощенный вид тензорезистивного чувствительного элемента

Принцип действия тензопреобразователей основан на явлении тензоэффекта в материалах. Чувствительным элементом служит мембрана с тензорезисторами, соединенными в мостовую схему. Под действием давления измеряемой среды мембрана прогибается, тензорезисторы меняют свое сопротивление, что приводит к разбалансу моста Уитстона. Разбаланс линейно зависит от степени деформации резисторов и, следовательно, от приложенного давления.

Следует отметить принципиальное ограничение КНС преобразователя – неустранимую временную нестабильность градуировочной характеристики и существенные гистерезисные эффекты от давления и температуры. Это обусловлено неоднородностью конструкции и жесткой связью мембраны с конструктивными элементами датчика. Поэтому, выбирая преоб-

разователь на основе КНС, необходимо обратить внимание на величину основной погрешности с учетом гистерезиса и величину дополнительной погрешности.

К преимуществам можно отнести хорошую защищенность чувствительного элемента от воздействия любой агрессивной среды, налаженное серийное производство, низкую стоимость.

### 2.1.2 Пьезорезистивный метод чувствительный элемент

Практически все производители датчиков в России проявляют живой интерес к использованию интегральных чувствительных элементов на основе монокристаллического кремния. Это обусловлено тем, что кремниевые преобразователи имеют на порядок большую временную и температурную стабильности по сравнению с приборами на основе КНС структур.

Кремниевый интегральный преобразователь давления (ИПД, рисунок 6) представляет собой мембрану из монокристаллического кремния с диффузионными пьезорезисторами, подключенными в мост Уинстона. Чувствительным элементом служит кристалл ИПД, установленный на диэлектрическое основание с использованием легкоплавкого стекла или методом анодного сращивания.

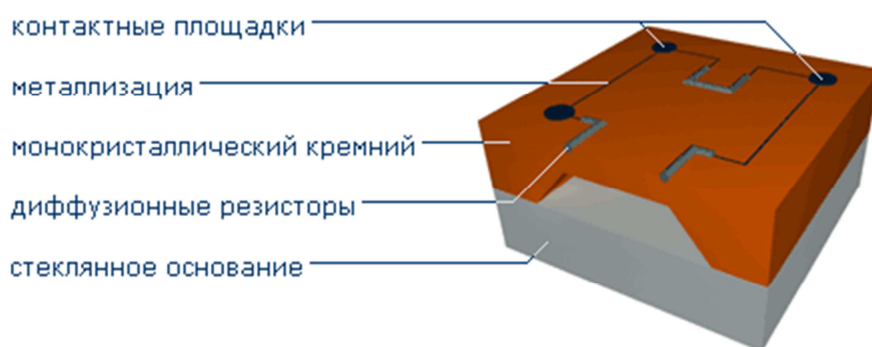


Рисунок 6 - Кремниевый интегральный преобразователь давления

Основным преимуществом пьезорезистивных датчиков является более высокая стабильность характеристик, по сравнению с КНС преобразовате-

лями. ИПД на основе монокристаллического кремния устойчивы к воздействию ударных и знакопеременных нагрузок. Если не происходит механического разрушения чувствительного элемента, то после снятия нагрузки он возвращается к первоначальному состоянию, что объясняется использованием идеально-упругого материала.

### 2.1.3 Емкостной чувствительный элемент

Емкостные преобразователи используют метод изменения емкости конденсатора при изменении расстояния между обкладками. Известны керамические или кремниевые емкостные первичные преобразователи давления и преобразователи, выполненные с использованием упругой металлической мембраны. При изменении давления мембрана с электродом деформируется и происходит изменение емкости.

В элементе из керамики или кремния, пространство между обкладками обычно заполнено маслом или другой органической жидкостью (рисунок 7).



Рисунок 7 - Емкостной керамический преобразователь давления, выполненный методами микромеханики

Достоинством чувствительного емкостного элемента является простота конструкции, высокая точность и временная стабильность, возможность измерять низкие давления и слабый вакуум.

К недостатку можно отнести нелинейную зависимость емкости от приложенного давления.

### 2.1.4 Резонансный чувствительный элемент

Резонансный принцип используется в датчиках давления на основе вибрирующего цилиндра, струнных датчиках, кварцевых датчиках, резонансных датчиках на кремнии. В основе метода лежат волновые процессы: акустические или электромагнитные. Это и объясняет высокую стабильность датчиков и высокие выходные характеристики прибора.

Частным примером может служить кварцевый резонатор (рисунок 8). При прогибе мембраны, происходит деформация кристалла кварца, подключенного в электрическую схему и его поляризация. В результате изменения давления частота колебаний кристалла меняется. Подобрав параметры резонансного контура, изменяя емкость конденсатора или индуктивность катушки, можно добиться того, что сопротивление кварца падает до нуля – частоты колебаний электрического сигнала и кристалла совпадают - наступает резонанс.

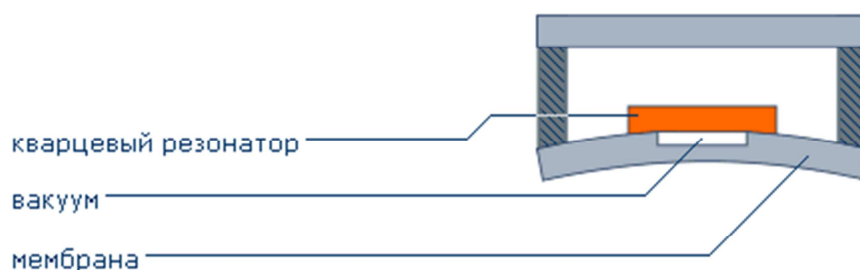


Рисунок 8 - Упрощенный вид резонансного чувствительного элемента, выполненного на кварце

Преимуществом резонансных датчиков является высокая точность и стабильность характеристик, которая зависит от качества используемого материала.

К недостаткам можно отнести индивидуальную характеристику преобразования давления, значительное время отклика, невозможность проводить измерения в агрессивных средах без потери точности показаний прибора.

### 2.1.5 Индуктивный чувствительный элемент

Индукционный способ основан на регистрации вихревых токов (токов Фуко). Чувствительный элемент состоит из двух катушек, изолированных между собой металлическим экраном (рисунок 9). Преобразователь измеряет смещение мембраны при отсутствии механического контакта. В катушках генерируется электрический сигнал переменного тока таким образом, что заряд и разряд катушек происходит через одинаковые промежутки времени. При отклонении мембраны создается ток в фиксированной основной катушке, что приводит к изменению индуктивности системы. Смещение характеристик основной катушки дает возможность преобразовать давление в стандартизованный сигнал, по своим параметрам прямо пропорциональный приложенному давлению.



Рисунок 9 - Принципиальная схема индукционного преобразователя давления

Преимуществом такой системы, является возможность измерения низких избыточных и дифференциальных давлений, достаточно высокая точность и незначительная температурная зависимость.

Однако датчик чувствителен к магнитным воздействиям, что объясняется наличием катушек, которые при прохождении переменного сигнала создают магнитное поле.

## **2.2 Датчики уровня**

Измерение уровня жидкостей и сыпучих тел относится к числу вспомогательных контрольных операций, позволяющих определить количества жидкостей и сыпучих тел в резервуарах для учета продукта и сигнализации о переполнении расходных баков и бункеров.

Эти измерения также важны, когда поддержание некоторого постоянного уровня, например, жидкости в аппаратах, резервуарах, баках связано как с поддержанием технологического режима, так и с условиями безопасной работы оборудования. Технические средства, применяемые для измерения уровня жидкости, называются *уровнемерами*.

В химической промышленности применяют различные методы измерения уровня жидкости: измерение уровня жидкости указательными стеклами, механические (с помощью поплавка или буйка), электромеханические (например, уровнемеры с индуктивными датчиками), гидростатические, пневматические, по измерению проводимости, емкостные, фотоэлектрические, ультразвуковые, акустические, радиоизотопные.

### **2.2.1 Емкостной уровнемер**

Работа емкостного уровнемера основана на принципе изменения емкости конденсатора, который образуется с одной стороны измерительным зондом (прибора), с другой стороны опорным зондом, которым обычно является проводящая стенка емкости или дополнительно установленный опорный зонд. Изолятор-диэлектриком конденсатора в таком случае будет являться продукт измерения. В зависимости от уровня продукта, емкостные датчики уровня будут изменять емкость конденсатора, значение которого оборудование преобразует в аналоговый выходной сигнал 4-20мА. Стенка емкости, в которую установлен прибор, должна быть из легко проводящего материала (металлическая) и должна располагаться строго па-

параллельно зонду прибора. При не соблюдении этих требований, необходимо использовать прибор с ответным зондом. При первом применении уровнемера необходимо провести его калибровку на пустой емкости и на полностью заполненной емкости для определения уровнемером необходимых параметров измерения уровня.

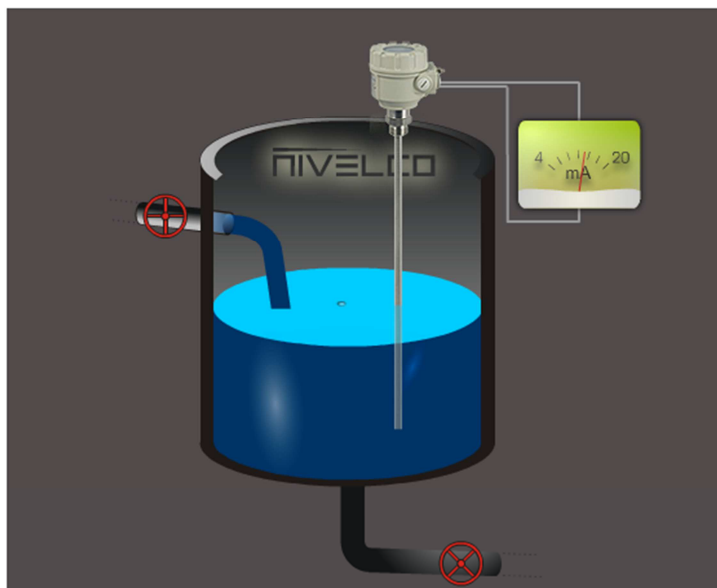


Рисунок 10 – Принцип работы емкостного уровнемера

Зонд прибора имеет исполнение полностью изолированное для жидких и некоторых сыпучих сред и частично изолированное – только для сыпучих сред. Данные уровнемеры предназначены для непрерывного контроля уровня жидкостей с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon \geq 1,5$  в резервуарах, баках, емкостях и т.д.

### 2.2.2 Гидростатический уровнемер

Гидростатический уровнемер относится к стационарно устанавливаемым уровнемерам, предназначенным для измерения давления создаваемого гидростатическим столбом жидкости заданной высоты. Зная заранее плотность измеряемой среды, и введя ее значение в прибор, можно на выходе с прибора получить высоту (уровень) этого столба жидкости. Кон-

струкция датчика состоит из чувствительной мембраны, которая непосредственно соединена с чувствительным сенсорным элементом. В основе принципа работы этого элемента лежит емкостная или полупроводниковая ячейка. Для увеличения диапазона измерения уровнемером необходимо размещение его как можно ближе ко дну резервуара.

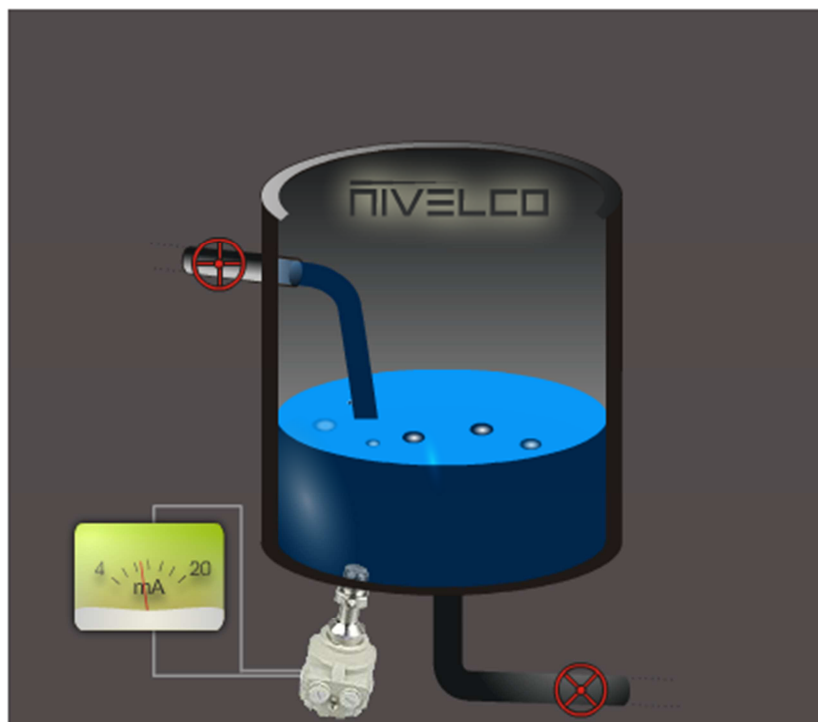


Рисунок 11 – Принцип работы гидростатического уровнемера

#### **Области применение уровнемера:**

- Большинство жидкостей с плотностью до  $2000 \text{ кг/м}^3$  в резервуарах, танках и сосудах;
- Химически активные растворы с наличием над поверхностью плотных слоев пара или газа;
- Дымящие, а также сильно пенящиеся жидкости;
- Высоковязкие или высоко коррозионные среды.

### 2.2.3 Магнитострикционный уровнемер

Магнитострикционные уровнемеры относятся к датчикам поплавкового типа, использующим в основе процесса измерения магнитострикционный эффект.

В состав датчика входит волновод, заключенный в защитную трубу или гибкий шланг (зонд), сенсорная головка, внутри которой размещена электронная схема обработки сигнала, и поплавков со встроенными постоянными магнитами.

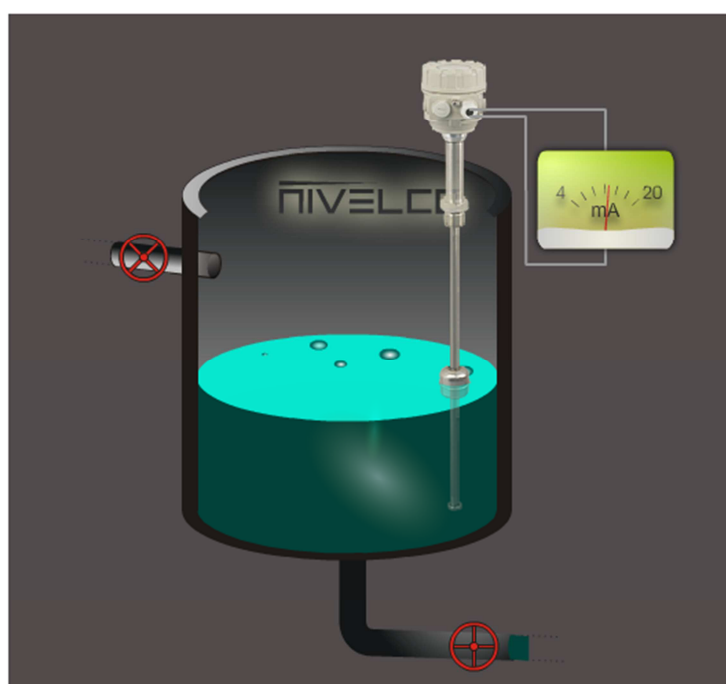


Рисунок 12 – Принцип работы магнитострикционного уровнемера

**Принцип действия** этого типа уровнемеров основан на использовании явления магнитострикции, характерном для ферромагнитных материалов (железо, никель, кобальт, ряд сплавов). Волновод датчика выполняется из ферромагнитного материала. Зонд с волноводом погружается в контролируемую среду. Поплавок со встроенными магнитами имеет возможность свободно перемещаться вдоль волновода (зонда) в соответствии с уровнем жидкости в резервуаре.

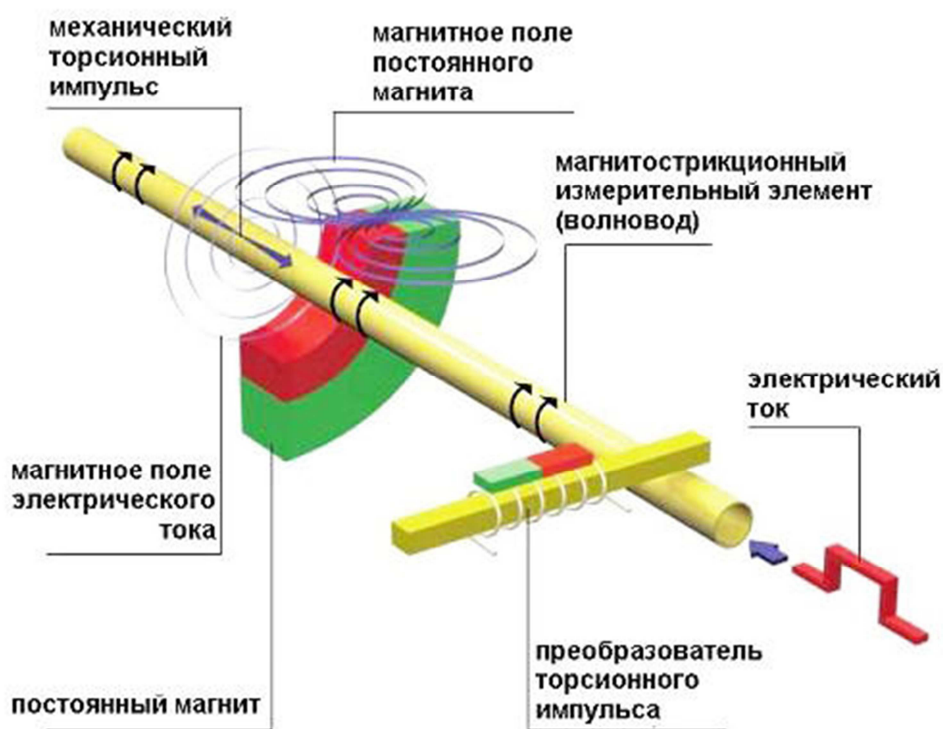


Рисунок 13 – Принцип действия магнитострикционного уровнемера

Работает устройство следующим образом (рисунок 13). Электронный блок датчика генерирует импульс тока, протекающего по волноводу. Ток создает вокруг волновода concentрическое магнитное поле. В том месте, где поле волновода-проводника взаимодействует с полем постоянных магнитов, встроенных в поплавки, возникает торсионное (скручивающее волновод) усилие, приводящее к местной деформации материала волновода. В силу упругих свойств материала волновода, деформация начинает распространяться в виде волны в обе стороны с ультразвуковой скоростью. На нижнем конце волновода волна затухает, а на верхнем – фиксируется специальным устройством. По времени запаздывания прихода волны относительно момента формирования импульса тока можно судить о расстоянии до поплавка, то есть до поверхности жидкости в резервуаре.

## 2.2.4 Микроволновые рефлексные уровнемеры

Принцип работы данного вида уровнемеров позволяет применять его для решения задач контроля уровня в тех сложных случаях, когда применение уровнемеров других принципов действия затруднительно или невозможно. Например, уровнемеры ультразвукового принципа действия не могут стабильно работать из-за высокого уровня содержания пыли между излучателем и продуктом, невысокого уровня отраженной энергии от легкосыпучей среды или наличие на поверхности густой пены.

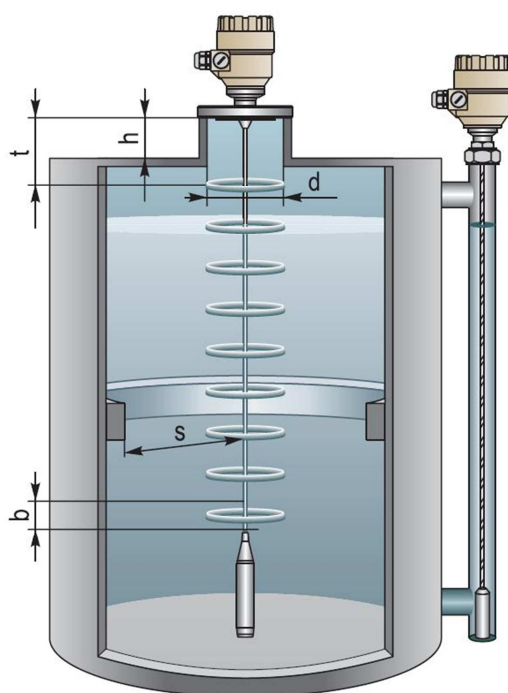


Рисунок 14 – Принцип работы микроволнового рефлексного уровнемера

В основе работы микроволнового уровнемера лежат электромагнитные импульсы, направляемые блоком электроники уровнемера вдоль волновода, которые отражаются от поверхности границы, имеющей резкое изменение диэлектрической постоянной. Это изменение отслеживается блоком электроники и считается прибором, как граница между воздушной средой и продуктом измерения. Мощность излучаемых импульсов очень низкая, но вся она сконцентрирована по направлению вдоль зонда, это

позволяет считать, что излучаемая уровнемером энергия почти не рассеивается. Все это, в свою очередь, означает, что сила амплитуды отраженного сигнала по всей длине зонда одинаковая и не зависит от длины зонда.

Скорость распространения микроволновых импульсов в воде, газе, вакууме практически не меняется, поэтому измеряемое расстояние не зависит от измеряемой среды.

На измерение также не воздействуют физические параметры среды (температура, давление и диэлектрическая постоянная).

Рефлексный микроволновой преобразователь уровня может использоваться для непрерывного измерения уровня проводящих и не проводящих жидкостей и твердых веществ, измерения объема и массы.

### **2.2.5 Ультразвуковые уровнемеры**

Принцип работы ультразвукового уровнемера основан на измерении времени, необходимого для пролета акустического сигнала с генерируемого излучателем прибора, отраженного от поверхности измеряемой среды и принятого все тем же излучателем уровнемера. Уровень фактически измеряет время пролета с генерируемого акустического сигнала, необходимое для пролета его до поверхности среды и обратно. Для пересчета этого значения в расстояние до поверхности, в уровнемере введена константа – скорость распространения акустической волны в воздухе, равная 331 м/с при температуре воздуха 0°C. Константа может быть изменена при перепрограммировании прибора на другую, соответствующую газовой среде в емкости. Для компенсации изменения температуры воздуха в излучателе располагается датчик температуры, показания с которого позволяют корректировать значения скорости распространения волны для достижения высокой точности измерения расстояния до поверхности продукта. Зная заранее габариты значения расстояния можно пересчитать в уровень или

объем продукта. Если известна плотность продукта, то это позволит пересчитать измеренные значения в массу продукта.

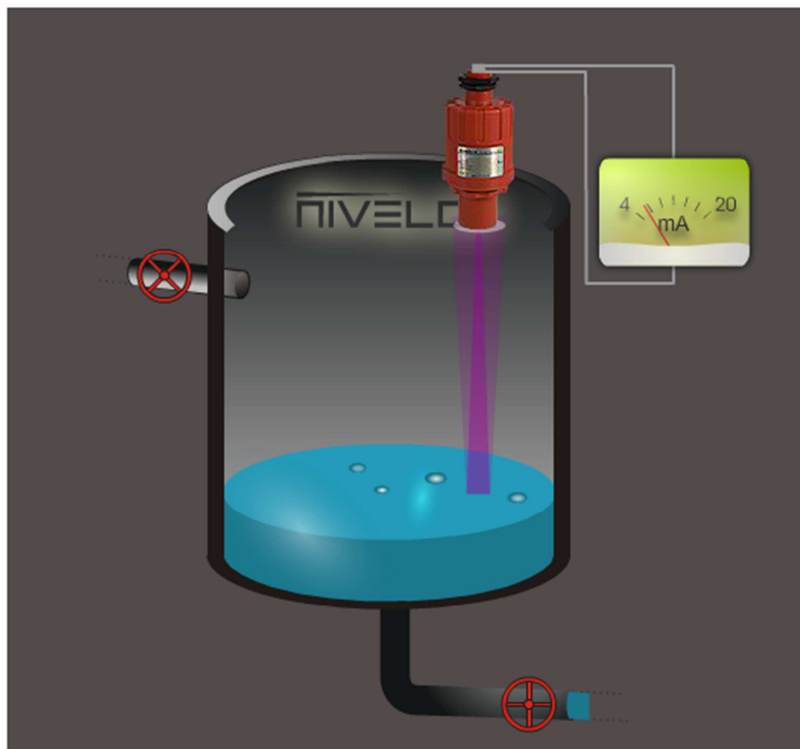


Рисунок 15 – Принцип работы ультразвукового уровнемера

Области использования:

- Для непрерывного измерения уровня большинства жидких сред, так же имеются модификации для измерения уровня сыпучих продуктов;
- Уровнемеры ультразвукового принципа действия способны проводить измерения уровня слабо парящих, дымящих, бурлящих жидкостей, а так же слабо пенящихся жидкостей.

### 2.2.6 Акустические уровнемеры

Уровнемеры данного принципа действия излучают очень мощные акустические волны, которые отражаются от поверхности измеряемого вещества. Отраженный сигнал обрабатывается для того чтобы отфильтровать полезный сигнал и подавить ложное эхо.

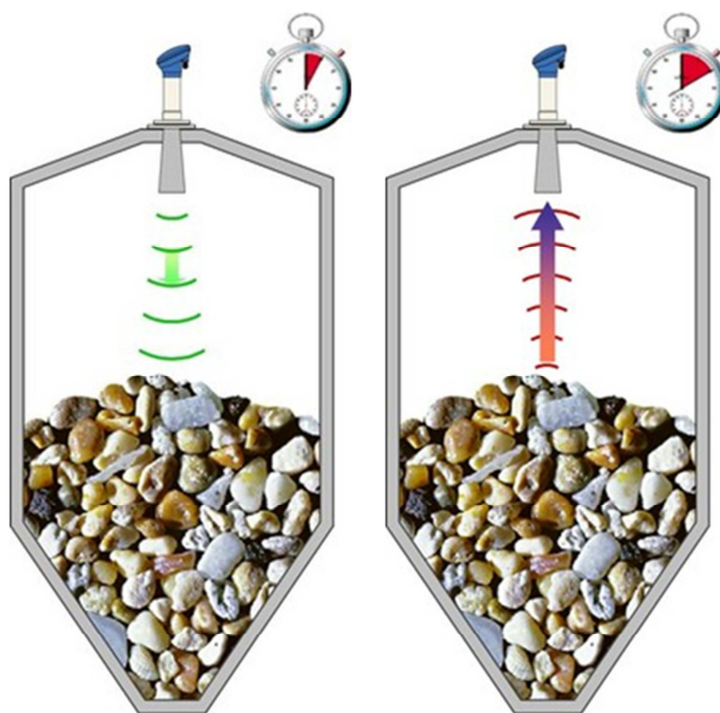


Рисунок 16 – Принцип работы акустического уровнемера

Метод обработки принятого эхо-сигнала позволяет снизить до минимума потери сигнала. Благодаря применению очень мощного импульса, затухания имеют гораздо меньшее влияние по сравнению с обычными ультразвуковыми приборами. Излучаются более мощные сигналы, соответственно, принимаются тоже более мощные отраженные сигналы. Приемная электроника позволяет распознать и обработать очень слабые эхо-сигналы также в комбинации с сильными шумовыми помехами.

#### **Основные достоинства:**

- точность измерения не зависит от физических свойств анализируемого продукта (электропроводности, диэлектрической постоянной, вязкости, плотности и т.п.);
- бесконтактные средства измерения обычно не подвержены эрозии и не могут «засоряться», «обволакиваться»;
- в последнее время созданы датчики, предназначенные для применения в высоких, узких, запыленных силосах;

- для анализа эхо-сигнала все шире используются микропроцессорные системы и элементы нечеткой логики, вследствие чего ультразвуковые уровнемеры применяются в качестве легко устанавливаемых приборов, имеющих низкую стоимость.

#### **Недостатки:**

- нельзя применять в условиях вакуума;
- при высоких давлениях происходит ограничение механического хода мембраны. При абсолютном давлении выше 3 бар следует пользоваться СИ другого типа;
- нельзя применять при температурах выше 100 °С;
- ультразвуковые колебания плохо распространяются в атмосфере углекислого газа. В емкостях для брожения уровнемеры этого типа не рекомендуется использовать;
- наличие пены на поверхности жидкости приводит к снижению уровня отраженного сигнала.

### **2.2.7 Микроволновые радарные уровнемеры**

Принцип работы данного прибора основывается на измерении длительности прохождения радиоволны по времени. Уровнемер индуцирует в антенне импульсы длительностью несколько наносекунд и в промежутках между этими излучениями принимает отраженный сигнал. Свойства измеряемой среды влияют на то, что часть энергии излученных сигналов будет отражаться от поверхности продукта, у которого измеряется уровень. Время полета отраженного сигнала измеряется и обрабатывается. Затем уже полученные значения конвертируются электронными приборами в данные расстояния, уровня или объема.

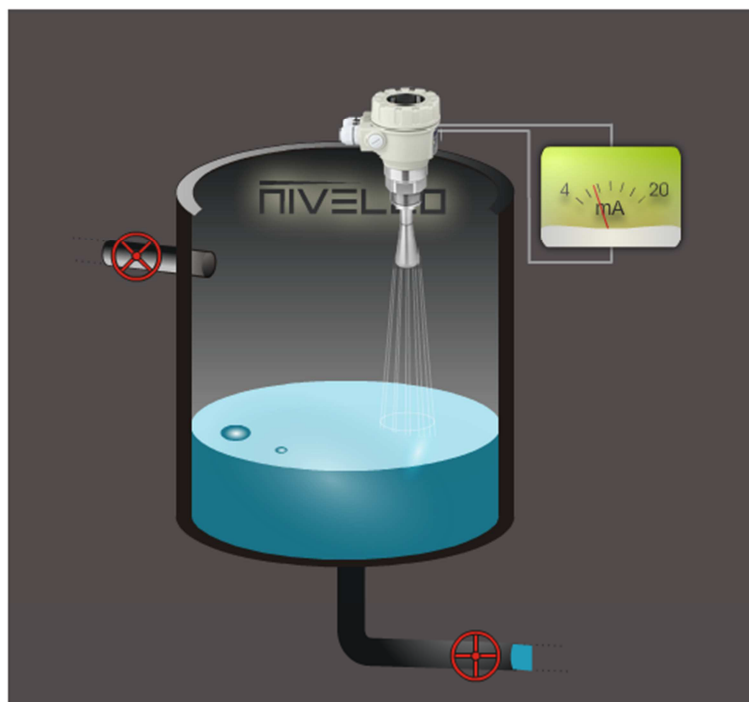


Рисунок 17 – Принцип работы радарного уровнемера

Уровнемеры, основанные на радарном методе измерения, свободны от многих недостатков, таких как частое техническое обслуживание, связанное с необходимостью удаления различного рода отложений и загрязнений.

Идеальными для уровнемера этого типа являются условия, когда поверхность контролируемой среды имеет достаточно большую площадь, на ней отсутствуют какие-либо возмущения, а сам резервуар полностью свободен от каких-либо внутренних конструктивных элементов. Для того чтобы исключить влияние в резервуаре отражений сигнала от внутренних элементов конструкций (кронштейны, нагреватели и пр.), уровнемер с использованием алгоритма фильтрации паразитных отражений выделяет сигнал, который отразился от поверхности продукта.

Уровнемер в процессе измерений может учитывать изменение базовой высоты резервуара, обусловленное тепловым расширением стенок резервуара, а также «проседанием» резервуара при увеличении уровня продукта.

От ультразвуковых бесконтактных уровнемеров радарные уровнемеры выгодно отличает гораздо меньшая чувствительность к температуре и давлению в рабочей емкости, к их изменениям, а также большая устойчивость к таким явлениям как запыленность, испарения с контролируемой поверхности, пенообразование.

Радарные уровнемеры обеспечивают высокую точность (до  $\pm 1$  мм), что позволяет использовать их в системах коммерческого учета.

### **2.2.8 Радиоизотопные уровнемеры**

Такие уровнемеры применяют для измерения уровня жидкостей и сыпучих материалов в закрытых емкостях. Их действие основано на поглощении  $\gamma$ -лучей при прохождении их через слой вещества.

Схема радиоизотопного уровнемера показана на рисунке 18. Источник 1 и приемник 2 излучения подвешены на тросах, на которых они могут перемещаться в трубах 3 по всей высоте емкости. Тросы намотаны на барабан 4, приводимый в движение реверсивным электродвигателем 5.

Если измерительная система (источник и приемник  $\gamma$ -лучей) расположена выше уровня измеряемой среды, поглощение излучения слабое и от приемника на блок управления 6 будет приходить сильный сигнал. По этому сигналу электродвигатель 5 получит команду на спуск измерительной системы.

При снижении ее ниже уровня среды поглощение  $\gamma$ -лучей резко увеличится, сигнал на выходе приемника уменьшится, и электродвигатель начнет поднимать измерительную систему.

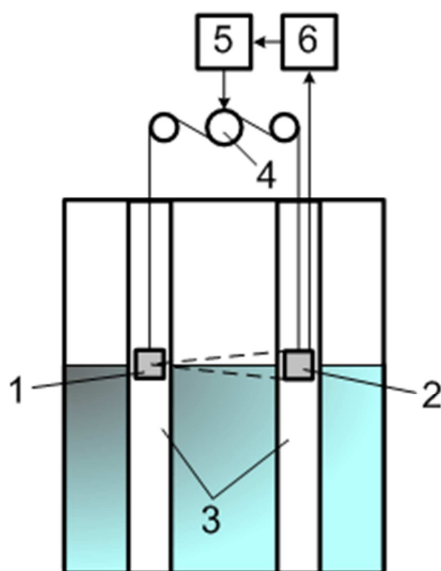


Рисунок 18 — Схема радиоизотопного уровнемера

Таким образом, положение измерительной системы будет отслеживать уровень в емкости (точнее, она будет находиться в непрерывном колебании около измеряемого уровня). Это положение в виде угла поворота барабана преобразуется в унифицированный сигнал.

Радиоизотопные уровнемеры уже давно освоены предприятиями тяжелой промышленности. Они надежны, поскольку ломаться в таких уровнемерах и сигнализаторах абсолютно нечему, и имеют высокую точность определения уровня. Однако, они имеют ряд негативных моментов, которые и ограничивают их повсеместное применение. **Во-первых**, это необходимость обеспечения дополнительной безопасности персонала, работающего с этими радиоактивными приборами. **Во-вторых**, невозможность использования таких датчиков для измерения уровня пищевых продуктов. Они подходят лишь для промышленного применения. И, **в-третьих**, стоимость радиационной аппаратуры, вообще, и радиоизотопных уровнемеров, в частности, может быть в несколько раз выше, чем уровнемеров других типов.

### 2.2.9 Лотовые уровнемеры

Уровнемер предназначен для вертикальной установки. Как правило, место установки электромеханических лотовых уровнемеров – на крыше силоса или крышке бункера. На конец троса или ленты крепится чувствительный груз, трос или лента смотаны на катушку с электроприводом, груз опускается в емкость с контролируемым материалом.

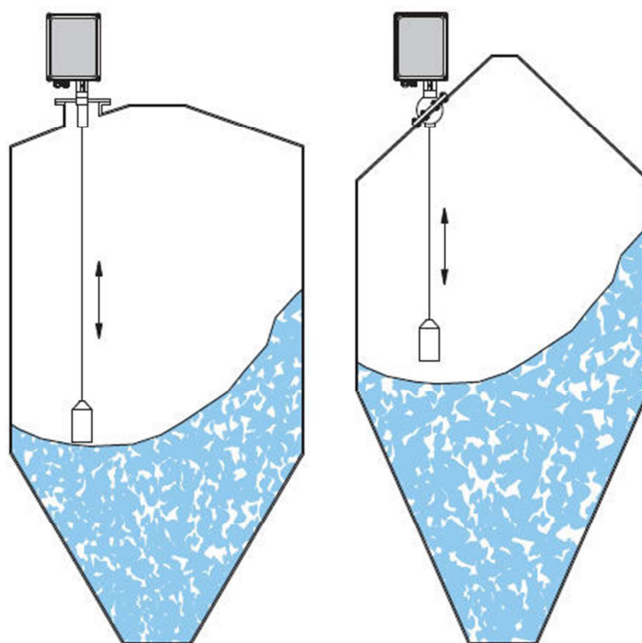


Рисунок 19 — Принцип работы лотового уровнемера

При касании чувствительным грузом поверхности контролируемого материала, изменяется направление вращения катушки, и груз возвращается в начальное положение. В то время когда чувствительный груз движется вниз, электроника отслеживает число импульсов с датчика катушки троса, соответствующее расстоянию, пройденному тросом или лентой с грузом. Микроконтроллер преобразует число импульсов в аналоговый выходной сигнал 4...20 мА. Обновление выходного сигнала происходит в момент соприкосновения груза и контролируемого материала.

Конструктивно лотовые уровнемеры представляют собой катушку с электроприводом, на которую намотана лента или трос. На конце ленты/троса закреплен чувствительный груз. Применение троса или ленты в конструкции прибора обуславливается свойствами измеряемого вещества. Для сухих материалов рекомендуется применять тросовое исполнение, для материалов, имеющих свойства налипания, – ленточное.

Скорость и частота измерений, в свою очередь, зависят от диапазона измерения. Максимальный диапазон обычно составляет 30-40 м. Время между измерениями составляет от 3 мин (диапазон измерения 5 м) до 18 мин (диапазон измерения 30 м). Таким образом, лотовые уровнемеры производят условно непрерывное измерение.

Несомненными плюсами данных приборов являются простота монтажа и возможность обходиться без технического обслуживания. Интервал ТО составляет до 500 000 циклов. Диагностические возможности практически всех моделей позволяют получать оповещение после истечения назначенного количества циклов измерения.

Стоит иметь в виду, что во время наполнения чувствительный груз может быть засыпан, поэтому необходимы точная настройка системы загрузки и работы уровнемера и обеспечение достаточного расстояния от прибора до канала загрузки, чтобы материал никаким образом не попадал на груз.

## **2.3 Датчики температуры**

### **2.3.1 Термоэлектрические преобразователи**

**Термоэлектрический термометр** – прибор для измерения температуры, состоящий из термопары в качестве чувствительного элемента и электроизмерительного прибора (милливольтметра, автоматического потенциометра и др.).

Термоэлектрическим преобразователем, или термопарой, называют два разнородных электропроводящих элемента (обычно металлические проводники, реже полупроводниковые), соединенных на одном конце и образующих часть устройства, использующего термоэлектрический эффект для измерения температуры.

Измерение температуры с помощью термоэлектрического преобразователя основано на термоэлектрическом эффекте Зеебека: в замкнутой термоэлектрической цепи, составленной из двух разнородных проводников, возникает электрический ток, если два спая (места соединения) проводников имеют разную температуру.

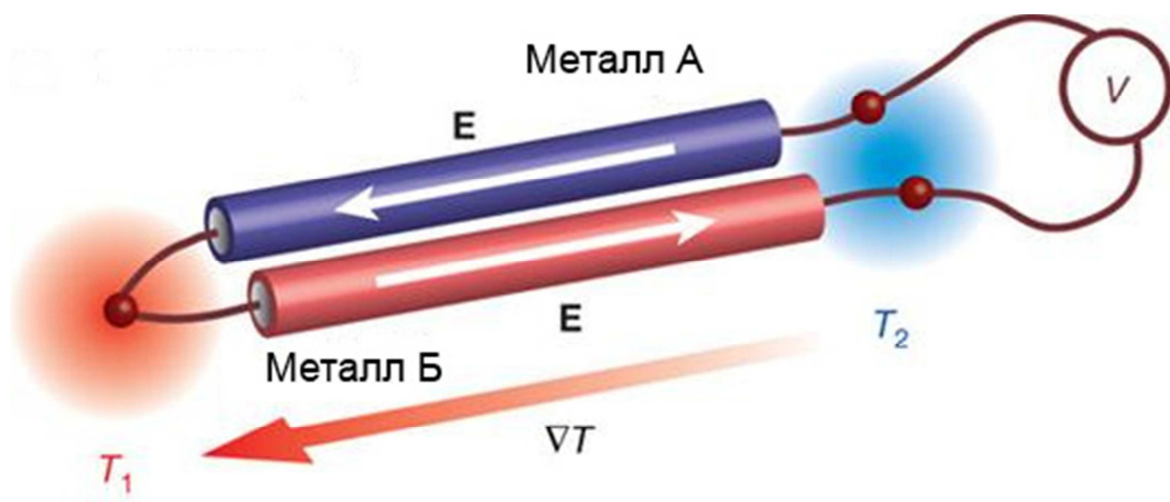


Рисунок 20 — Структура термопары

Термоэлектрический эффект объясняется наличием в проводнике (металле) свободных электронов, число которых в единице объема различно для разных проводников (металлов).

Конструктивное оформление термоэлектрического преобразователя разнообразно и зависит в основном от условий их применения. Термоэлектроды обычно делают из проволоки, реже из полосок не очень тонкой фольги. Рабочий спай помещают в зонд или непосредственно в среду, температуру которой измеряют. Изготавливают открытые или закрытые рабочие спаи. Термоэлектроды, выполненные в виде фольги, наклеивают на подложку.

### 2.3.2 Термопреобразователи сопротивления

Принцип действия термометров сопротивления основан на зависимости электрического сопротивления материалов от температуры.

Первичный измерительный преобразователь термометров сопротивления называют термопреобразователем сопротивления (ТС).



Рисунок 21 — Внешний вид промышленного термометра сопротивления

В отличие от термопар, являющихся активными преобразователями (преобразователями генераторного типа), термопреобразователи сопротивления являются пассивными преобразователями (преобразователями параметрического типа). Для них необходим вспомогательный источник энергии, тогда как для термопар он обычно не требуется.

Различают металлические и полупроводниковые термопреобразователи сопротивления. Полупроводниковые термопреобразователи сопротивления называют также термисторами.

#### **Металлические термопреобразователи сопротивления**

В качестве материала для металлических ТС используют чаще всего платину, медь и никель, из которых изготавливаются технические ТС для измерения температуры в интервале от минус 200 °С до плюс 750 °С (платиновые) и от минус 50 °С до плюс 180 °С (медные).

Конструктивно термопреобразователи сопротивления представляют собой тонкую платиновую или медную проволоку, намотанную бифилярно

на специальный слюдяной, фарфоровый или пластмассовый каркас, или свернутую в спираль и вложенную в каналы защитного корпуса.

К недостаткам можно отнести большие размеры термопреобразователей сопротивления (диаметр чехла для термопреобразователя сопротивления 6...20 мм, длина 50...180 мм) и, как следствие, их высокую инерционность (постоянная времени ТС может составлять несколько секунд при измерении температуры жидкостей и несколько минут при измерении температуры газов).

### **Полупроводниковые термопреобразователи сопротивления**

Другая основная группа чувствительных к температуре преобразователей температуры известна под названием термисторы.

Зависимость сопротивления термистора от температуры можно приближенно выразить экспоненциальной функцией температуры, что не позволяет создать для них стандартные градуировочные характеристики.

Сопоставление характеристик преобразователей сопротивления с характеристиками термисторов позволяет прийти к следующим выводам: последние существенно не линейны (это недостаток, сюда же можно отнести низкую стабильность).

Разработаны различные способы линеаризации статической температурной характеристики термистора: шунтирование термистора линейным резистором; последовательное подключение с термистором линейного резистора или преобразователя, имеющего зеркальную проходную характеристику по отношению к температурной характеристике термистора; использование специального процессора и т. д.

Чувствительный элемент термистора изготавливают из медномарганцевых, кобальтомарганцевых и других соединений. Форма и размеры чувствительного элемента термистора разнообразны: пластинка, стержень или диск, шайба (диаметр менее 0,2 мм), спеченный шарик (диаметр 0,2...0,5 мм). Термисторы существенно меньше по размерам, чем металлические

термопреобразователи сопротивления, и поэтому быстрее реагируют на изменение температуры.

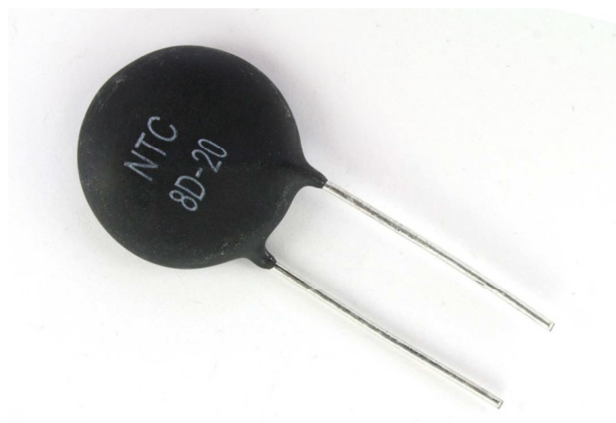


Рисунок 22 — Внешний вид термистора

Диапазон измеряемых термисторами температур сравнительно не-большой: от минус 60 °С до плюс 180 °С. Термисторы обладают удовле-творительной точностью, высокой чувствительностью, а также малой инерционностью – наименьшей постоянной времени (по сравнению с дру-гими типами термометров).

Термисторы изготавливают с большим начальным сопротивлением, что позволяет снизить до незначительных величин погрешности, вызываемые изменением температуры соединительных проводов.

### **2.3.3 Измерение температуры бесконтактным методом**

**Бесконтактный способ измерения температуры** основан на вос-приятии тепловой энергии, передаваемой лучеиспусканием и вос-принимаемой на расстоянии от исследуемого объекта. Верхний предел из-мерения температуры таким способом теоретически неограничен. Часто традиционный контактный способ измерения температуры невозможно применить в силу ряда причин: недоступные для прямого контакта по-верхности (промышленное оборудование, высокая температура в произ-водстве кирпича, керамики, стекла и т. д., агрессивные вещества); матери-алы, плохо проводящие теплоту; небольшие размеры объектов (при изме-

рении контактным методом энергия между датчиком и объектом измерения перераспределяется, в результате чего температура объекта может существенно измениться).

Известно, что любая поверхность, температура которой выше абсолютного нуля, испускает тепловую энергию в виде электромагнитного излучения. При поглощении электромагнитного излучения от излучающего тела другими телами электромагнитное излучение вновь превращается в тепловую энергию. Излучение нагретых тел называют тепловым. Температуру тела можно измерить на расстоянии по тепловому излучению, при этом температурное поле объекта измерения не искажается. Следовательно, бесконтактный метод измерений температуры основан на том, что чувствительный элемент средства измерений не приводится в контакт с объектом измерения.

Измерение температуры тел по их тепловому излучению называют **пирометрией**. Средства измерений температуры тел по тепловому излучению называют пирометрами излучения или просто пирометрами.

### **2.3.3.1 Яркостные пирометры**

Наиболее известными из них являются пирометры с «исчезающей» нитью накаливания, применяемые для измерения яркостной температуры в видимой области спектра. Принцип действия: сравнение яркости измеряемого излучения и контрольного излучателя, например, накаливаемой нити вольфрама.

Сравнить обе яркости можно, например, изменением яркости контрольного излучателя, изменяя мощность нагревания нити в широких пределах. Благоприятная для чувствительности глаза длина волны (0,65 мкм) в области видимой части спектра обеспечивается красным светофильтром. Если в результате уравнивания достигается равенство обеих яркостей, то верхняя часть нити накаливания исчезнет (перестанет быть видимой) на

фоне изображения источника измеряемого излучения. Мощность нагревания нити накаливания на пути потока излучения является показателем яркостной температуры измеряемого объекта. Ее считывают по температурной шкале измерительного прибора.

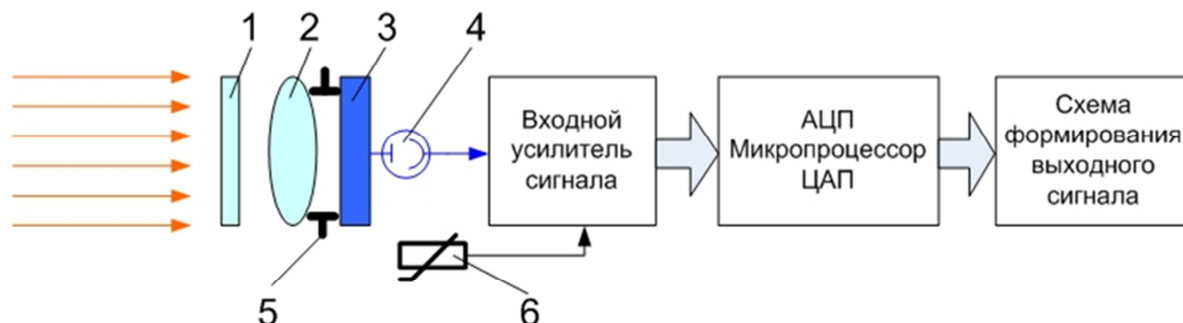


Рисунок 23 — Структура яркостного пирометра

1 – стекло; 2 – объектив 3 – оптический фильтр; 4 – фотоприемник; 5 – система диафрагм; 6 – датчик температуры

Диапазон измерений температуры для пирометров с «исчезающей» нитью накаливания: 400...5000 °С (в особых случаях до 10000 °С). Погрешность промышленных пирометров составляет  $\pm 1$  % от верхнего предела диапазона измерений.

### 2.3.3.2 Пирометры спектрального отношения

**Действие цветowych пирометров**, или пирометров спектрального отношения, основано на перераспределении энергетических яркостей внутри данного участка спектра при изменении температуры. Они определяют яркость излучения измеряемого объекта на двух различных длинах волн. Если соответствующие значения спектральных коэффициентов излучения достаточно близки между собой (излучатель – серое тело), то определение температуры практически не зависит от абсолютной величины коэффициента излучения, поскольку искомая температура непосредственно определяется отношением яркостей. Для этого в пирометрах с помощью двух светофильтров выделяют два излучения с различными длинами волн и

каждое подают на два отдельных фотоэлектрических чувствительных элемента. Затем по выходным сигналам фотоэлектрических элементов формируется их отношение.

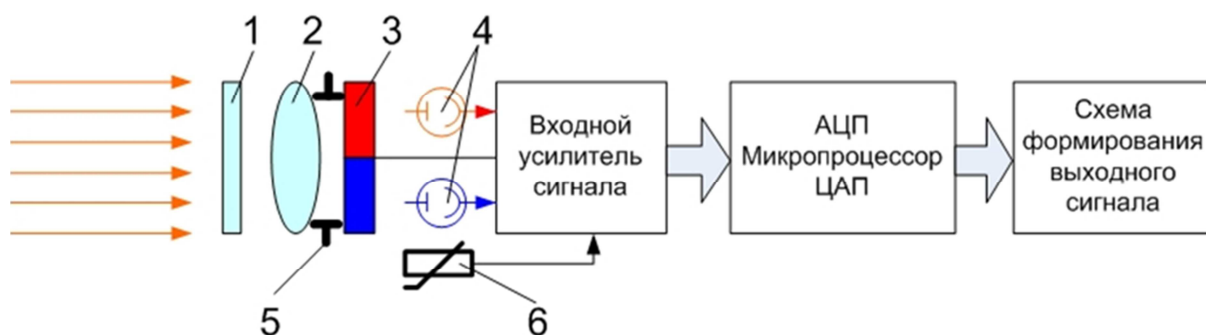


Рисунок 24 — Структура пирометра спектрального отношения

1 – стекло; 2- объектив 3 – оптический фильтр; 4 – фотоприемники; 5 – система диафрагм; 6 – датчик температуры

Диапазон измерения температуры (расплавов металлов) для пирометров спектрального отношения составляет 800...3000 °С, погрешность равна 1...2 % от верхнего предела диапазона измерений.

Пирометры спектрального отношения работают более точно, чем радиационные пирометры, поскольку недостоверность определения коэффициента излучения не влияет на результаты измерений.

### 2.3.3.3 Пирометры полного излучения

**Принцип действия** основан на зависимости интегральной энергетической яркости тела в широком спектральном интервале от температуры.

Принято считать пирометр радиационным (полного излучения), если в нем используется не менее 90 % всего излучения, поступающего от измеряемого объекта.

Радиационный пирометр – это бесконтактный измерительный первичный преобразователь, реагирующий на излучение нагретого тела преиму-

щественно в инфракрасной области спектра с длинами волн от 0,75 до 1000 мкм.

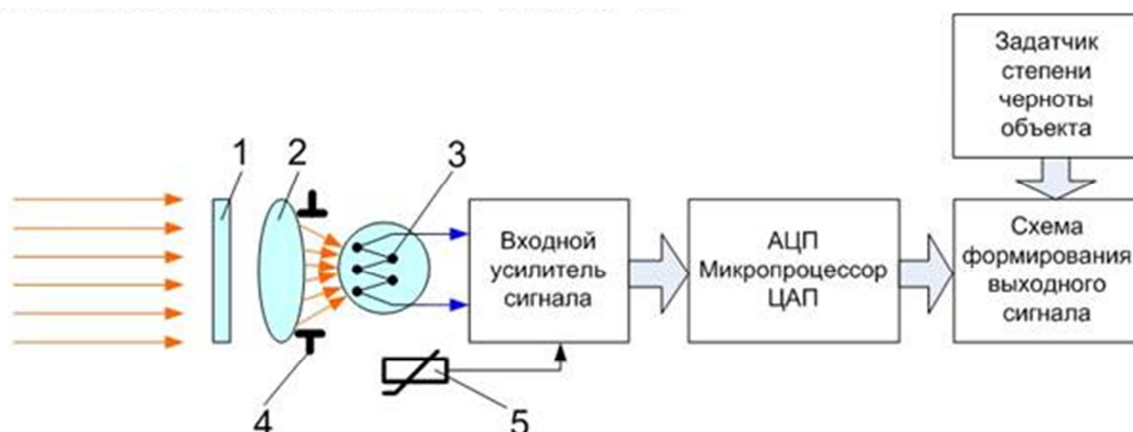


Рисунок 25 — Структура пирометра полного излучения

1 – стекло; 2 – объектив 3 – термобатарея; 4 – система диафрагм; 5 – датчик температуры

Оптические линзы и зеркальная система, чувствительные в инфракрасной области спектра, используются, чтобы сфокусировать излучение на миниатюрную термобатарею, состоящую из нескольких последовательно соединенных термоэлектрических преобразователей, или резистивный преобразователь. Радиационные пирометры применяются для измерения не только высоких температур (вплоть до 3500 °С), но и для низких (до минус 50).

## 2.4 Датчики расхода

Расходомер – прибор, измеряющий объемный расход или массовый расход вещества. Если прибор имеет интегрирующее устройство (счетчик) и служит для одновременного измерения и количества вещества, то его называют счетчиком-расходомером.

### 2.4.1 Скоростные счетчики расхода

Принцип действия **скоростных счетчиков** состоит в том, что протекающий через прибор поток измеряемой жидкости приводит во вращение

крыльчатку или вертушку, скорость вращения которых при этом пропорциональна средней скорости протекающей жидкости, а, следовательно, и расходу. Скорость вращения пропорциональна расходу.

Скоростные счетчики выпускают двух основных конструктивных модификаций: счетчики с **аксиальным** и **тангенциальным** подводом жидкости к турбинному датчику прибора. Устройство счетчика с аксиальным подводом жидкости показано на рисунке.

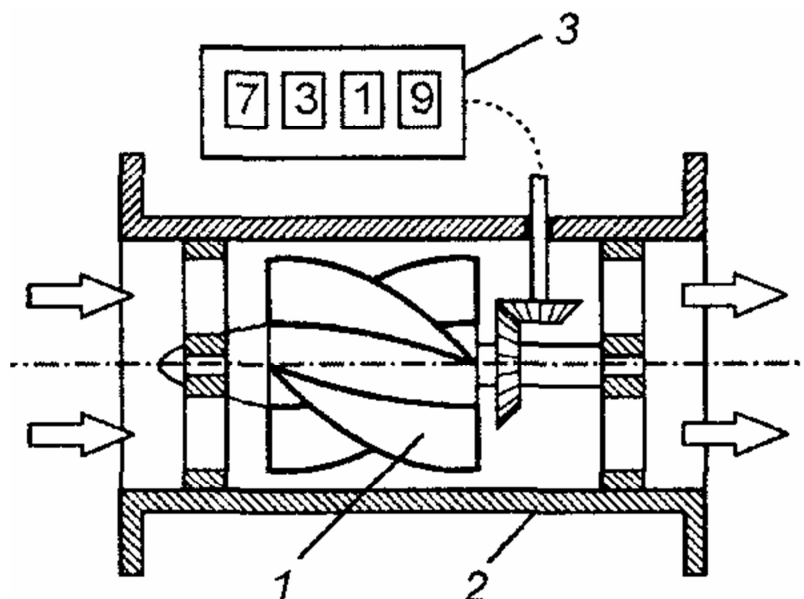


Рисунок 26 — Конструкция счетчика с аксиальной турбинкой

Поток жидкости, поступая в прибор, выравнивается струевыпрямителем и направляется на лопасти аксиальной турбины 1, выполненной в виде многозаходного винта. Вращение турбины через червячную пару и передаточный механизм, помещенный в корпус 2, передается счетному устройству 3, которое имеет стрелочные указатели с делениями, оцифрованными в литрах или кубических метрах. Возможность отсчета показаний непосредственно в единицах объемного количества (а не в числах оборотов турбины) обеспечивается регулировкой передаточного числа механизма б, соответствующим подбором сменных шестерен и регулировкой скорости вращения турбины специальным регулировочным устройством. Устройство позволяет поворачивать одну из радиальных перегородок

струевыпрямителя относительно направления потока. Вследствие этого часть потока, заключенная между поворотной регулировочной пластиной и соседними перегородками струевыпрямителя, в зависимости от угла поворота пластины будет подталкивать или тормозить вращающуюся турбинку. Регулируя таким образом скорость вращения турбинки в процессе тарировки счетчика, добиваются соответствия (в пределах погрешности тарировки) между его показаниями и действительным количеством протекшей жидкости.

Устройство счетчика с тангенциальным подводом жидкости показано на рисунке. В этих счетчиках турбинку выполняют вертикальной прямолопастной.

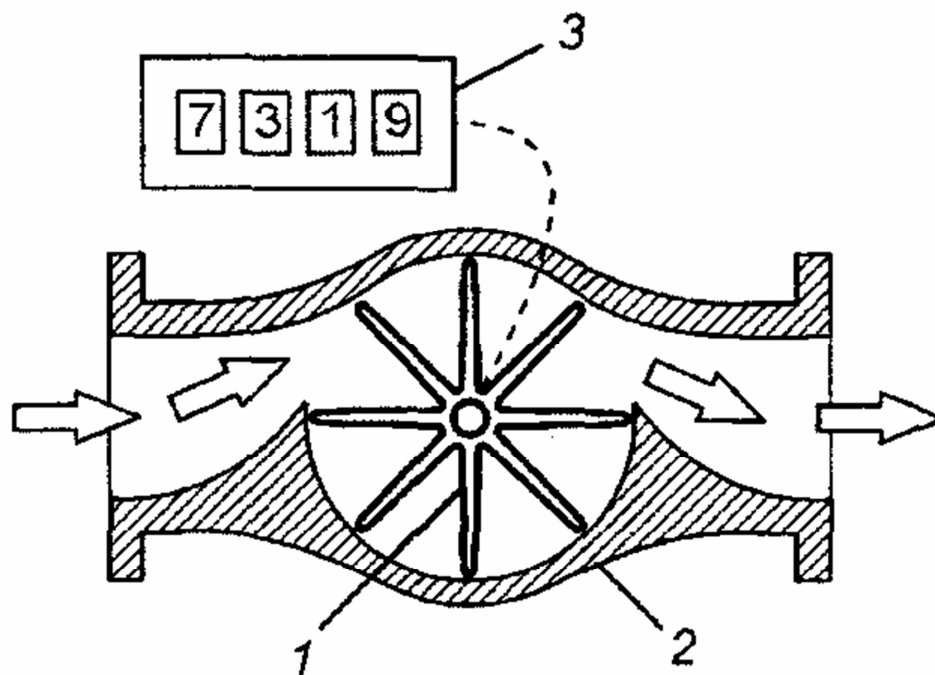


Рисунок 27 — Конструкция счетчика с тангенсальной турбинкой

Поток жидкости подается по касательной к окружности, описываемой средним радиусом лопастей. Жидкость может подводиться на лопасти одной (одноструйные счетчики) или несколькими (многоструйные счетчики) струями. Конструктивное отличие многоструйного счетчика от одноструйного состоит в том, что турбинку помещают в цилиндрическую камеру.

Камера имеет два ряда равномерно распределенных по окружности сопел. Через нижний ряд сопел жидкость подается на лопасти турбинки, через верхние (обратные по направлению) отводится из камеры. В многоструйных счетчиках с прямым и обратным течением жидкости в зависимости от направления потока назначение сопел может меняться.

Одноструйные и многоструйные счетчики обладают рядом сравнительных достоинств и недостатков. Так, одноструйные счетчики более просты по конструкции и обладают меньшей потерей давления. Однако они менее надежны в эксплуатации вследствие одностороннего износа опоры и значительного изменения показаний при засорении сетки фильтра. В многоструйных счетчиках опора изнашивается равномерно. Однако при том же калибре они имеют несколько меньшую по диаметру турбинку, которая быстрее вращается и скорее изнашивается.

В зависимости от того, отделен ли счетный механизм прибора от измеряемой среды перегородкой и сальниковыми уплотнениями или измеряемая среда заполняет весь механизм счетчика вплоть до стекла над счетным указателем счетчики подразделяют соответственно на «сухоходы» и «мокроходы». Счетчики «мокроходы» более просты по «конструкции», обладают большей чувствительностью и точностью, так как в них существенно меньше потери на трение (отсутствуют сальниковые уплотнения), и более удобны в эксплуатации. Однако из-за грязи и абразивных включений в измеряемых жидкостях большее распространение получили счетчики «сухоходы», счетный механизм которых защищен от воздействия вредных примесей.

Существенным недостатком скоростных аксиальных и тангенциальных счетчиков является зависимость их показаний от вязкости измеряемой жидкости. Поэтому скоростные счетчики применяются исключительно для измерения количества воды.

Погрешность показаний скоростных счетчиков при их правильной регулировке и нормальной эксплуатации находится в пределах  $\pm (2—3) \%$ .

Счетчики с аксиальными турбинками применяют для измерения количества воды при больших расходах в промышленных системах водоснабжения; счетчики с тангенциальными турбинками – для измерения количества воды при малых расходах (например, в бытовых водопроводах и малых отопительных системах). Возможность применения аксиальных водосчетчиков для измерений при больших расходах обуславливается тем, что вся лобовая поверхность аксиальной турбинки защищена от осевого действия потока неподвижным обтекателем, на котором крепятся струевыпрямительные перегородки.

#### **2.4.2 Объемные расходомеры**

Принцип действия объемных расходомеров основан на периодическом или непрерывном отсчете порций измеряемого вещества прибором, имеющим измерительную камеру определенного объема. Расход за любой промежуток времени при объемном методе измерения является суммой измеренных объемов, отнесенной к определенному периоду времени. Прибор вытесняет непосредственно лишь определенный физический объем и фиксирует число прошедших через измерительную камеру объемов. Расход, измеренный объемным расходомером, равен сумме отдельных измеренных объемов, отнесенной ко времени измерения:

$$Q = \frac{n \cdot q}{t_2 - t_1},$$

где  $q$  – объем измерительной камеры прибора;

$n$  – число измеренных объемов;

$t_2 - t_1$  – промежуток времени, в течение которого производились измерения.

На рисунке 28 показана схема работы шестеренчатого объемного счетчика с овальными шестернями. Шестерни размещены внутри пустотелого закрытого корпуса на двух параллельных осях. Ось одной из шестерен вращает счетный механизм, расположенный снаружи крышки. Поверхности шестерен должны как можно ближе прилегать к поверхности корпуса, так как от этого зависит точность измерения. При протекании жидкости через измерительную камеру под действием разности давлений на входе и выходе камеры возникает вращающий момент, обусловленный овальной формой шестерен.

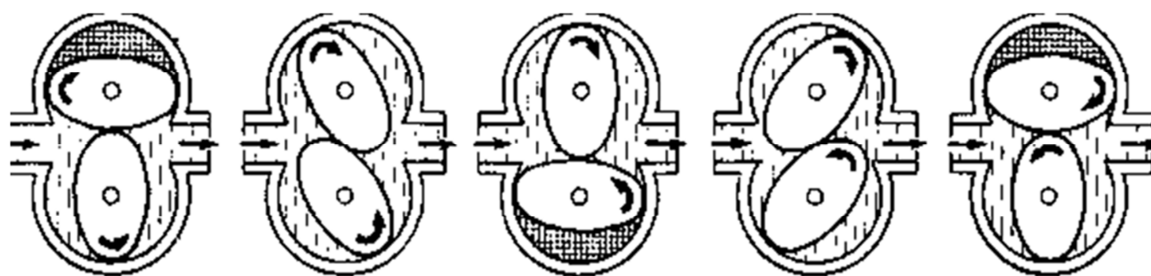


Рисунок 28 — Схема работы шестеренчатого объемного счетчика

При каждом обороте шестерни подают определенный объем жидкости из входной полости камеры в выходную. Следовательно, объемное количество жидкости, протекающей через счетчик, равно произведению измерительного объема камеры на число оборотов шестерен. Таким образом, измерение объемного количества жидкости сводится к измерению числа оборотов. За время одного рабочего цикла из измерительной камеры вытесняются четыре серпообразных объема (заштрихованы), которые и составляют измерительный объем камеры. Такими счетчиками измеряют количества воды, легких нефтепродуктов и масел. Калибр выпускаемых счетчиков от 12 до 250 мм, предел измерения от 0,01 до 250 м<sup>3</sup>/ч, погрешность от  $\pm 0,5$  до  $\pm 1,0\%$  от измеряемого значения.

### 2.4.3 Шестеренчатые расходомеры

Шестеренчатые расходомеры подходят в первую очередь для работы с вязкими, со смазывающими свойствами средами (маслами). Две плотно сопряженные между собой шестерни установлены в корпусе датчика таким образом, что образуют закрытую измерительную камеру.

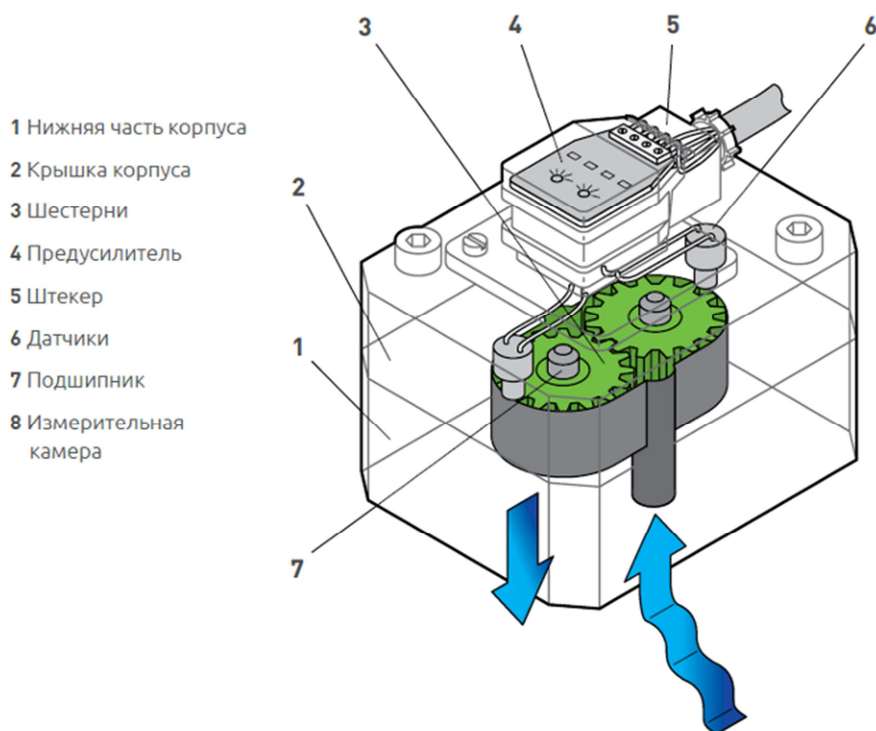


Рисунок 29 — Конструкция шестеренчатого расходомера

Жидкость под воздействием энергии потока проходит через измерительную камеру, заполняет определенное пространство между стенками камеры и зубчатыми колесами, заставляя их вращаться. При этом за один оборот транспортируется определенное количество измеряемой среды. Датчик Холла является чувствительным элементом, который бесконтактно определяет частоту вращения шестерней. Количество оборотов пропорционально значению расхода и выдается в форме электрических импульсов. При колебании температуры, например, у масел возможно изменение вязкости.

#### 2.4.4 Расходомеры переменного перепада давления

Метод измерения расхода по переменному перепаду давления в сужающем устройстве основан на зависимости перепада давления в неподвижном сужающем устройстве, устанавливаемом в трубопроводе, от расхода измеряемой среды. Это устройство является первичным преобразователем расхода. Создаваемый в сужающем устройстве перепад давления измеряется датчиком дифференциального давления.

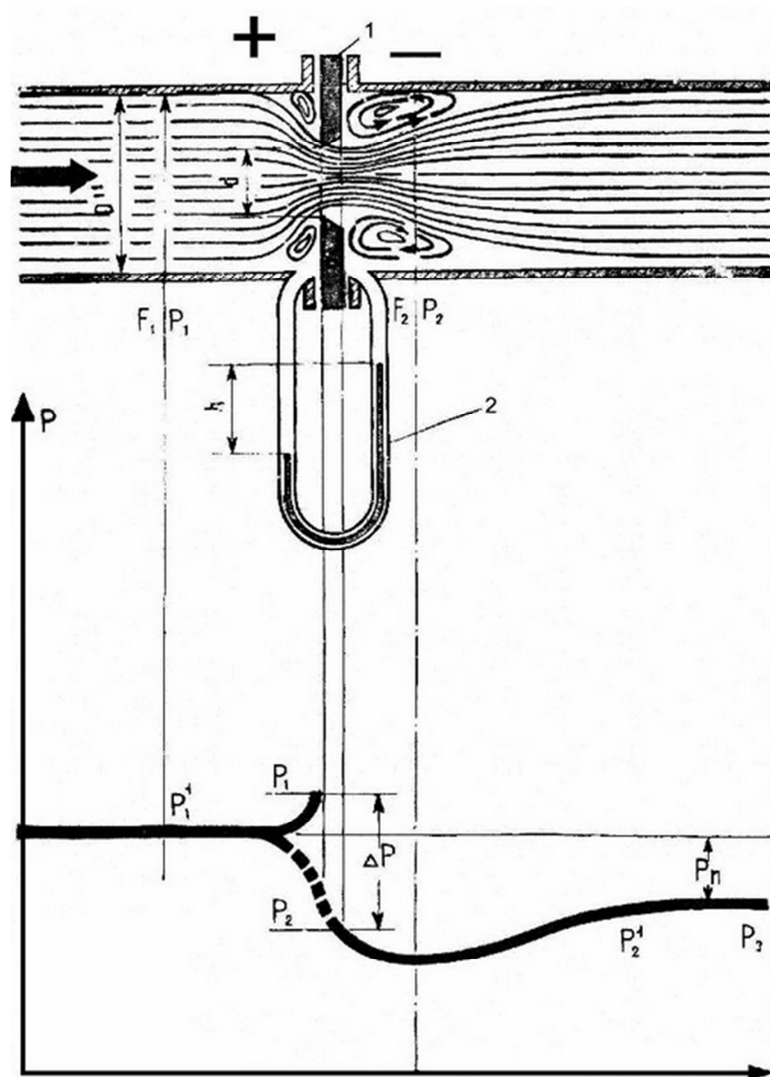


Рисунок 30 — Принцип измерения расхода с использованием сужающего устройства

Рассматриваемый принцип измерения заключается в том, что при протекании потока через отверстие сужающего устройства повышается ско-

рость потока по сравнению со скоростью до сужения. Увеличение скорости, а, следовательно, и кинетической энергии вызывает уменьшение потенциальной энергии и соответственно статического давления.

Использование рассматриваемого метода измерения требует выполнения определенных условий:

- характер движения потока до и после сужающего устройства должен быть стационарным, должны быть предусмотрены прямые участки до и после сужающего устройства;
- поток должен полностью заполнять все сечение трубопровода;
- фазовое состояние потока не должно изменяться при его течении через сужающее устройство; пар должен быть перегретым, при этом для него справедливы все положения, касающиеся измерения расхода газа;
- во внутренней полости трубопровода до и после сужающего устройства не образуются осадки и другие виды загрязнения;
- на поверхностях сужающего устройства не образуются отложения, изменяющие его геометрию.

Сужающие устройства условно подразделяются на стандартные и нестандартные. Стандартными называются сужающие устройства, которые изготовлены и установлены в соответствии с руководящим нормативным документом РД-50-213-80. Градуировочная характеристика стандартных сужающих устройств может быть определена расчетным путем без индивидуальной градуировки.

Градуировочные характеристики нестандартных сужающих устройств определяются в результате индивидуальной градуировки.

В качестве сужающих устройств используются диафрагмы, сопла и, значительно реже, сопла Вентури.

### **Достоинства** расходомеров с сужающими устройствами:

- 1) сужающие устройства простые, дешевые и надежные средства измерения расхода;
- 2) сужающие устройства универсальны, т.е. могут применяться для измерения расхода практически любых однофазных (иногда и двухфазных) сред в широком диапазоне давлений, температур, расходов и диаметров трубопровода;
- 3) градуировочная характеристика стандартных сужающих устройств может быть определена расчетным путем, поэтому отпадает необходимость в образцовых расходомерных установках;
- 4) возможность использования для различных условий измерения однотипных по устройству дифманометров и вторичных приборов; индивидуальным для каждого расходомера является только сужающее устройство.

### **Недостатки** расходомеров с сужающими устройствами:

- 1) нелинейная зависимость между расходом и перепадом, что не позволяет измерять расходы менее 30% от верхнего диапазона измерения расхода из-за возрастания погрешности измерения;
- 2) необходимость индивидуальной градуировки сужающих устройств при измерении расходов в трубах малого диаметра;
- 3) ограниченная точность, причем погрешность измерения колеблется в широких пределах (1,5,3 %) в зависимости от состояния сужающего устройства, диаметра трубопровода, постоянства давления и температуры измеряемой среды;
- 4) ограниченное быстродействие (инерционность) из-за наличия длинных импульсных трубок и в связи с этим трудности при измерении быстроменяющихся расходов.
- 5) потери давления на сужении.

## 2.4.5 Ультразвуковые расходомеры

Принцип действия **ультразвукового расходомера** (частота более 20 кГц) жидкости и газа основан на явлении смещения звукового колебания проходящего сквозь движущуюся жидкую среду.

Неоспоримыми достоинствами ультразвуковых расходомеров являются:

- малое или полное отсутствие гидравлического сопротивления,
- надежность (так как отсутствуют подвижные механические элементы),
- высокая точность,
- быстроедействие,
- помехозащищенность.

Все эти достоинства определили высокую распространенность данных расходомеров при измерении расхода жидкостей и газов.

### 2.4.5.1 Фазовые ультразвуковые расходомеры

Принцип действия этих **ультразвуковых расходомеров** основан на измерении разности фазовых сдвигов двух ультразвуковых колебаний, направленных по потоку жидкости или газа и против него.

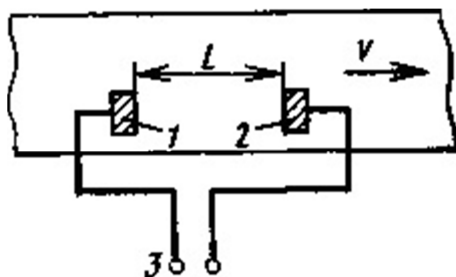


Рисунок 31 – Принципиальная схема фазового ультразвукового расходомера жидкости и газа: 1, 2 – пьезоизлучатель и пьезоприёмник ультразвуковых колебаний; 3 – переключатель механический

На поверхности трубопровода (рисунок 31) расположены два пьезоэлектрических элемента 1 и 2. В качестве пьезоэлектрических элементов используют пластины титаната бария, обладающие наиболее высоким пьезомодулем по сравнению с другими пьезоэлектриками. Пьезоэлемент 1 механическим переключателем 3 подключен к генератору высокочастотных синусоидальных электрических колебаний. Пьезоэлемент преобразует электрические колебания в ультразвуковые, которые направляются в контролируемую среду через стенки трубопровода. Пьезоэлемент 2 воспринимает ультразвуковые колебания, прошедшие в жидкости расстояние  $L$ , и преобразует их в выходные электрические колебания.

Наличие в схеме механического переключателя ограничивает возможность измерения быстро меняющихся расходов вследствие небольшой частоты переключений (порядка 10 Гц). Это можно исключить, если в трубопроводе установить две пары пьезоэлементов так, чтобы в одной паре излучатель непрерывно создавал колебания, направленные по потоку, а в другой – против потока. В таком расходомере на фазометр будут непрерывно поступать два синусоидальных колебания, фазовый сдвиг между которыми пропорционален скорости потока жидкости или газа.

#### **2.4.5.2 Частотно-пакетные ультразвуковые расходомеры**

Принцип действия этих **ультразвуковых расходомеров** основан на измерении частот импульсно-модулированных ультразвуковых колебаний, направляемых одновременно по потоку жидкости или газа и против него.

Генераторы  $\Gamma$  (рисунок 32) создают синусоидальные колебания высокой частоты (10 МГц) и подают их через модуляторы  $M$  на излучающие пьезоэлементы  $\Pi 1$  и  $\Pi 3$ . Пьезоэлемент  $\Pi 1$  создает направленные ультразвуковые излучения (с частотой 10 МГц), которые воспринимаются пьезоэлементом  $\Pi 2$ . При неподвижной жидкости время распространения излучений при расстоянии  $L$  между пьезоэлементами равно.

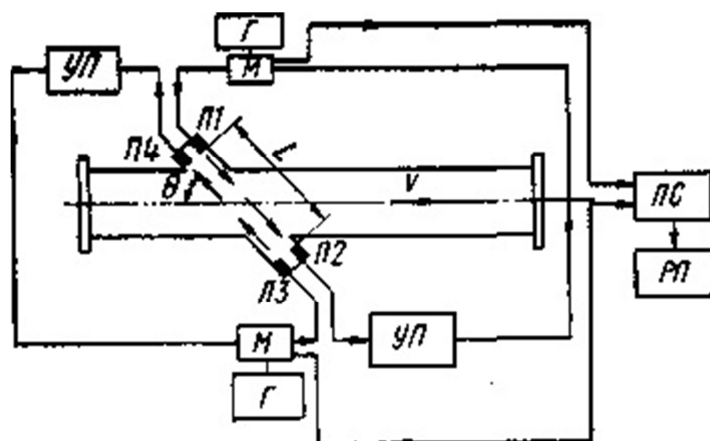


Рисунок 32 - Структурная схема частотно-пакетного ультразвукового расходомера

### 2.4.5.3 Доплеровские ультразвуковые расходомеры

Доплеровский расходомер основан на эффекте Доплера. Он хорошо работает с суспензиями, где концентрация частиц выше 100 ppm и размер частиц больше 100 мкм, но концентрация составляет менее 10 %. Такие расходомеры жидкости легче и менее точные. Этот тип ультразвукового измерителя также использует два датчика, но они монтируются рядом на одной стороне трубопровода. Ультразвуковые волны постоянной частоты излучаются в поток одним из датчиков. Неоднородности внутри потока жидкости отражают звук обратно в другой датчик, являющийся приемником. Доплеровский принцип гласит, что если есть относительное движение между приемником и передатчиком, то частота сигнала и длина волны будут меняться пропорционально скорости движения. В данном случае неоднородности, отражающие сигнал, движутся со скоростью потока. Электронным методом определяется разница частот передатчика и приемника и, соответственно, вычисляется скорость потока. В отличие от первого метода, при использовании эффекта Доплера в потоке обязательно должны быть неоднородности, отражающие сигнал  $\pm 5 \%$ , таким образом, они дешевле, чем время-импульсные расходомеры.

## 2.4.6 Электромагнитные расходомеры

В проводнике, пересекающем силовые линии магнитного поля, индуцируется ЭДС, пропорциональная скорости движения проводника. При этом направление тока, возникающего в проводнике, перпендикулярно к направлению движения проводника и направлению магнитного поля. Это известный закон электромагнитной индукции – закон Фарадея.

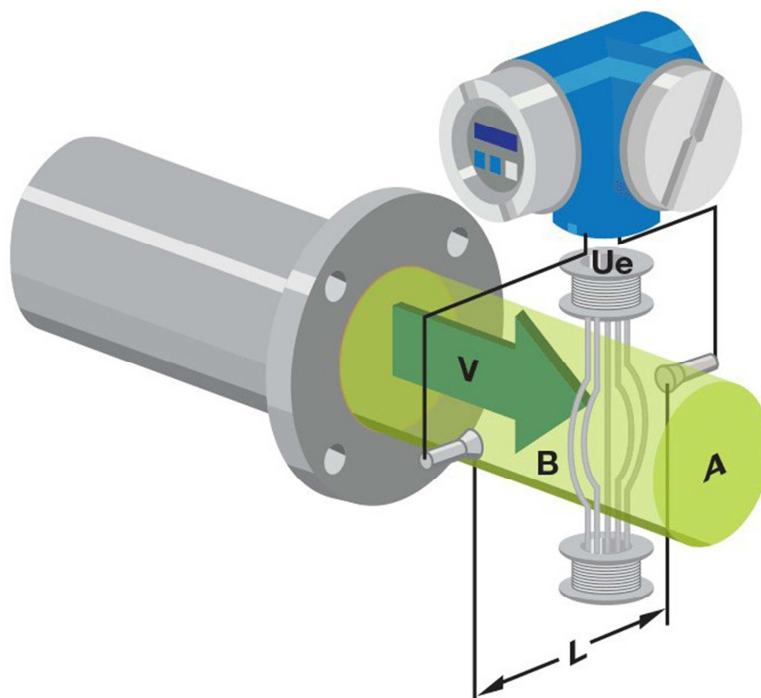


Рисунок 33 – Принцип работы электромагнитного расходомера

Если заменить проводник потоком проводящей жидкости, текущей между полюсами магнита, и измерять ЭДС, наведённую в жидкости по закону Фарадея, можно получить принципиальную схему электромагнитного расходомера, предложенную ещё самим Фарадеем. Электромагнитные расходомеры могут быть выполнены как с постоянными магнитами, так и с электромагнитами, питаемыми переменным током. Электромагнитные расходомеры имеют свои достоинства и недостатки, определяющие области их применения.

Труба в зоне измерения расходомера (длина участка 2..5 диаметров трубы) выполняется из непроводящего немагнитного материала. Чаще все-

го делается футеровка (вставка) из инертных пластиков (типа фторопласта, полиэтилена) в трубу из нержавеющей стали. Для уменьшения турбулентности потока в зоне измерения рекомендуется монтировать расходомер в прямолинейные участки без изменения сечения на протяжении 5..10 диаметров трубы до и после расходомера.

Существенным и основным недостатком электромагнитных расходомеров с постоянным электромагнитом, ограничивающим их применение для измерения слабопульсирующих потоков, является поляризация измерительных электродов, при которой изменяется сопротивление преобразователя, а, следовательно, появляются существенные дополнительные погрешности. Поляризацию уменьшают, применяя электроды из специальных материалов (угольные, каломелиевые) или специальные покрытия для электродов (платиновые, танталовые). Такие расходомеры зачастую требуют ежедневного технического ухода (подрегулировка нуля, поднастройка и т. п.).

В расходомерах с переменным магнитным полем явление поляризации электродов отсутствует, однако появляются другие эффекты, также искажающие полезный сигнал:

- трансформаторный эффект, когда на витке, образуемом жидкостью, находящейся в трубопроводе, электродами, соединительными проводами и вторичными приборами наводится трансформаторная ЭДС, источником которой является обмотка электромагнита или внешние синхронные наводки (например, от соседних расходомеров). Для их компенсации в измерительную схему прибора вводят компенсирующие цепи или питают электромагнит переключаемым постоянным током.
- ёмкостный эффект, возникающий из-за большой разности потенциалов между системой возбуждения магнитного поля и электродами и паразитной ёмкости между ними (соединительные прово-

да и т. п.). Средством борьбы с этим эффектом является тщательная экранировка.

### **Достоинства и недостатки метода**

Первичные преобразователи электромагнитных расходомеров не имеют частей, выступающих внутрь трубопровода (электроды устанавливаются заподлицо со стенкой трубопровода), сужений или изменений профиля. Благодаря этому гидравлические потери на приборе минимальны. Кроме того, преобразователь расходомера и технологический трубопровод можно чистить и стерилизовать без демонтажа. Поэтому эти расходомеры используют в биохимической и пищевой промышленности, где доминирующими являются требования к стерильности среды. Отсутствие полых углублений исключает застаивание и коагулирование измеряемого продукта.

На показания электромагнитных расходомеров не влияют физико-химические свойства измеряемой жидкости, если они не изменяют её электропроводность.

Конструкция первичных преобразователей позволяет применять новейшие изоляционные, антикоррозийные и другие покрытия, что даёт возможность измерять расход агрессивных и абразивных сред. В специальных расходомерах с переменным магнитным полем электроды также могут быть изолированы от жидкости, образуя конденсатор в измерительной цепи.

Метод чувствителен к неоднородностям (пузырькам), турбулентности потока, неравномерности распределения скоростей потока в сечении канала.

Метод чувствителен к паразитным токам заземления, протекающим по трубе. Поэтому при риске возникновения таких токов участки перед и после расходомера делаются из металлической трубы с тщательным электри-

ческим соединением участков для минимизации паразитных токов через воду в районе расходомера.

Расходомеры (особенно с постоянными магнитами) могут забивать сечение трубы металлическим мусором, удерживаемым магнитной системой расходомера. Для борьбы с этим явлением расходомеры с электромагнитами периодически отключаются на короткое время, чтобы поток воды унес мусор.

Отмеченные преимущества и обеспечили достаточно широкое распространение электромагнитных расходомеров, несмотря на их относительную конструктивную сложность.

Электромагнитные расходомеры непригодны для измерения расхода газов, а также жидкостей с электропроводностью менее  $10^{-3} - 10^{-5}$  См/м, например, лёгких нефтепродуктов, спиртов и т. п. Применение разрабатываемых в настоящее время специальных автокомпенсирующих устройств позволит существенно снизить требования к электропроводности измеряемых сред и создать электромагнитные расходомеры для измерения расхода любых жидкостей, в том числе и нефтепродуктов.

#### **2.4.7 Вихревые расходомеры**

В вихревых расходомерах для создания вихревого движения на пути движущего потока жидкости, газа или пара устанавливается тело обтекания, обычно в виде трапеции в сечении. Образовавшаяся за ним система вихрей называется вихревой дорожкой Кармана. Частота вихрей  $f$  в первом приближении пропорциональна скорости потока  $v$  и зависит от безразмерного критерия  $Sh$  (число Струхала) и ширины тела обтекания  $d$ :

$$f = \frac{Sh \cdot v}{d}.$$

Достоинством вихревых расходомеров является отсутствие каких-либо подвижных элементов внутри трубопровода, достаточно низкая нелиней-

ность ( $<1,0\%$ ) в широком диапазоне измерений ( $>1:10\dots1:40$ ), частотный выходной сигнал, а также инвариантность метода относительно электрических свойств и агрегатного состояния движущейся среды.

#### 2.4.7.1 Вихревые расходомеры с обтекаемым телом

Это расходомеры, в которых первичным преобразователем расхода является неподвижное тело (рисунок 34). В таких расходомерах, после обтекания тела (тело обтекания), то с одной, то с другой стороны, по очереди, возникают завихрения, которые и создают пульсацию давления. Следует упомянуть о том, что перед любым вихревым расходомером с обтекаемым телом должен быть установлен прямой участок трубы.

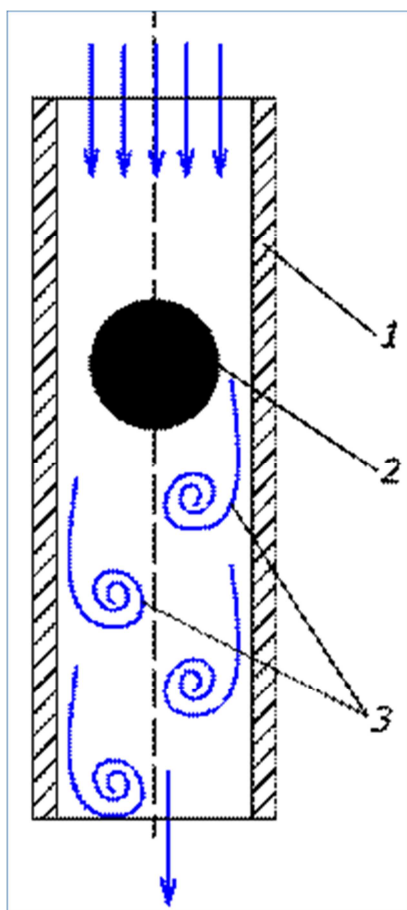


Рисунок 34 – Вихревой расходомер с обтекаемым телом:

1 - трубопровод, 2- тело обтекания круглой формы, 3 - вихри.

### 2.4.7.2 Вихревые расходомеры с прецессией воронкообразного вихря

Это расходомеры, поток в которых закручивается в первичном преобразователе, а попадая в широкую часть трубы, принимает воронкообразный вид и прецессирует – т.е. создает пульсации давления. Здесь, для преобразования частоты пульсации в унифицированный измерительный сигнал используются полупроводниковые термоанемометры или пьезоэлементы. Данный тип вихревых расходомеров подразделяется на приборы с винтовым завихряющим устройством (рисунок 35) и с тангенциальным вводом в камеру (рисунок 36). Их различие состоит в том, что в приборах с тангенциальным вводом в камеру поток входит по касательной и закручивается в виде воронки.

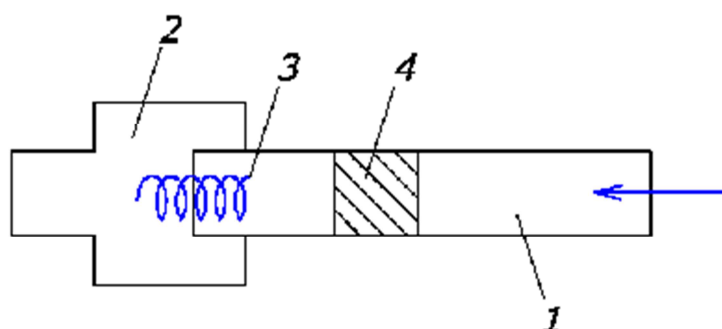


Рисунок 35 – Схема первой ступени вихревых преобразователей с винтовым завихряющим устройством: 1 - труба входящего потока, 2 - участок трубы с большим диаметром, 3 - патрубок, 4 - цилиндрическая камера с резьбой для закручивания потока

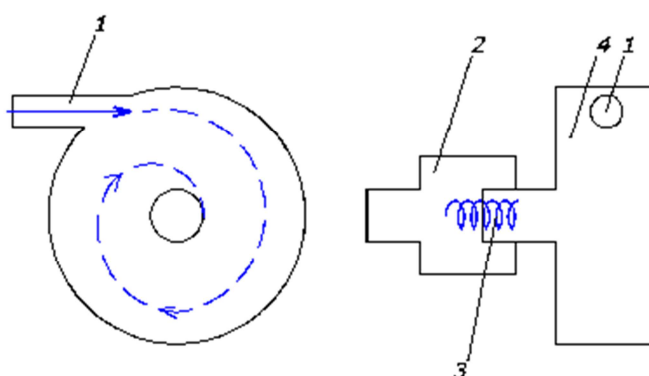


Рисунок 36 - Схема первой ступени вихревых преобразователей с тангенциальным вводом в камеру: 1 - труба входящего потока, 2 - участок трубы с большим диаметром, 3 - патрубок, 4 - цилиндрическая камера для закручивания потока

### 2.4.7.3 Вихревые расходомеры с осциллирующей струей

Это расходомеры, где первичным преобразователем является струя. Пульсации давления, в данном случае, создаются при вытекании струи из отверстия путем её автоколебания, вызываемого специальной конструкции расходомера. Вихревые расходомеры с осциллирующей струей могут быть двух типов: релаксационный (рисунок 37) и с обратной гидравлической связью (рисунок 38). Приборы, имеющие преобразователь с обратной связью лучше, поскольку, такой преобразователь позволяет более строго обеспечить процесс осцилляции и имеет едва ли не линейную зависимость между расходом и частотой колебания. Такие расходомеры могут быть использованы с маленькими трубами, диаметром от 12 до 100 мм.

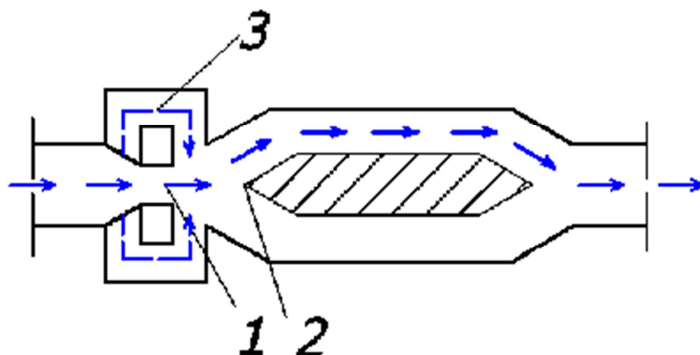


Рисунок 37 - Релаксационный преобразователь вихревого расходомера с осциллирующей струей: 1-сопло, 2 - диффузор, 3-обводная трубка

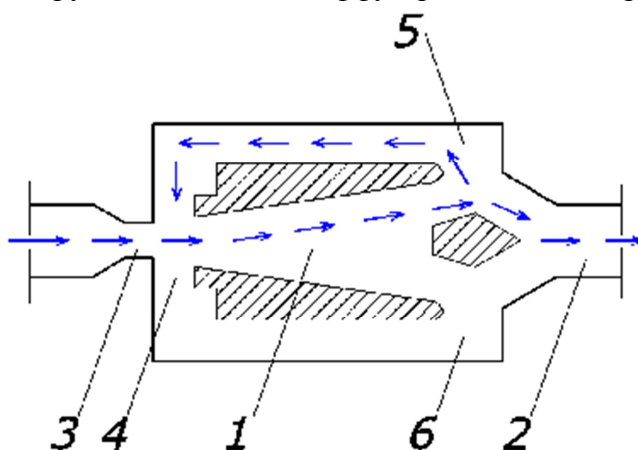


Рисунок 38 - Преобразователь вихревого расходомера с колеблющейся струей с обратной гидравлической связью: 1-диффузор 2- выходной парубок, 3- сопло 4, 4-сопло 2, 5-верхний отводной канал, 6-нижний обводной канал.

### **Преимущества вихревых расходомеров:**

- Надежность и простота в эксплуатации;
- Отсутствие движущихся частей;
- Высокая точность измерений;
- Большой диапазон измерения по давлению и температуре, диаметру трубы;
- Подходит практически для всех жидких и газообразных сред;
- Стабильность показаний;
- Нечувствительность к загрязнениям и отложениям.

### **Недостатки вихревых расходомеров:**

- Невозможность использования при малых скоростях потока;
- Значительная потеря давления (потери до 45 кПа);
- Невозможность использования с трубами диаметром выше 300 мм и сложность при использовании с трубами до 150 мм;
- Чувствительность к вибрационным, шумовым и звуковым помехам (от насосов, компрессоров и др.).

## **2.4.8 Кориолисовые расходомеры**

Кориолисовы расходомеры – приборы, использующие эффект Кориолиса для измерения массового расхода жидкостей, газов. Принцип действия основан на изменениях фаз механических колебаний U-образных трубок, по которым движется среда. Сдвиг фаз пропорционален величине массового расхода. Поток с определенной массой, движущийся через входные ветви расходомерных трубок, создает кориолисову силу, которая сопротивляется вибрации расходомерных трубок. Наглядно это сопротивление чувствуется, когда гибкий шланг извивается под напором прокачиваемой через него воды.

Обычно кориолисовский расходомер состоит из трубки, которая подвергается вибрационному воздействию от внешнего генератора колебаний (рисунок 39). Если трубка пуста, колебания приведут к синхронному ускорению всех участков трубки. Если же по трубке перемещается жидкость, на неё из-за воздействия ускорения, вызванного колебательным воздействием, будет также действовать кориолисова сила, направленная в различные стороны для входного и выходного потоков жидкости, что приведёт к сдвигу фазы колебаний трубки. Величина фазового рассогласования зависит от массы жидкости, протекающей по трубке в единицу времени.

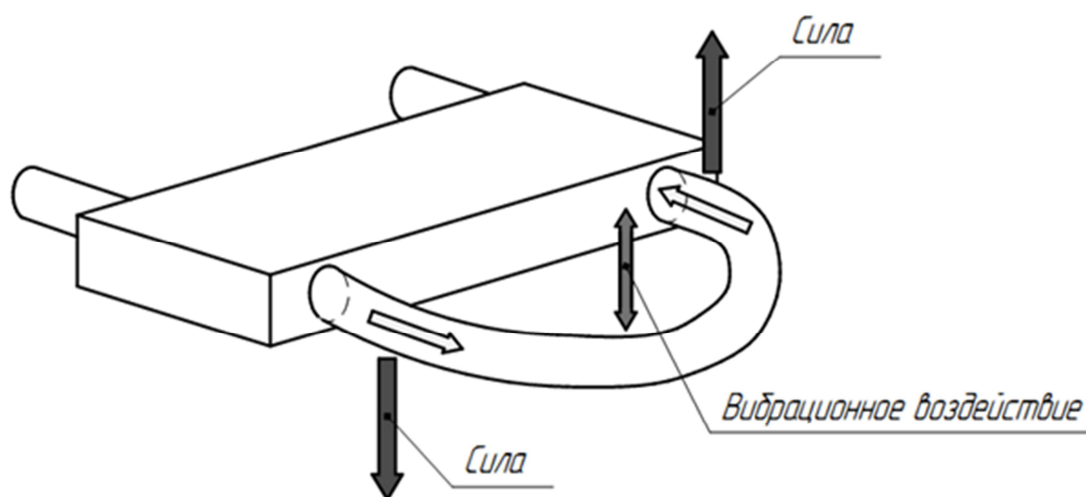


Рисунок 39 - Схема функционирования кориолисового расходомера

Главным достоинством устройств данного типа является их универсальность – они могут применяться для определения скорости потока большого спектра веществ – как жидкостей, так и газов.

#### **Преимущества измерения кориолисовым расходомером:**

- высокая точность измерений параметров;
- работают вне зависимости от направления потока;
- не требуются прямолинейные участки трубопровода до и после расходомера;

- надёжная работа при наличии вибрации трубопровода, при изменении температуры и давления рабочей среды (только если расходомер установлен на резиновые подставки-прокладки);
- длительный срок службы и простота обслуживания благодаря отсутствию движущихся и изнашивающихся частей;
- измеряют расход сред с высокой вязкостью.

Основным же недостатком кориолисовских расходомеров является их относительно высокая стоимость.

#### 2.4.9 Тепловые расходомеры

Тепловые расходомеры относятся к классу **прямых** измерителей массовых расходов жидкостей и газов, т.е. сред с изменяющейся плотностью при изменении температуры и/или давления, в отличие от непрямых (косвенных) способов измерения, предполагающих независимое измерение объемного расхода, вязкости, температуры и давления с последующей коррекцией (вычислением) плотности и, соответственно, массы истечения жидкости или газа.

Принцип измерения массовых расходов, опирающийся на измерение конвективного теплопереноса, известен с публикации закона Л.Кинга в начале 90-х годов XX века:

$$h = A + B \cdot (pV_f)^C$$

где  $h$  - коэффициент теплопередачи нагреваемого тела, находящегося в термодинамическом равновесии с окружающей средой;

$A$ ,  $B$ ,  $C$  - константы, определяемые эмпирически (в процессе калибровки расходомера);

$pV_f$  - «массовая» скорость потока.

Тепловые расходомеры построены на основе измерения «принудительных» конвективных потерь теплоты телом (термометром) при его обтекании набегающим потоком (термоанемометры) и на переносе теплоты (калориметрические расходомеры) между двумя телами.

В обоих случаях измерение потерь количества тепловой энергии сопоставимо в определенных условиях с измерением истечения непосредственно массы потока с достаточно высокой точностью.

Таковыми условиями, прежде всего, являются конструктивные особенности датчиков, обеспечивающие пренебрежимо малые потери тепла, вызываемые другими видами переноса тепловой энергии, не участвующими в принудительном конвективном охлаждении термометров. Это – потери теплоты, вызванные естественной конвекцией при отсутствии движения потока, потери тепла из-за теплопроводности проводников, подключающих термометры к измерительному мостику, а также тепловое излучение, испускаемое нагретым телом.

Другим условием обеспечения точности преобразования массового расхода в электрический сигнал является соответствие постоянной времени термометров динамике потока.

Вышеприведенные уравнения являются крайне нелинейными. Получение линейного выходного сигнала в широком диапазоне расходов зависит также от эффективности используемого метода линеаризации уравнений и его физической реализации.

Тепловые расходомеры в качестве чувствительного элемента используют в большинстве случаев платиновые термометры сопротивления, а также термопары, термисторы, а в микрорасходомерах широкого применения (калориметрических приборах) используются микропроцессорные датчики, использующие КМОП-технология изготовления больших интегральных микросхем.

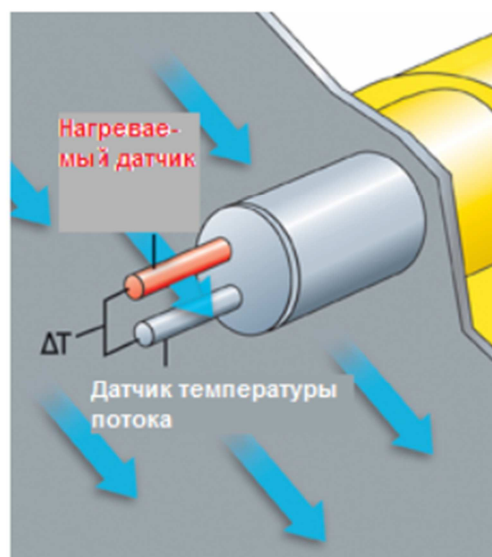


Рисунок 40 - Схема функционирования теплового расходомера

Один термометр является датчиком температуры потока, второй термометр – «датчиком скорости», т.к. служит рабочим телом для измерения тепловых потерь при охлаждении тела набегающим потоком (рисунок 40).

Существуют два способа реализации измерения потерь теплоты чувствительным элементом тепловых расходомеров при его обтекании потоком жидкости или газа.

**Один способ** связан с поддержанием постоянного перепада температур между двумя термометрами.

**Второй способ** связан с поддержанием постоянной мощности на нагреваемом термометре (тока постоянного значения) и измерении разности температур между температурой потока и температурой датчика скорости. Поскольку температура потока измеряется независимо, то у датчика, нагреваемого током постоянного значения, изменяется только сопротивление, которое и требует измерения.

**Тепловые расходомеры постоянного перепада температур** поддерживают постоянную разность температур между охлаждаемым потоком термометром (датчиком скорости) и вторым термометром, который измеряет текущую температуру протекающей среды.

**Тепловые расходомеры постоянной мощности** используют три элемента, устанавливаемых в корпусе датчика.

К нагреваемому термометру подключается дополнительный элемент нагрева термометра током постоянного значения. С изменением скорости обтекания датчика сопротивление термометра изменяется, а подводимый ток сохраняется постоянным. Поскольку значение подводимого тока к датчику скорости всегда постоянно, изменение сопротивления термометра при его обтекании потоком является измеряемой величиной. Температура потока измеряется вторым независимым термометром, и измерение скорости потока сводится к измерению текущего сопротивления нагреваемого термометра.

**Расходомеры постоянной мощности** отличаются устойчивым выходным сигналом, сравнительно легко выделяемым электронным блоком на фоне действующих помех.

Они могут измерять чрезвычайно низкие расходы, расходы грязных и увлажненных газов, жидкостей и даже сухих смесей. Основной областью применения являются АСУ ТП.

**Расходомеры постоянного перепада температур** имеют высокое быстродействие и являются идеальными приборами для измерения чистых газов с высокими скоростями истечения, а также для мониторинга процессов транспортировки (выбросов) газов с малыми постоянными времени в широком диапазоне скоростей.

**Калориметрические расходомеры** используют эффект тепломассопереноса между двумя термометрами, установленными, как правило, в обводной трубке по отношению к трубопроводу основного потока. Путем организации ламинарного истечения основного потока доля потока, протекающего в обводной трубке, остается постоянной при изменении расходов. Используются исключительно в микрорасходомерах жидкости и газов.

## Библиографический список

1. Беспалов, А.В. Системы управления химико-технологическими процессами/ А.В. Беспалов, Н.И. Харитонов. – М.: Академкнига, 2001, 691 с.
2. Вихревые расходомеры [Электронный ресурс]// ООО "ПРАМЕНЬ". URL: <http://npropramen.ru/information/other-flowmeters/43-hydrodynamic-methods/10-vortex-flowmeters> (дата обращения 21.01.2018)
3. Датчики уровня [Электронный ресурс]// Оборудование для автоматизации процессов производства - РусАвтоматизация. URL: [https://rusautomation.ru/datchiki\\_urovnya](https://rusautomation.ru/datchiki_urovnya) (дата обращения 21.01.2018)
4. Интеллектуальные датчики давления с элементами диагностики и управления [Электронный ресурс]// ООО "Пьезоэлектрик" - Производство датчиков давления, температуры, уровня и др.. URL: [http://www.piezoelectric.ru/files/16datchiki\\_davlenia.pdf](http://www.piezoelectric.ru/files/16datchiki_davlenia.pdf) (дата обращения 21.01.2018)
5. Расходомеры жидкости [Электронный ресурс]// Оборудование для автоматизации процессов производства - РусАвтоматизация. URL: <https://rusautomation.ru/rashodomery/rashodomery-zhidkosti> (дата обращения 21.01.2018)
6. Раннев, Г. Г. Измерительные информационные системы: учебник для студ. высш. учеб. заведений /Г. Г. Раннев. – М. Издательский центр «Академия», 2010. — 336 с.
7. Тепловые расходомеры [Электронный ресурс]// АППЭК-Сервис. URL: [http://trimeter.spb.ru/ob\\_izmerenii\\_rashodov/Teplovie\\_rashodomeri.pdf](http://trimeter.spb.ru/ob_izmerenii_rashodov/Teplovie_rashodomeri.pdf) (дата обращения 21.01.2018)
8. Цапенко, М.П. Измерительные информационные системы /М.П. Цапенко – М. Энергоатомиздат, 1985. — 438 с.

Электронное учебное издание

Артем Вячеславович **Савчиц**

## **ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ**

*Учебное пособие*

*Электронное издание сетевого распространения*

Редактор Матвеева Н.И.

Темплан 2018 г. Поз. № 5В.

Подписано к использованию 28.02.2018. Формат 60х84 1/16.

Гарнитура Times. Усл. печ. л. 4,63.

Волгоградский государственный технический университет.

400005, г. Волгоград, пр. Ленина, 28, корп. 1.

ВПИ (филиал) ВолгГТУ.

404121, г. Волжский, ул. Энгельса, 42а.