

**Савчиц А.В.**

**Технические измерения  
и приборы**

**Волжский**

**2024**

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

А.В. Савчиц

# Технические измерения и приборы

*Электронное учебное пособие*



Волжский

2024

УДК 681.5(07)  
ББК 32.965  
С 137

Рецензенты:

начальник проектно-конструкторского отдела ООО Группа «ПРИВОД»

*Задворский С.Н.;*

доцент кафедры «Электроснабжение и энергетические системы»

ФГБОУ ВО ВГАУ, кандидат физ.-мат. наук

*Капля Е.В.*

Издается по решению редакционно-издательского совета  
Волгоградского государственного технического университета

Савчиц, А. В.

Технические измерения и приборы [Электронный ресурс] : учебное пособие / А. В. Савчиц ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, ВПИ (филиал) ФГБОУ ВО ВолгГТУ. – Электрон. текстовые дан. (1 файл: 3,72 МБ). – Волжский, 2024. – Режим доступа: <http://lib.volpi.ru>. – Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-5-9948-4848-7

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

Пособие рассчитано на студентов бакалавров очной и заочной формы обучения направления 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производство».

Илл. 29, табл. 9, библиограф.: 11 назв.

ISBN 978-5-9948-4848-7

© Волгоградский государственный  
технический университет, 2024

© Волжский политехнический  
институт, 2024

## Содержание

Введение.....	5
1 Общие сведения об измерениях .....	6
1.1 Устройства получения измерительной информации .....	6
1.2 Метод измерений. Классификация методов измерения .....	6
1.3 Средства измерений .....	8
1.3.1 Меры.....	8
1.3.2 Измерительный преобразователь .....	9
1.4 Промежуточный измерительный преобразователь.....	13
1.4.1 Нормирующий преобразователь.....	13
1.4.2 Преобразователи из одного носителя информации в другой .....	14
1.5 Формы выходного сигнала у датчиков.....	15
1.5.1 Аналоговый сигнал .....	15
1.5.2 Дискретный сигнал .....	16
1.5.3 Цифровой сигнал.....	17
1.6 Измерительный прибор (Вторичный прибор) .....	18
1.6.1 Классификация измерительных приборов.....	18
1.6.2 Шкалы вторичных приборов.....	19
1.6.3 Измерительная система .....	21
1.6.4 Измерительная установка.....	22
1.7 Совместимость измерительных средств .....	22
1.7.1 Информационная совместимость .....	23
1.7.2 Энергетическая совместимость .....	24
1.7.3 Конструктивная совместимость.....	24
1.7.4 Эксплуатационная совместимость .....	25
1.7.5 Метрологическая совместимость .....	25
1.8 Классификация средств измерения по метрологическому назначению .....	27
1.9 Характеристики средства измерений .....	27
1.10 Метрологические операции со средствами измерений .....	29
2 Виды исполнений и защит измерительных устройств.....	31
2.1 Степень защиты от проникновения .....	31
2.2 Климатическое исполнение.....	34
2.3 Взрывозащита .....	35

3	Измерительные преобразователи технологических параметров .....	41
3.1	Датчики температуры.....	41
3.1.1	Термоэлектрические преобразователи.....	41
3.1.2	Термопреобразователи сопротивления.....	42
3.1.3	Измерение температуры бесконтактным методом .....	45
3.2	Датчики расхода .....	49
3.2.1	Скоростные счетчики расхода .....	49
3.2.2	Объемные расходомеры .....	53
3.2.3	Шестеренчатые расходомеры .....	54
3.2.4	Расходомеры переменного перепада давления .....	55
3.2.5	Ультразвуковые расходомеры .....	58
3.2.6	Электромагнитные расходомеры.....	61
3.2.7	Вихревые расходомеры .....	65
3.2.8	Кориолисовые расходомеры .....	69
3.2.9	Тепловые расходомеры.....	71
3.3	Приборы для измерения массы и усилий.....	75
3.3.1	Виды сенсоров .....	76
3.3.2	Виды исполнений тензодатчиков .....	78
3.3.3	Назначение .....	79
3.3.4	Преимущества и недостатки тензодатчиков .....	79
	Библиографический список.....	81

## Введение

Основой любой современной АСУ ТП является измерительная система, предоставляющая измерительную информацию о технологических параметрах процессов, а также о параметрах качества сырья, промежуточных и конечных продуктов.

Качество работы измерительной системы во многом определяется эффективностью работы всей АСУ ТП. Так, оптимальная измерительная система позволяет: осуществить управление по качественным показателям сырья и продуктов, упростить алгоритмы и структуру АСУ ТП, уменьшить ее стоимость, повысить надежность и улучшить качество продукции.

Исходя из этого, основными функциями измерительной системы являются получение измерительной информации от технологического объекта, ее обработка, передача, представление информации оператору или/и ЭВМ, запоминание ее, отображение и формирование управляющих воздействий.

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.

Данное учебное пособие поможет разобраться во всем многообразии измерительной техники, предназначенной для контроля за основными технологическими параметрами различных производственных процессов, а также научиться осуществлять оптимальный выбор необходимых технических средств измерения.

Пособие составлено в соответствии с рабочей программой дисциплины и содержит двенадцать тем. Следует обратить внимание, что предлагаемое издание является лишь кратким конспектом лекций и не может содержать всех необходимых сведений.

## **1 Общие сведения об измерениях**

### **1.1 Устройства получения измерительной информации**

Измерение – нахождение истинного значения физической величины опытным путём с использованием специальных технологических устройств, имеющих нормированные характеристики.

**Существует 4 основных вида измерений.**

Прямое измерение – измерение, при котором искомое значение физической величины находят непосредственно из опытных данных или с помощью технического средства измерения, непосредственно отсчитывающего значение измеряемой величины по шкале.

Косвенное измерение – измерение, при котором значение физической величины находят на основании известной функциональной зависимости между этой величиной и величинами, подлежащими прямым измерениям.

Совокупные измерения – производятся одновременно измерение нескольких одноименных величин, при котором искомое значение находят путём решения системы уравнений, полученных при прямых измерениях различных сочетаний этих величин.

Совместные измерения – производимые одновременно двух или нескольких не одноимённых физических величин для нахождения функциональной зависимости между ними.

### **1.2 Метод измерений. Классификация методов измерения**

Метод измерений – совокупность приёмов использования принципов и средств измерения.

Все существующие методы измерений условно делятся на 2 основных вида:

Метод непосредственной оценки (прямой) – значения искомой величины определяется непосредственно по отчетному устройству прибора или измерительного устройства прямого действия.

Метод сравнения с мерой – измеряется величина, сравниваемая с величиной заданной мерой. При этом сравнение может быть переходное, равноновременное, разновременное и другие.

Метод сравнения с мерой делится на следующие **два метода**.

Нулевой метод – предусматривает одновременное сравнение измеряемой величины и меры, а результирующий эффект воздействия доводится с помощью прибора сравнения до нуля.

Дифференциальный – на измерительный прибор воздействует разность измеряемой величины и известной величины, воспроизводимой мерой, пример – схема неуравновешенного моста.

**Оба эти метода делятся на следующие.**

Метод противопоставления – измеряемая величина и величина, воспроизводимая мерой, одновременно воздействуют на прибор сравнения, с помощью которого устанавливаются соотношения между этими величинами.

Метод замещения – измеряемую величину замещают известной величиной, воспроизводимой мерой. Широко применяется при измерении неэлектрических величин, при этом методе одновременно или периодически сравнивается измеряемая величина с мерной величиной, а далее измеряют разницу между ними, используя совпадение отметок шкалы или совпадение периодических сигналов по времени.

Метод совпадений – разность между измеряемой величиной и величиной, воспроизводимой мерой, измеряют, используя совпадения отметок шкал или периодических сигналов.

Из всех методов измерения **метод сравнения с мерой** является более точным по сравнению с **методом непосредственной оценки**, причём



**дифференциальный метод измерения** является более точным, чем **нулевой метод измерения**.

**Недостатком нулевого метода измерения является необходимость иметь больше число мер, различных сочетаний для воспроизведения мерных величин кратных измеряемым.** Разновидностью нулевого метода является **компенсационный метод измерения**, при котором происходит измерения физической величины без нарушения процесса, в котором она участвует.

### **1.3 Средства измерений**

Средства измерений представляют собой совокупность технических средств, используемых при различных измерениях и имеющих нормированные метрологические свойства, т.е. отвечающих требованиям метрологии в части единиц и точности измерений, надежности и воспроизводимости получаемых результатов, а также требованиям к их размерам и конструкции.

Основными видами средств измерений являются **меры, измерительные приборы, измерительные и промежуточные измерительные преобразователи, измерительные установки и системы.**

#### **1.3.1 Меры**

Мерой называется средство измерений, предназначенное для воспроизведения физической величины заданного размера (например, гиря – мера массы, температурная лампа – мера яркостной Т. П.).

Однозначная мера – мера, воспроизводящая физическую величину одного размера.

Многозначная мера – мера, воспроизводящая физическую величину разных размеров (например, штриховая мера длины).

Набор мер – комплект мер разного размера одной и той же физической величины (например, набор концевых мер длины).

Магазин мер – набор мер, конструктивно объединенных в единое устройство (например, магазин электрических сопротивлений).

### **1.3.2 Измерительный преобразователь**

Первичный измерительный преобразователь (Сенсор) – измерительный преобразователь, на который непосредственно воздействует явление, физический объект или вещество, являющееся носителем величины, подлежащей измерению. Различают **активный** и **пассивный** первичный измерительный преобразователь.

Активный первичный измерительный преобразователь (генераторный преобразователь) непосредственно преобразует одну форму энергии в другую, не нуждаясь во внешнем источнике энергии.

Пассивный первичный измерительный преобразователь (параметрический преобразователь) не может непосредственно преобразовывать энергию, но он управляет энергией, поступающей от внешнего источника.

Измерительный преобразователь – техническое средство с нормативными метрологическими характеристиками, служащее для преобразования измеряемой величины в другую величину или измерительный сигнал, удобный для обработки, хранения, дальнейших преобразований, индикации или передачи.

К первичному преобразователю (датчику) подведена измеряемая величина, т.е. он – первый в измерительной цепи!

Датчики – конструктивно обособленное устройство, содержащее один или несколько первичных измерительных преобразователей и предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для передачи, дальнейшего преобразования, обработки и (или) хранения, но не поддающейся непосредственному восприятию наблюдателем.

## Особенности датчиков

- Датчик может дополнительно содержать промежуточные измерительные преобразователи, а также меру.
- Датчик может быть вынесен на значительное расстояние от устройства, принимающего его сигналы.
- При нормированном соотношении значения величины на выходе датчика с соответствующим значением входной величины датчик является средством измерений.

Назначение датчиков – реакция на внешнее воздействие и преобразование его в электрический сигнал, совместимый с измерительными схемами. Другими словами, можно сказать, что датчик – это преобразователь физической величины в электрический сигнал. Под термином «электрический сигнал» понимается сигнал, который может быть преобразован при помощи электронных устройств, например, усилен или передан по линии передачи.

Интеллектуальные датчики выполняют кроме процесса измерения, преобразования измеряемых сигналов в типовые аналоговые и цифровые значения, самодиагностику своей работы, дистанционную настройку диапазона измерения, первичную обработку измерительной информации, иногда еще ряд достаточно простых, типовых алгоритмов контроля и управления. Они имеют интерфейсы к стандартным/типовым полевым цифровым сетям, что делает их совместимыми с практически любыми современными средствами автоматизации и позволяет информационно общаться с этими средствами и получать питание от блоков питания этих средств. По сути, указанный здесь класс измерительных средств, именуемый «современные интеллектуальные датчики», объединяет в себе функции датчика и ряд функций контроллера и изменяет всю структуру нижнего уровня систем автоматизации производства.

В англоязычной литературе датчики данного типа именуются «smartsensor». Термин закрепился еще в середине 80-х.

Сегодня под интеллектуальным датчиком понимают датчик со встроенной электроникой, включающей в себя: АЦП, микропроцессор, цифровой сигнальный процессор, систему на кристалле и т.д., и цифровой интерфейс с поддержкой сетевых протоколов для коммуникации. Так, интеллектуальный датчик может быть включен в беспроводную или проводную сеть датчиков, благодаря функции самоидентификации в сети наряду с другими устройствами.

Сетевой интерфейс интеллектуального датчика позволяет не только включить его в сеть, но и произвести его настройку, конфигурирование, выбрать режим работы, диагностировать датчик. Возможность удаленного проведения данных операций является преимуществом интеллектуальных датчиков, они оказываются проще как в эксплуатации, так и в обслуживании.

#### **Технические особенности использования современных интеллектуальных датчиков**

1. Резкое уменьшение искажений измерительной информации на пути от датчика к контроллеру, т.к. вместо низковольтного аналогового сигнала по кабелю, соединяющему датчики с контроллером, идут цифровые сигналы, на которые электрические и магнитные промышленные помехи оказывают несравнимо меньшее влияние.
2. Увеличение надежности измерения за счет самодиагностики датчиков, т.к. каждый датчик сам оперативно сообщает оператору факт и тип возникающего нарушения, тем самым исключая использование для управления некачественных и/или недостоверных измерений.

3. Возможность использования принципов измерения, требующих достаточно сложной вычислительной обработки выходных сигналов сенсора, но имеющих ряд преимуществ перед традиционно используемыми принципами измерения по точности, стабильности показаний, простоте установки и обслуживания датчика в процессе его эксплуатации.
4. Возможность построения мультисенсорных датчиков, в которых преобразователь получает и перерабатывает сигналы ряда однотипных или разнотипных чувствительных элементов.
5. Возможность проведения всей необходимой первичной переработки измерительной информации в датчике и выдачи им искомого текущего значения измеряемой величины в заданных единицах измерения.
6. Возможность передачи в систему автоматизации не только текущего значения измеряемой величины, но и добавочных сигналов о выходе его за пределы заданных норм, а также возможность передачи по сети не каждого текущего измеряемого значения, а только изменившегося по сравнению с предыдущим значения, или вышедшего за пределы заданных норм значения, или значения, требующего управляющего воздействия.
7. Наличие в датчике базы данных для хранения значений измеряемой величины за заданный длительный интервал времени.
8. Возможность дистанционно с пульта оператора в оперативном режиме выбирать диапазон измерения датчика.
9. Возможность путем программирования работы датчика на достаточно простом технологическом языке, реализовывать в нем простые алгоритмы регулирования, программного управления, блокировок механизмов.

Возможность строить достаточно простые цепи регулирования, программного управления, блокировок на самом нижнем уровне управления из трех компонентов: интеллектуальных датчиков, полевой сети и интеллектуальных исполнительных механизмов, не загружая этими вычислительными операциями контроллеры, что позволяет использовать мощность контроллеров для реализации в них достаточно сложных и совершенных алгоритмов управления.

#### **1.4 Промежуточный измерительный преобразователь**

Промежуточным измерительным преобразователем (или сокращенно промежуточным преобразователем) называют элемент, занимающий в измерительной цепи место после первичного измерительного преобразователя. Основное назначение промежуточного преобразователя – преобразование выходного сигнала первичного измерительного преобразователя в форму, удобную для последующего преобразования в сигнал измерительной информации для дистанционной передачи. Наряду с преобразованием измерительной информации часто возникает необходимость усиления сигнала, например, его мощности, преобразования выходного сопротивления и др.

##### **1.4.1 Нормирующий преобразователь**

Нормирующие измерительные преобразователи преобразуют сигналы или параметры сигналов в аналоговые унифицированные сигналы тока и напряжения с нормированными метрологическими характеристиками. Основные виды представлены на рисунке 1.

Нормирующие преобразователи работают как с сигналами, так и с параметрами сигналов. **Примерами сигналов** могут служить сигналы термомпар, сигналы термосопротивления, унифицированные сигналы. Форма сигнала на выходе воспроизводит форму сигнала на входе. Иная ситуация

с параметрами сигналов. Это некоторые обобщенные характеристики сигналов. Например, напряжение в сети имеет форму синусоиды, а такой параметр как среднеквадратичное значение (или действующее значение), характеризующий усредненные энергетические свойства сигнала, меняется совсем по-другому.

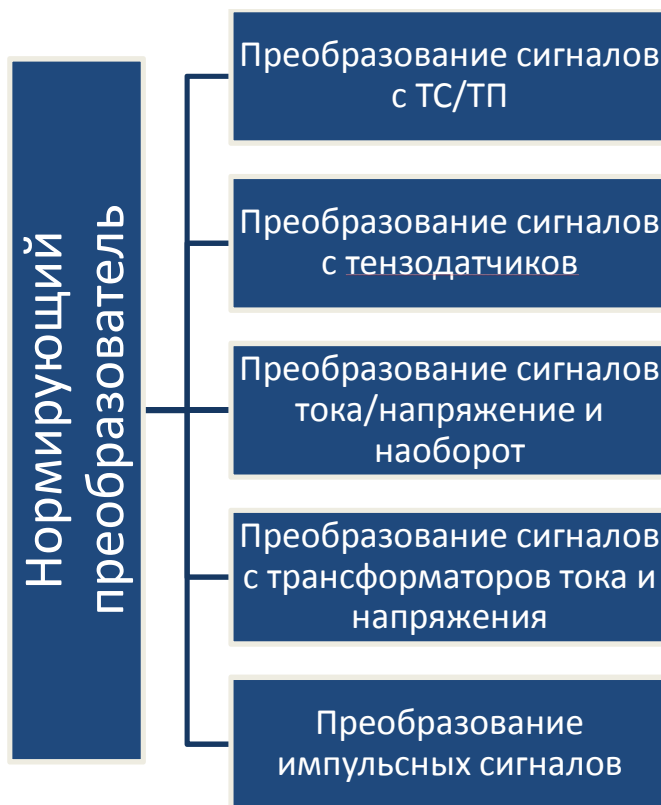


Рисунок 1 – Виды нормирующих преобразователей

Термин «нормирующий» делает акцент на то, что на выходе преобразователя формируется унифицированные сигналы тока или напряжения. Только в этом случае мы называем преобразователь нормирующим.

#### 1.4.2 Преобразователи из одного носителя информации в другой

В настоящее время различают два таких преобразователя: электропневматический и пневмоэлектрический.

Электропневматический преобразователь – прибор, предназначенный для преобразования унифицированного непрерывного сигнала постоянно-

го тока (0-5/0-20/4-20мА) в унифицированный пропорциональный пневматический непрерывный сигнал (20-100кПа).

Пневмоэлектрические преобразователи – предназначены для преобразования унифицированного пневматического сигнала в унифицированный сигнал постоянного тока.

Преобразователи являются измерительными, то есть являются средством измерения. Это означает, что метрологические характеристики преобразователей нормированы. Приборы должны быть сертифицированы и зарегистрированы в Госреестре средств измерений.

## **1.5 Формы выходного сигнала у датчиков**

В зависимости от области применения и назначения датчика датчики могут иметь следующие выходные сигналы: аналоговый, дискретный, цифровой.

### **1.5.1 Аналоговый сигнал**

Аналоговым (т.е. непрерывно меняющимся во времени) называется такой сигнал, который может быть представлен непрерывной линией из множества значений, определенных в каждый момент времени относительно временной оси.

Обычно это перемещение указателя по шкале прибора или пера по диаграммной бумаге регистрирующего устройства. Аналоговая выходная величина удобна при визуальном отсчете и регистрации, однако ее передача, преобразование и документирование связаны с дополнительными погрешностями.

Значения аналогового сигнала произвольны в каждый момент времени, поэтому он может быть в принципе представлен как некая непрерывная функция (зависящая от времени как от переменной) либо как кусочно-непрерывная функция времени.



Любой аналоговый сигнал может быть представлен в виде соответствующего ему цифрового эквивалента, при этом точность представления зависит от количества разрядов эквивалентного числа.

Для взаимодействия электронных устройств, обрабатывающих аналоговые сигналы с устройствами, оперирующими двоичными (цифровыми) сигналами, применяют цифро-аналоговые (ЦАП) и аналого-цифровые (АЦП) преобразователи.

### **1.5.2 Дискретный сигнал**

Если некий сигнал принимает произвольные значения лишь в отдельные моменты времени, то такой сигнал называют дискретным.

Дискретные сигналы имеют два и более фиксированных значений (количество их значений всегда выражается целыми числами).

Пример простого дискретного сигнала на два значения: срабатывание путевого выключателя (переключение контактов выключателя в определенном положении механизма). Сигнал с путевого выключателя может быть получен только в двух вариантах – контакт разомкнут (нет действия, нет напряжения) и контакт замкнут (есть действие, есть напряжение).

В отечественной литературе переключательные устройства называются также «дискретными», «логическими», «устройствами релейного действия» или «релейными устройствами».

Преимущества дискретных устройств обусловлены во многом тем, что их элементы достаточно просты и надежны. В большинстве случаев они имеют всего два различных состояния: включено – выключено (реле), открыт – заперт (транзистор) и т.д.

Такие элементы могут формировать или перерабатывать сигналы, обладающие только двумя значениями: одно значение сигнала связано с одним состоянием элемента, второе – со вторым. Поэтому часто под названием «дискретный сигнал» подразумевают сигнал с двумя значениями.

Физически это означает, что сигнал имеет импульсный характер: высший уровень – одно значение, низший – другое. Обычно эти уровни обозначаются 1 и 0.

Частный случай дискретного сигнала импульсный/частотный сигнал – электрический сигнал, который используется в основном на расходомерах и электронных счетчиках(например, электроэнергии). То есть на каждое изменение показания счетчика происходит колебание тока или напряжения в цепи (**импульс, обладаемый определенным весом**). Этот импульс передается на преобразователь, после чего мы получаем числовое значение показания.

### 1.5.3 Цифровой сигнал

**Цифровой сигнал** – это сигнал передачи данных цифровым кодом как по проводам, так и по радиоканалу с использованием промышленных сетей.

**Промышленная сеть** – сеть передачи данных, связывающая различные датчики, исполнительные механизмы, промышленные контроллеры и используемая в промышленной автоматизации.

В России промышленные сети появились, следуя тенденциям Запада, где, в соответствии со спецификацией IEC 61158, употребляется термин «Fieldbus», что дословно переводится как «полевая шина». Однако на русском языке в настоящее время принято использовать термин «промышленная сеть», что более точно отражает суть организации процесса передачи данных и не вводит никого в заблуждение, так как полевая шина фактически является частным случаем построения промышленной сети с использованием соответствующей топологии ее построения.

**Полевая шина (Fieldbus)** – это локальная сеть с линейной топологией, предназначенная для информационного обмена между территориально рассредоточенными промышленными инструментальными устройствами:

датчиками, преобразователями, средствами ручного ввода, исполнительными механизмами, средствами отображения информации и т.д.

## **1.6 Измерительный прибор (Вторичный прибор)**

*Измерительный прибор* – средство измерений, предназначенное для получения значений измеряемой физической величины в установленном диапазоне. Предназначено для работы в комплекте с измерительными приборами (шкальными и бесшкальными), а также с некоторыми видами первичных и промежуточных преобразователей. Один и тот же вторичный прибор можно использовать для измерения различных параметров.

### **1.6.1 Классификация измерительных приборов**

#### **По способу представления информации**

- *Показывающий измерительный прибор* – измерительный прибор, допускающий только отсчитывание показаний значений измеряемой величины.
- *Регистрирующий измерительный прибор* – измерительный прибор, в котором предусмотрена регистрация показаний. Регистрация значений может осуществляться в аналоговой или цифровой формах. Различают самопишущие и печатающие регистрирующие приборы.

#### **По методу измерений**

- *Измерительный прибор прямого действия* – измерительный прибор, например, манометр, амперметр, в котором осуществляется одно или несколько преобразований измеряемой величины и значение её находится без сравнения с известной одноимённой величиной.

- *Измерительный прибор сравнения* – измерительный прибор, предназначенный для непосредственного сравнения измеряемой величины с величиной, значение которой известно.

#### **По форме представления показаний**

- *Аналоговый измерительный прибор* – измерительный прибор, в котором выходной сигнал или показания являются непрерывной функцией изменений измеряемой величины.
- *Цифровой измерительный прибор* – измерительный прибор, показания которого представлены в цифровой форме.

#### **По другим признакам**

*Суммирующий измерительный прибор* – измерительный прибор, показания которого функционально связаны с суммой двух или нескольких величин, подводимых к нему по различным каналам.

*Интегрирующий измерительный прибор* – измерительный прибор, в котором значение измеряемой величины определяются путём её интегрирования по другой величине.

Измерительные приборы можно снабжать также дополнительными устройствами для сигнализации (сигнализирующие приборы), регулирования измеряемой величины (регулирующие приборы) и других целей.

### **1.6.2 Шкалы вторичных приборов**

Шкалы выполняют как неподвижными, так и подвижными (шкала перемещается относительно неподвижного указателя). Отметки на шкалах располагают вдоль прямой линии или по дуге окружности, на плоской или цилиндрической поверхности циферблата. На рисунке 2 показаны наиболее типичные шкалы измерительных приборов.

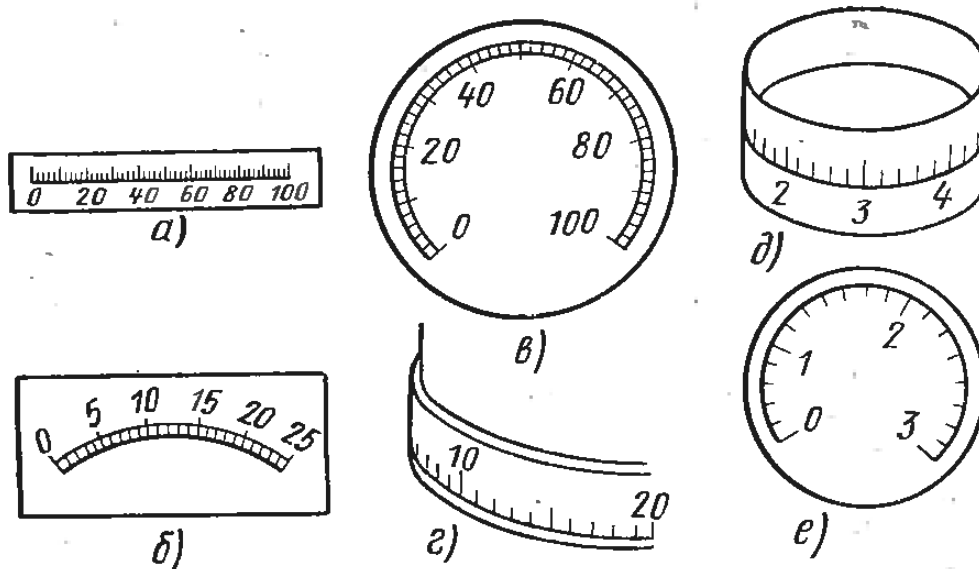


Рисунок 2 – Основные виды шкал (а – прямолинейная; б – дуговая; в – круговая равномерная; г – профильная; д – барабанная; е – круговая неравномерная)

Табло цифрового измерительного прибора – показывающее устройство цифрового измерительного прибора, выполненное на основе семисегментных и шкальных индикаторов, ЖК и LCD-дисплеев.

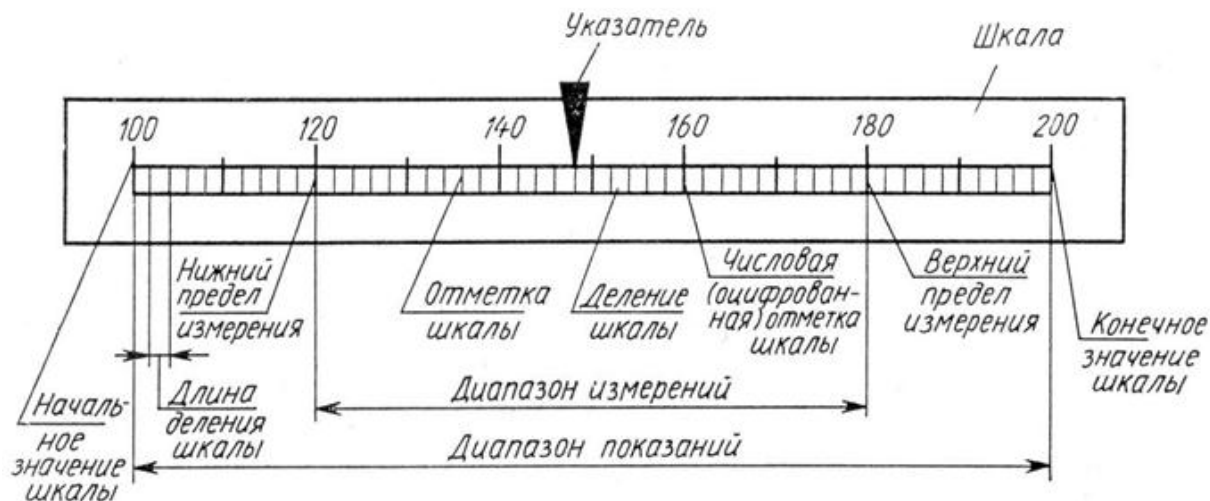


Рисунок 3 – Внешний вид шкалы

*Начало шкалы* – отметка, соответствующая наименьшему значению величины, определяемой по данной шкале (нижний предел показаний прибора). *Конец шкалы* – отметка, соответствующая наибольшему значению из-

меряемой величины (верхний предел показаний прибора). *Нуль шкалы* – отметка, соответствующая нулевому значению измеряемой величины. Шкалы, нулевая отметка которых совпадает с началом или концом шкалы, называются *односторонними*. Шкала называется *двусторонней*, если нулевая отметка не совпадает с началом или концом шкалы (например, манометрический термометр с пределом показаний от  $-50$  до  $+50$  °С). Шкала называется *безнулевой*, если она не имеет нулевой отметки (например, шкала термометра с пределами показаний от  $+50$  до  $+200$  °С).

Положение указателя определяется *угловым* или *линейным* его перемещением от нуля или начала шкалы. Зависимость между положением указателя и отсчетом называется характеристикой шкалы.

*Делением шкалы* называется промежуток между осями или центрами двух смежных отметок. Равномерные шкалы имеют одинаковые длины делений. Длины делений неравномерной шкалы неодинаковые.

### **1.6.3 Измерительная система**

*Измерительная система (ИС)* – совокупность функционально объединенных мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей, ЭВМ и других технических средств, размещенных в разных точках контролируемого объекта с целью измерений одной или нескольких физических величин, свойственных этому объекту, и выработки измерительных сигналов. В зависимости от назначения измерительные системы разделяют на *измерительные информационные (ИИС)*, *измерительные контролируемые*, *измерительные управляющие системы* и др.

*Измерительный канал измерительной системы* – конструктивно или функционально выделяемая часть ИС, выполняющая законченную функцию от восприятия измеряемой величины до получения результата ее измерения, выражаемого числом или соответствующим ему кодом, или до

получения аналогового сигнала, один из параметров которого – функция измеряемой величины.

Типовой измерительный канал (ИК) включает в себя первичный измерительный преобразователь, линии связи, промежуточный измерительный преобразователь (нормирующий, либо выполняющий иные функции), аналого-цифровой преобразователь (АЦП), процессор, цифроаналоговый преобразователь (ЦАП).

#### **1.6.4 Измерительная установка**

*Измерительная установка* – это совокупность функционально объединенных средств измерений (мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей) и вспомогательных устройств, предназначенных для выработки сигналов измерительной информации в форме, удобной для непосредственного восприятия наблюдателя и расположенных в одном месте. В качестве примера можно привести измерительные установки для измерений удельного сопротивления электротехнических материалов, для поверки счетчиков электрической энергии и др.

Измерительные установки в большинстве случаев обладают большей или меньшей универсальностью как в отношении номенклатуры измеряемых величин, так и в отношении диапазонов измерения. Иногда установки более узкого назначения называют измерительными машинами. К измерительным машинам относятся силоизмерительные машины и машины для измерения больших длин.

#### **1.7 Совместимость измерительных средств**

Для обеспечения взаимодействия и возможности беспрепятственной замены измерительных средств существует ряд стандартных требований по их совместимости (и не только средств измерений).

### 1.7.1 Информационная совместимость

Информационная совместимость – обеспечивается согласованностью входных и выходных сигналов по виду, диапазону изменения и порядку обмена. Информационная совместимость определяется унификацией сигналов, их кодирования и применением единых интерфейсов для взаимодействия устройств в системе.

Унифицированный сигнал – сигнал, у которого вид носителя информации, диапазон его изменения не зависят от вида измеряемой величины, метода измерения и диапазона изменения измеряемых величин.

Таблица 1 – Стандартные унифицированные сигналы

Способ представления информации	Характер сигнала	Параметр сигнала	Установленные значения параметра стандартных сигналов
Аналоговый	Непрерывно меняющийся	Постоянное напряжение	0... 10 мВ; -10...0... 10 мВ; 0...20 мВ; -20...0...20 мВ; 0...50 мВ; -50...0...50 мВ; 0... 100 мВ; -100...0... 100 мВ; 0...1 В; -1...0... 1 В; 0...5 В; -5...0...5 В; 0...10 В; -10...0... 10 В
		Постоянный ток	0...5 мА; -5...0...5 мА; 0(4)...20 мА; -20...0...20 мА; 0...100 мА; -100...0...100 мА (применять только по согласованию с заказчиком)
		Переменное напряжение	-0,25...0...0,25 В; -0.5...0...0,5 В; -1...0...1 В; 0...2 В
Дискретный	Дискретно меняющийся	Частота	Диапазоны: 0...50 Гц; 50...500 Гц; 0,5...5,0 кГц; 5...50 кГц; 50...500 кГц. Частота входных и выходных импульсов (тактовые частоты): 10,5; 2,5 МГц; 500, 250, 100 кГц; 500, 400, 250, 100, 50, 25 Гц
		Амплитуда	Номинальные значения амплитуды импульсов: 0,6; 1,2; 3,6; 12, 14, 48, 60, 110, 220 В; 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500 мА



Интерфейс – система унифицированных связей, сигналов, программных и аппаратных средств, с помощью которых устройство информационно управляемой техники обменивается друг с другом.

### **1.7.2 Энергетическая совместимость**

Энергетическая совместимость – использование одного вида энергии носителя сигналов в измерительных устройствах. Различают следующие виды носители сигналов: электрические, пневматические, гидравлические.

*Электрическая ветвь* имеет преимущества по чувствительности, точности, быстродействию, дальности связей. Применение микросхем способствует уменьшению габаритов и массы изделия, сокращению количества потребляемой энергии, увеличению надежности, обеспечивает возможность непосредственной их связи с системами верхнего уровня. Электрическая ветвь состоит из аналоговых, частотных и дискретных приборов.

*Пневматическая ветвь* характеризуется безопасностью применения в легковоспламеняемых и взрывоопасных средах, высокой надежностью в тяжелых условиях работы, особенно при использовании в агрессивной атмосфере. У них сравнительно малая точность и расстояния. Требуется наличие пневмомагистралей.

*Гидравлическая ветвь* используется для получения точных перемещений исполнительных механизмов при больших усилиях. Эти приборы – медленные.

### **1.7.3 Конструктивная совместимость**

Конструктивная совместимость обеспечивается согласованностью конструктивных параметров, механическим сопряжением средств, согласованностью эстетических требований. Подразумевается возможность объединения элементов системы в единой общей конструкции на основе определения вида конструкции и размера конструктивных элементов.

#### **1.7.4 Эксплуатационная совместимость**

Эксплуатационная совместимость достигается согласованностью характеристик, определяющих действие внешних влияющих величин на агрегатные средства в рабочих условиях, а также характеристик надежности и стабильности функционирования. С этой целью все средства делятся на группы по использованию в зависимости от климатических условий и механических воздействий (работа в одинаковых промышленных условиях, удобство обслуживания, настройки, ремонта).

#### **1.7.5 Метрологическая совместимость**

Метрологическая совместимость обеспечивается сопоставимостью метрологических характеристик агрегатных средств, их сохранностью во времени и под действием влияющих величин, возможностью расчетного определения метрологических характеристик всего измерительного тракта по метрологическим характеристикам отдельных функциональных узлов.

Погрешность измерения – это отклонение измеренного значения величины от ее «истинного» значения.

Класс точности – обобщенная характеристика средств измерений, определяемая пределами допускаемых основных и дополнительных погрешностей, а также рядом других свойств, влияющих на точность осуществляемых с их помощью измерений.

Неопределенность измерения – это «сомнения в истинности полученного результата». Т.е. параметр, связанный с результатом измерения, характеризующий разброс значений, которые могли бы быть обоснованно приписаны к измеряемой величине.

Оба термина – «погрешность» и «неопределенность» – это выражение в разных терминах, одного и того же понятия – «точность измерений». В России исторически сложилось так, что при оценке достоверности произведенного измерения использовали погрешность. За рубежом исходно

существовало понятие «errorofmeasurement» – «ошибка измерения». Одной из целей при разработке стандарта качества ISO 9000 было обеспечение безошибочного выполнения всех производственных функций. В рамках ISO 9000 было разработано «Руководство по вычислению неопределенности в измерении» – «Guidetotheexpressionofuncertaintyinmeasurement», в котором описано понятие неопределенности измерений и способы ее вычисления.

Сейчас все чаще требуется оценивать точность проведения измерений (например, такое требование предъявляется при аккредитации лабораторий) в терминах «неопределенности». В связи с вступлением России в ВТО, принято решение перевести правила проведения и оценки качества работ (в том числе и метрологических) в соответствие с международными стандартами ИСО. Все измерительные лаборатории стран-членов ВТО должны оценивать точность результатов измерений в терминах неопределенности. В России о необходимости расчета неопределенности измерений в соответствии с ГОСТ Р ИСО 10576-1-2006 говорится в письме Роспотребнадзора 01/6620-12-32 от 13.06.2012.

#### **Отличие понятия «погрешности» от «неопределенности»:**

- «погрешность» привязана к некоторому «истинному» значению, которое точно неизвестно;
- «неопределенность» привязана к измеренному значению;
- «погрешность» относится к конкретному измерению, сделанному конкретным средством измерения;
- «неопределенность» – это степень сомнения в истинности полученного результата измерения;
- «погрешностью» характеризуются параметры точности средств измерений.

## **1.8 Классификация средств измерения по метрологическому назначению**

По метрологическому назначению различные средства измерений (меры, измерительные приборы и преобразователи) делятся на **рабочие, образцовые и эталонные**.

Эталоны служат для воспроизведения и хранения единиц измерения с наивысшей (метрологической) точностью, достижимой при данном уровне науки и техники, а также для поверки мер, приборов и преобразователей высшего разряда.

Образцовые меры, измерительные приборы и преобразователи (например, термоэлектрические преобразователи) предназначаются для поверки и градуировки по ним рабочих мер, измерительных приборов и преобразователей.

Рабочими средствами измерения называются все меры, приборы и преобразователи, предназначенные для практических измерений. Они подразделяются на средства измерений **повышенной точности** (лабораторные) и **технические**. Определенную точность рабочих средств измерений гарантирует завод-изготовитель. Какие-либо поправки в их показания обычно не вносят (за исключением некоторых специальных случаев). Для повышения точности лабораторных средств измерений в их показания вносят поправки, учитывающие состояние средств измерений и влияние условий измерения.

## **1.9 Характеристики средства измерений**

Метрологическая характеристика средства измерений – одно из свойств средства измерений, влияющих на результат измерений и на его погрешность. Метрологические характеристики, устанавливаемые нормативно-техническими документами, называют нормируемыми метрологиче-

скими характеристиками, а определяемые экспериментально – действительными метрологическими характеристиками.

Статическая характеристика преобразования средства измерений (функция преобразования) – зависимость информативного параметра выходного сигнала средства измерений от информативного параметра входного сигнала в статическом режиме.

Номинальная статическая характеристика (НСХ) преобразования – номинально приписываемая данному средству измерения статическая характеристика при номинальных значениях неинформативных параметров входного сигнала, которая может быть задана в форме уравнения, графика или таблицы.

Для средств измерений с линейной статической характеристикой, используемых для измерения не изменяющихся во времени величин, передаточная функция является величиной постоянной. В средствах измерений с нелинейной статической характеристикой зависимость между выходной и входной величинами описывается алгебраическим или трансцендентным уравнением.

Для средств измерений в большинстве случаев предпочтительна линейная статическая характеристика или близкая к линейной на заданном интервале изменения входной величины  $x$ , что обеспечивает постоянство чувствительности средства измерений. При нелинейной зависимости  $y$  от  $x$  чувствительность зависит от значения входного сигнала. Если нелинейность статической характеристики невелика или диапазон изменения  $x$  ограничен, то можно нелинейную статическую характеристику линеаризовать.

Градуировочная характеристика средства измерений – зависимость между значениями величин на входе и выходе средства измерений, полученная экспериментально.

Чувствительность средства измерений – отношение изменения сигнала на выходе средства измерений к вызвавшему его изменению измеряемой величины.

Порог чувствительности средства измерений – наименьшее значение изменения физической величины, начиная с которой может осуществляться ее измерение данным средством.

Разрешающая способность средства измерений – характеристика средства измерений, выражаемая или наименьшим интервалом времени между событиями, или наименьшим расстоянием между объектами, которые фиксируются прибором отдельно.

Дрейф показаний средства измерений – изменение показаний средства измерений во времени, обусловленное изменением влияющих величин или других факторов.

Зона нечувствительности средства измерений – диапазон значений измеряемой величины, в пределах которого ее изменения не вызывают выходного сигнала средства измерений.

Инерционностью прибора называется отставание во времени его показаний от изменения измеряемой величины. **Инерционность приборов особенно важно учитывать при контроле быстропротекающих процессов**, где запаздывание показаний может привести к значительным погрешностям.

## **1.10 Метрологические операции со средствами измерений**

Проверкой называется операция сравнения показаний средств измерений с образцовыми для определения их погрешностей или поправок к их показаниям.

Градуировкой называется операция, при помощи которой делениям шкалы придают значения, выраженные в установленных единицах измерения.

Калибровка измерительных приборов – установление зависимости между показаниями средства измерительной техники (прибора) и размером измеряемой (входной) величины. Под калибровкой часто понимают процесс подстройки показаний выходной величины или индикации измерительного инструмента до достижения согласования между эталонной величиной на входе и результатом на выходе (с учётом оговоренной точности).

## 2 Виды исполнений и защит измерительных устройств

### 2.1 Степень защиты от проникновения

Значительная часть средств автоматизации имеют корпус, который защищает от проникновения твердых предметов/пыли и воды/влаги. Степень этой защиты проверяется во время испытаний, результаты отображаются в виде двух цифр, которые следуют за латинскими буквами **IP** – International Protection Marking (в переводе с англ. – «международные коды защиты»). Иногда интерпретируется как Ingress Protection Rating – степень защиты от проникновения (частей тела, таких как руки и пальцы), пыли, случайного контакта, воды и т.д.

Следующие за буквами IP цифры отображают степень защищенности. Первая цифра показывает, насколько корпус предохраняет «внутренности» от попадания пыли или других крупных предметов. Вторая – степень защищенности от попадания влаги (струй воды, брызг и капель).



Рисунок 4 – Общая форма записи класса защиты оборудования

В некоторых случаях данная формула дополняется двумя латинскими буквами, которые описывают вспомогательные характеристики. Эта часть не является обязательной и появляется только в определенных ситуациях.



Степень защиты IP важна при выборе датчиков и других средств автоматизации, которые будут эксплуатироваться в условиях повышенной влажности и/или в местах с большим количеством пыли.

Первая цифра в коде, описывающем класс защищенности, обозначает степень защиты от воздействия твердых предметов разного размера, а также степень защищенности от проникновения внутрь корпуса.

Таблица 2 – Описание первого кода

Номер	Описание защиты
0	отсутствие какой-либо защиты;
1	предохраняет от проникновения предметов диаметром более 50 мм (просто прикрывает от контакта с электропроводящей частью);
2	предохранение от предметов диаметром 12 мм и более (от пальцев, веток и т.д.);
3	не могут проникнуть объекты размером более 2,5 мм (некоторые инструменты, кабели и т.д.);
4	возможно попадание только объектов размером менее 1 мм (очень мелкий крепеж, тонкие провода и т.д.);
5	полная защита от контакта, пылезащитная оболочка (внутри может попасть небольшое количество пыли, но она на работе не отражается);
6	самая высокая степень защищенности от пыли, пыленепроницаемая оболочка (не проникает даже пыль).

Иногда в требованиях по установке можно увидеть такой вариант: IPx6, IPx4 или любая другая цифра на втором месте. Если на месте первой цифры стоит символ «х», это означает, что требования по защите от пыли и контакта не определены, и в этой части вы можете выбирать оборудование, исходя из собственных требований.

Вторая цифра класса защиты IP показывает, насколько корпус предохраняет содержимое от попадания влаги. Цифры стоят обычно от 0 до 7, но у европейских производителей встречаются и 8, и 9.

Зная расшифровку второй цифры кода, легко можно установить, для каких условий можно использовать конкретное оборудование. Например, для установки на улице, корпус должен защищать содержимое от дождя.

То есть при установке на улице берем оборудование, у которого вторая цифра IP кода не менее 4.

В некоторых инструкциях встречаются требования к классу защиты оборудования в виде IP 3х или IP 8х и т.д. Это значит, что требования по степени защиты от влаги не определены и подбираются самостоятельно.

Таблица 3 – Описание второго кода

Номер	Описание защиты
0	защиты от влаги нет;
1	попадание на корпус вертикально падающих капель не нарушает работу устройства;
2	если корпус отклонить под углом 15°, вертикально падающие капли не нарушают работу устройства;
3	защита от брызг, падающих под углом до 60° (от дождя);
4	не страшны брызги воды любого направления (можно ставить в ваннах на расстоянии 20 см от источника воды и ближе);
5	попадание струй воды не причиняет вреда (угол наклона любой);
6	корпус способен противостоять волнам и струям воды (попавшая вода не мешает работе оборудования);
7	при краткосрочном погружении на 1 метр в воду, устройство продолжает работать;
8	при длительном нахождении на глубине 1 метр устройство работает;
9	полная водонепроницаемость, устройство работает под водой длительное время.

Дополнительные символы в коде обозначения степени защиты IP используются далеко не всегда. Обычно они присутствуют в тех случаях, когда фактическая степень защиты несколько больше той, которая указана в коде. Просто кодов ограниченное количество, точнее описать от чего конкретно предохраняет этот корпус или оболочка можно только с использованием этих дополнительных символов.

Кроме обязательных символов – двух цифр, стоять могут еще и буквы. Сразу после цифр могут стоять латинские буквы A, B, C, D. Они обозначают дополнительную защиту от прикосновений к токоведущим частям оборудования (рисунок 5, 6).

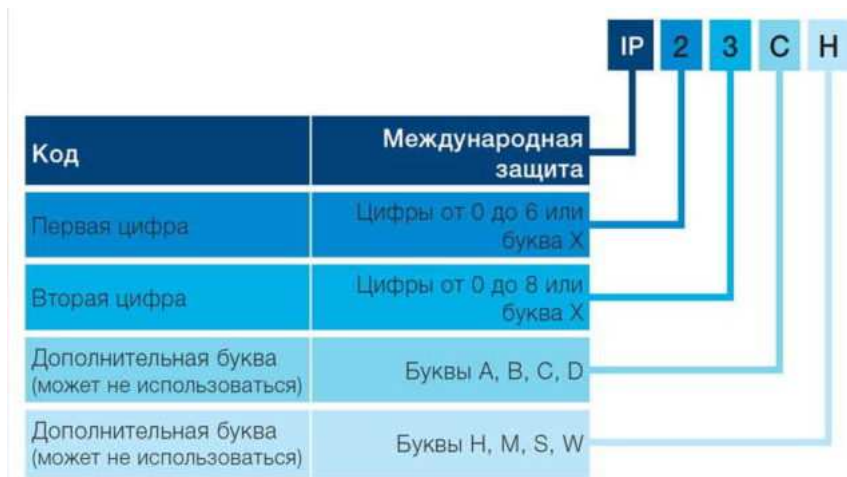


Рисунок 5 – Расширенное обозначение защиты

3 дополнительная буква	A	B	C	D	H
Защита людей при соприкосновении	Тыльной стороны руки	Пальцев	Малого инструмента	Провода, иглы, гвозди	Прибор высокого напряжения
Проверочный шаблон	Шарик Ø 50 мм	Проверочный палец Ø 12 мм	Жесткий провод Ø 2,5 мм со стопорным шариком	Жесткий провод Ø 1 мм со стопорным шариком	M Проверен в работе от попадания воды
Допустимое применение	Закрытые помещения (доступ только для уполномоченных лиц)	Места, доступные также необученным лицам	Места применения мелкого инструмента (отвертки)	Места применения нитеобразных предметов	S Проверен в нерабочем положении от попадания воды
					W С дополнительно указываемыми средствами защиты

Рисунок 6 – Значение дополнительных букв в кодировке степени защиты IP

## 2.2 Климатическое исполнение

*Климатическое исполнение* – виды климатического исполнения машин, приборов и других технических изделий. На территории Российской Федерации определены в ГОСТ 15150-69. Климатическое исполнение, как правило, указывается в последней группе знаков обозначений технических устройств. Пример обозначения климатического исполнения: УХЛ2.

Буквенная часть обозначает климатическую зону, расшифровка представлена в таблице 4. Цифровая часть обозначает категорию размещения, расшифровка представлена в таблице 5.

Таблица 4 – Буквенная часть, обозначающая климатическую зону

Буква кода	Расшифровка
У	умеренный климат (–45...+40° С);
ХЛ	холодный климат (–60...+40° С);
УХЛ	умеренный и холодный климат (–60...+40° С);
Т	тропический климат (+1...+40° С);
М	морской умеренно-холодный климат (–40...+40° С);
О	общеклиматическое исполнение (кроме морского) (–60...+50° С);
ОМ	общеклиматическое морское исполнение (–40...+45° С);
В	всеклиматическое исполнение (–60...+50° С).

Таблица 5 – Буквенная часть, обозначающая категорию размещения

Буква кода	Расшифровка
1	на открытом воздухе;
2	под навесом или в помещении, где условия такие же, как на открытом воздухе, за исключением солнечной радиации, атмосферных осадков;
3	в закрытом помещении без искусственного регулирования климатических условий;
4	в закрытом помещении с искусственным регулированием климатических условий (вентиляция, отопление);
5	в помещениях с повышенной влажностью, без искусственного регулирования климатических условий.

### 2.3 Взрывозащита

Взрывозащита – комплекс средств, обеспечивающих нормальную эксплуатацию оборудования в местах, в которых существует опасность взрыва газа или пыли; предотвращающих воздействие на людей опасных и вредных факторов взрыва, обеспечивающие сохранность материальных ценностей.

Такие места называют «взрывоопасная зона». Данное понятие трактуется следующим образом: взрывоопасная зона – это помещение или ограниченное пространство в помещении или наружной установке, в котором имеются или могут образоваться взрывоопасные смеси.

В соответствии с ГОСТР 51330 и ПУЭ взрывоопасные зоны в зависимости от частоты и длительности присутствия взрывчатой газовой смеси подразделяются на три класса:

- **Зона класса 0** – зона, в которой взрывоопасная газовая смесь присутствует постоянно или в течение длительных периодов времени;
- **Зона класса 1** – зона, в которой существует вероятность присутствия взрывоопасной газовой смеси в нормальных условиях эксплуатации;
- **Зона класса 2** – зона, в которой маловероятно присутствие взрывоопасной газовой смеси в нормальных условиях эксплуатации.

В соответствии с ГОСТ Р 51330 маркировка взрывозащищенного электрооборудования должна содержать знак «Ex», указывающий на то, что электрооборудование соответствует указанному стандарту и стандартам на виды взрывозащиты. Знаки видов взрывозащиты также регламентированы. Пример маркировки: **1ExdIIВТ4**, где 1 – уровень взрывозащиты; Ex – знак взрывозащищенного электрооборудования, изготовленного в соответствии со стандартом; d – вид взрывозащиты; IIВ – категория взрывоопасной смеси; Т4 – температурный класс. Уровни взрывозащиты представлены в таблице 6, виды взрывозащиты в таблице 7.

Таблица 6 – Уровень взрывозащиты

Уровень взрывозащиты	Определение
2	Взрывозащищенное электрооборудование, в котором взрывозащита обеспечивается только в признанном нормальном режиме работы
1	Взрывозащищенное электрооборудование, в котором взрывозащита обеспечивается как при нормальном режиме работы, так и при признанных вероятных повреждениях, определяемых условиями эксплуатации, кроме повреждений средств взрывозащиты
0	Взрывозащищенное электрооборудование, в котором по отношению к взрывобезопасному электрооборудованию приняты дополнительные средства взрывозащиты, предусмотренные стандартами на виды взрывозащиты

Таблица 7 – Виды взрывозащиты электрооборудования

Буквенное обозначение	Суть защиты	Оборудование
<b>d</b>	<p><b>Взрывонепроницаемая оболочка</b>                      Взрывозащищенное электрооборудование Exd может содержать нормально искрящие компоненты и зажигательные устройства, а также может содержать взрывоопасные смеси. Внутренняя конструкция такова, что оборудование может выдержать внутренний взрыв газовой смеси и не распространять при этом достаточное количество энергии для внешнего взрыва. Места соединений, крышки и отверстия конструируются с огнестойкими свойствами проходов (щелей и пазов), которые необходимо периодически проверять и постоянно поддерживать в нужном состоянии, чтобы сохранить целостность данной формы защиты</p>	<p>Коммутационные приборы, пускатели электродвигателей, автоматические выключатели, нагревательные элементы, светильники, датчики, сигнализаторы, кабельные вводы.</p>
<b>e</b>	<p><b>Не искрящее исполнение</b>                      Компоненты, применяемые в оборудовании, не вызывают искрения и опасных температур при нормальной работе. Оборудование обычно рассчитано на максимальное допустимое напряжение 11 кВ. Используются высокоэффективные и самые надежные электрические соединения и изоляция. Уровень защиты от попадания пыли и влаги практически полностью снижает риск загрязнения</p>	<p>Клеммные и соединительные коробки, посты и шкафы управления, распределительные устройства, светильники, сигнализаторы, кабельные вводы</p>
<b>I</b>	<p><b>Искробезопасная электрическая цепь</b>                      Взрывобезопасное оборудование (подгруппа Exia и Exib) данных типов включают цепи, которые ввиду низкого искрового энергетического потенциала не могут произвести зажигание взрывоопасной смеси. Оборудование Exib безопасно только при одном повреждении и может использоваться в зоне 1. Оборудование Exia безопасно при двух повреждениях и может применяться в зоне 0. Взрывобезопасные детали или схемы могут быть помещены в корпус, обладающий другой формой защиты, например, Exe или Exd, хотя для корпуса в этом случае не всегда требуется частая проверка</p>	<p>Датчики, исполнительные механизмы</p>

<b>р</b>	<p><b>Заполнение или продувка оболочки избыточным давлением</b>          Защита оборудование заключается в комбинации положительного статического давления внутри корпуса электроустановки и постоянного потока воздуха или инертного газа для выталкивания взрывоопасной смеси из корпуса в случае ее появления</p>	<p>Электродвигатели, распределительные и управляющие устройства, силовоточные приборы, анализаторы</p>
<b>о</b>	<p><b>Масляное заполнение оболочки</b>          Допускается только в зонах, где вероятность возникновения взрывоопасных сред невелика (зона 2). Оборудование типа 'о' используется при наличии погружения искрящих компонентов в масло с постоянным контролем вентиляционного режима</p>	<p>Трансформаторы, пусковые сопротивления</p>
<b>q</b>	<p><b>Кварцевое заполнение оболочки</b>          Корпус с порошковым или песочным наполнителем, где находятся устройства образования дуги и искрения. При этом необходима вентиляция. Часто применяется для консервации энергии, освобожденной при неисправности электрических и электронных компонентов</p>	<p>Трансформаторы, конденсаторы, предохранители</p>
<b>m</b>	<p><b>Герметизация компаундом</b>          Метод – заливка компаундом (инкапсуляция) компонентов или оборудования, образующих дуги и искрение, чтобы обеспечить отсутствие доступа имеющихся взрывоопасных смесей и контроль температуры при нормальных условиях и неисправности, что предотвращает возгорание</p>	<p>Индикаторы, коммутирующие приборы малой мощности, датчики</p>
<b>n</b>	<p><b>Без зажигательной способности</b>          Оборудование с защитой вида 'n' считается не имеющим зажигательной способности, поскольку при нормальной работе не производит дугу, искры или опасные температуры. Концепция близка философии Exe, но применима только в зонах со слабой вероятностью взрывоопасных сред (зона 2). Оборудование Exn подразделяется на четыре подгруппы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• не искрящее ExnA</li> <li>• изолированные ExnC компоненты с зажигательной способностью</li> <li>• ограничение энергии ExnL</li> <li>• ограниченное движение воздуха ExnR</li> </ul>	<p>Все устройства для зоны 2, кроме коммутационных устройств</p>

<b>с</b>	<b>Конструкционная безопасность</b> вид взрывозащиты, при котором принимаются дополнительные меры защиты, исключая возможность воспламенения окружающей взрывоопасной среды от нагретых поверхностей, искр и адиабатического сжатия, создаваемых подвижными частями оборудования	
<b>в</b>	<b>Контроль источника воспламенения</b> вид взрывозащиты, предусматривающий установку в неэлектрическом оборудовании устройства, которое исключает образование источника воспламенения и посредством которого внутренние встроенные датчики контролируют параметры элементов оборудования и вызывают срабатывание автоматических защитных устройств или сигнализаторов	
<b>к</b>	<b>Защита жидкостным погружением</b> вид взрывозащиты, при котором потенциальные источники воспламенения являются безопасными или отделены от взрывоопасной среды путём полного или частичного погружения в защитную жидкость, когда опасные поверхности постоянно покрыты защитной жидкостью таким образом, чтобы взрывоопасная среда, которая может находиться выше уровня жидкости или снаружи оболочки оборудования, не могла быть воспламенена	Применяется в основном для трансформаторов больших величин
<b>t</b>	<b>Защита оболочкой для работы во взрывоопасных пылевых средах</b> Вид взрывозащиты, при котором электрооборудование полностью защищено оболочкой для исключения возможности воспламенения слоя или облака пыли	

Таблица 8 – Категории взрывоопасных смесей газов и паров с воздухом

Категория смеси	Наименование смеси	БЭМЗ, мм
I	Рудничный метан	более 1,0
II	Промышленные газы и пары	—
II A	Промышленные газы и пары	более 0,9
II B	Промышленные газы и пары	более 0,5 до 0,9
II C	Промышленные газы и пары	до 0,5



Таблица 9 – Группы взрывоопасных смесей газов и паров с воздухом

<b>Группа</b>	<b>Температура самовоспламенения смеси, °С</b>
T1	Выше 450
T2	от 300 до 450
T3	от 200 до 300
T4	от 135 до 200
T5	от 100 до 135
T6	от 85 до 100

### 3 Измерительные преобразователи технологических параметров

#### 3.1 Датчики температуры

##### 3.1.1 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.

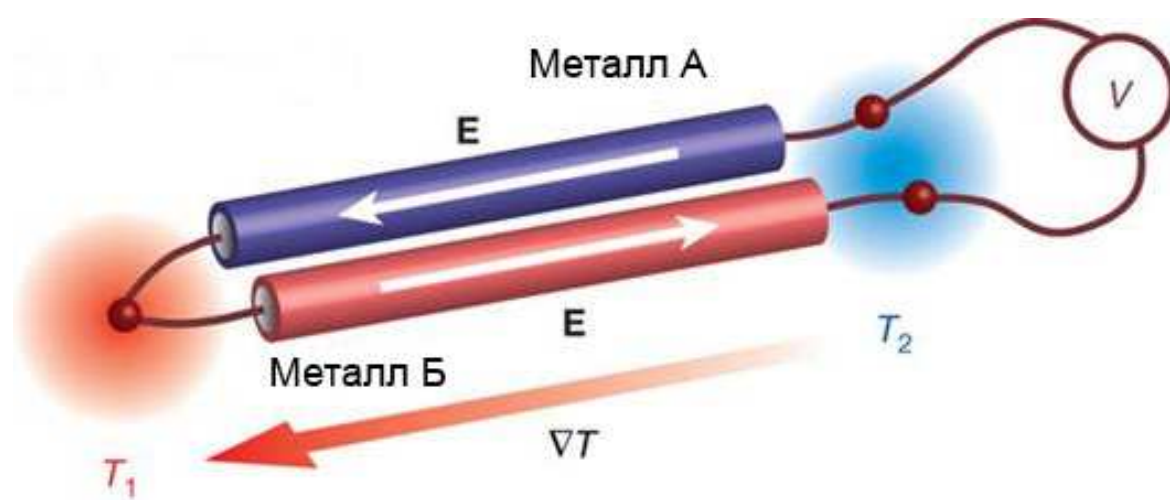


Рисунок 7 – Структура термопары

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.

### **3.1.2 Термопреобразователи сопротивления**

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

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



Рисунок 8 – Внешний вид промышленного термометра сопротивления

В отличие от термопар, являющихся активными преобразователями (преобразователями генераторного типа), термопреобразователи сопро-

тивления 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: по-

следние 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 9 – Внешний вид термистора

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

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

### **3.1.3 Измерение температуры бесконтактным методом**

**Бесконтактный способ измерения температуры** основан на восприятии тепловой энергии, передаваемой лучеиспусканием и воспринимаемой на расстоянии от исследуемого объекта. Верхний предел измерения температуры таким способом теоретически неограничен. Часто традиционный контактный способ измерения температуры невозможно применить в силу ряда причин: недоступные для прямого контакта поверхности (промышленное оборудование, высокая температура в производстве кирпича, керамики, стекла и т.д., агрессивные вещества); материалы, плохо проводящие тепло; небольшие размеры объектов (при измерении 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.

### 3.1.3.1 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.

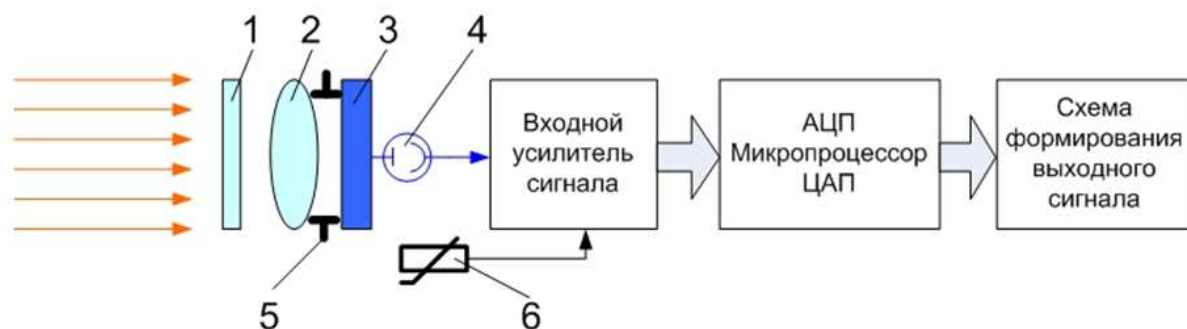


Рисунок 10 – Структура яркостного пирометра

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.

### 3.1.3.2 Пирометры спектрального отношения

Действие **цветовых 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.

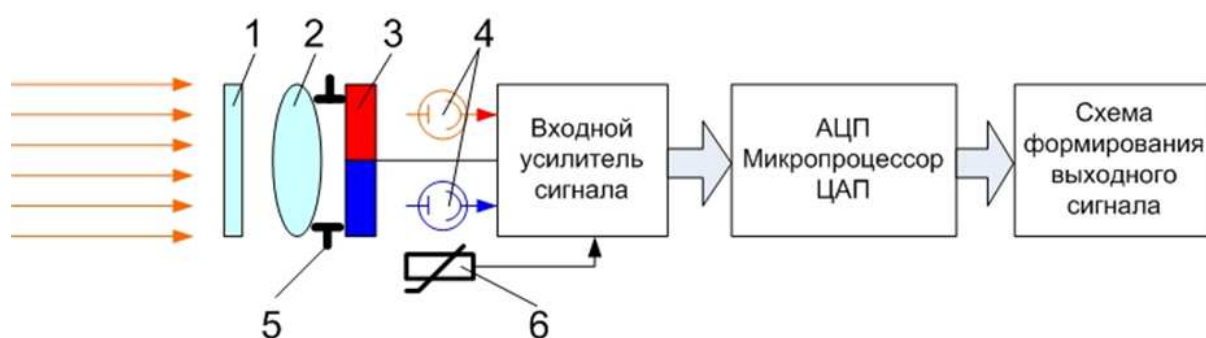


Рисунок 11 – Структура пирометра спектрального отношения

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.

### 3.1.3.3 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 преимущественно в инфракрасной области спектра с длинами волн от 0,75 до 1000 мкм.

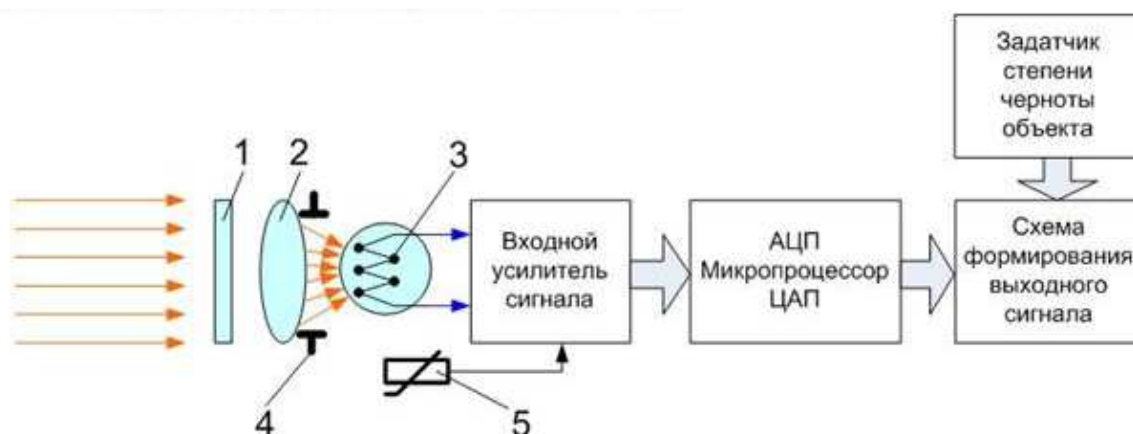


Рисунок 12 – Структура пирометра полного излучения

1 – стекло; 2 – объектив; 3 – термопары; 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).

### **3.2 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.

#### **3.2.1 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.

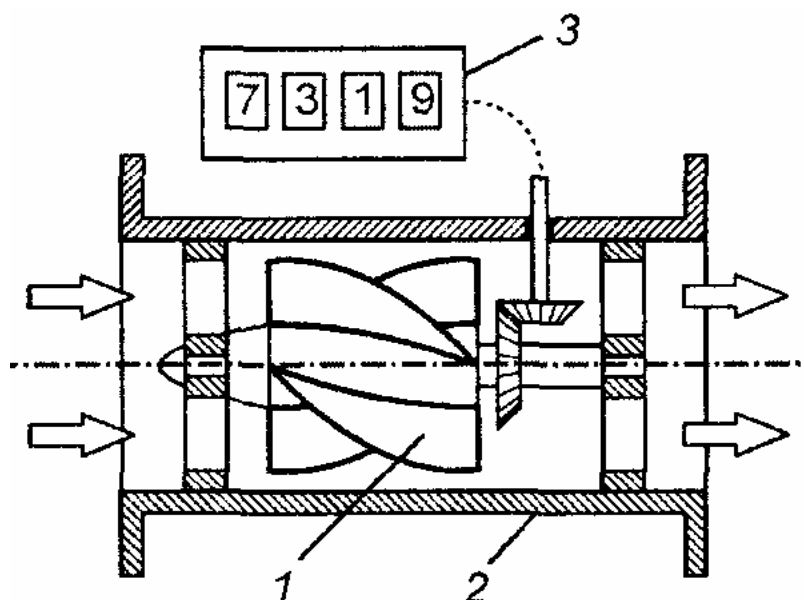


Рисунок 13 – Конструкция счетчика с аксиальной турбинкой

Поток жидкости, поступаая в прибор, выравнивается струевыпрямителем и направляется на лопасти аксиальной турбинки 1, выполненной в виде многозаходного винта. Вращение турбинки 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 турбинки) обеспечивается регулировкой передаточного числа механизма б, соответствующим подбором сменных шестерен и регулировкой скорости вращения турбинки 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 тари-

ровки) между его показаниями и действительным количеством протекшей жидкости.

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

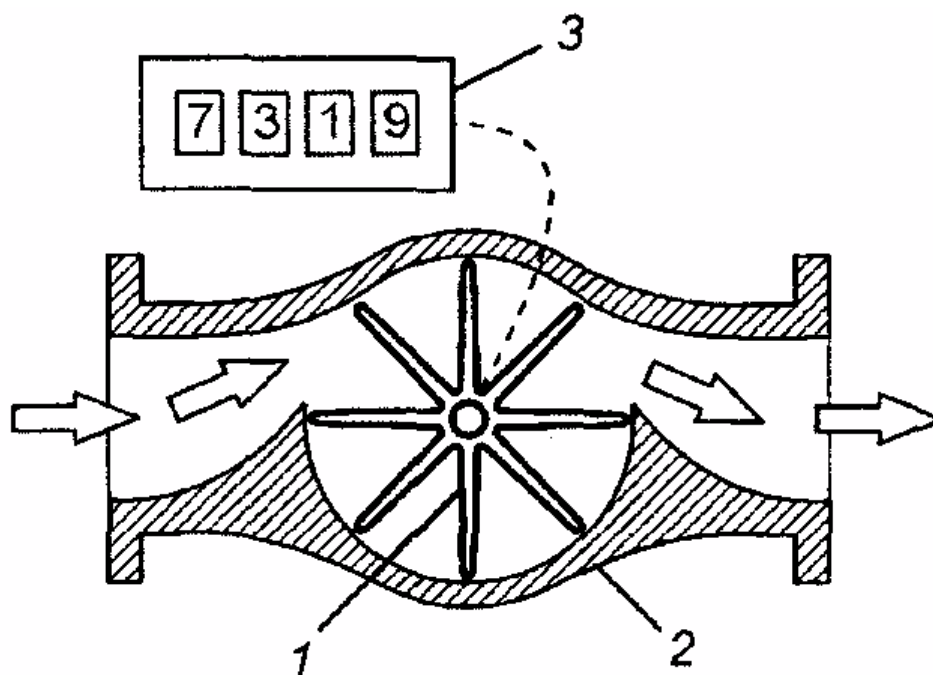


Рисунок 14 – Конструкция счетчика с тангенсальной турбинкой

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.

### 3.2.2 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 15 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.

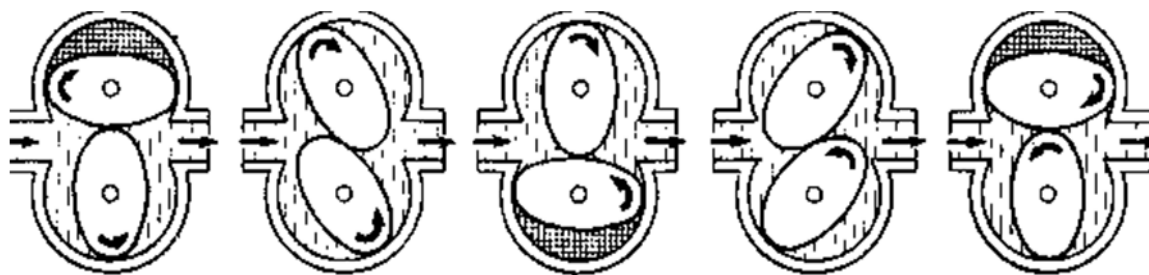


Рисунок 15 – Схема работы шестеренчатого объемного счетчика

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 ±0,5 до ±1,0% от измеряемого значения.

### 3.2.3 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.

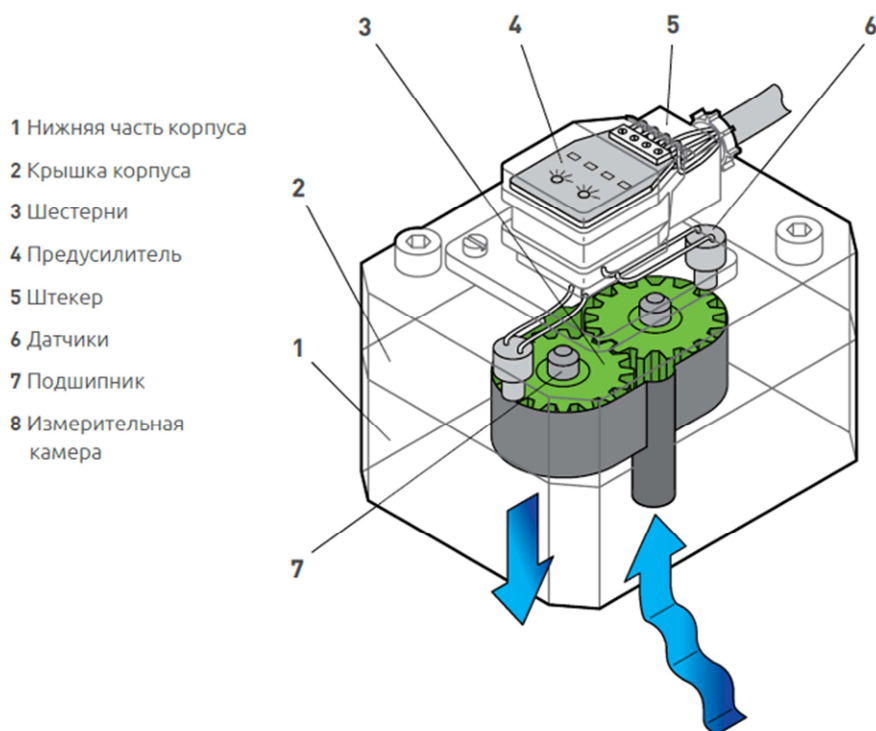


Рисунок 16 – Конструкция шестеренчатого расходомера

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.

### 3.2.4 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.

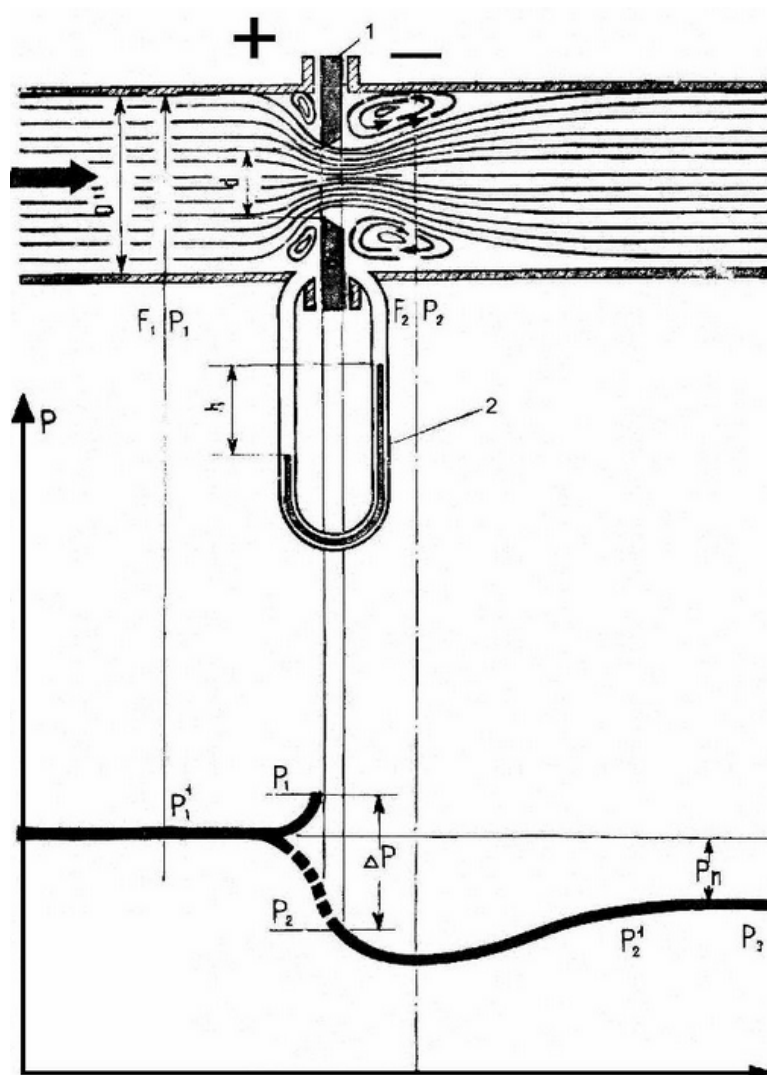


Рисунок 17 – Принцип измерения расхода с использованием сужающего устройства

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

#### **3.2.5 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,
- быстродействие,
- помехозащищенность.

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

### 3.2.5.1 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.

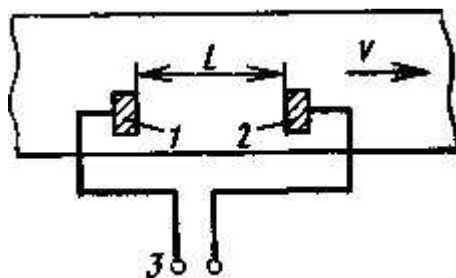


Рисунок 18 – Принципиальная схема фазового ультразвукового расходомера жидкости и газа: 1, 2 – пьезоизлучатель и пьезоприёмник ультразвуковых колебаний; 3 – переключатель механический

На поверхности трубопровода (рисунок 18) 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 восприни-

мает 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.

### 3.2.5.2 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 19) 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.

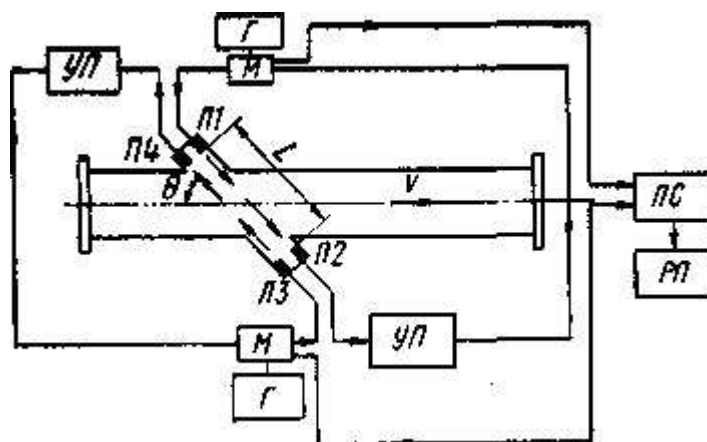


Рисунок 19 – Структурная схема частотно-пакетного ультразвукового расходомера

### **3.2.5.3 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.

### **3.2.6 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.

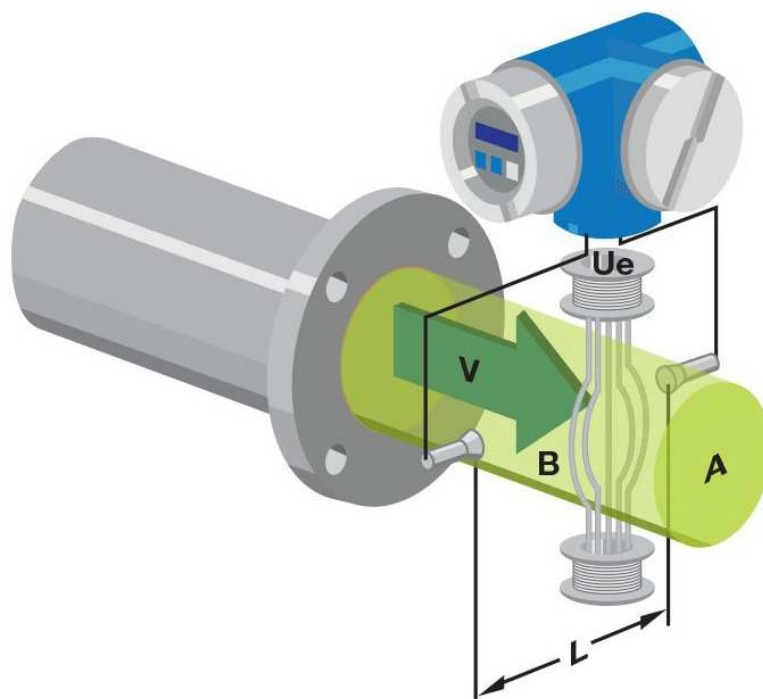


Рисунок 20 – Принцип работы электромагнитного расходомера

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 всего 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 каждодневного 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 провода 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 устанавли-



ваются 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 электрическим 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 электромагнита-

ми 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.

### **3.2.7 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 Струхалья) и ширины тела обтекания  $d$ :

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

Достоинством вихревых расходомеров является отсутствие каких-либо подвижных элементов внутри трубопровода, достаточно низкая нелинейность ( $<1,0\%$ ) в широком диапазоне измерений ( $>1:10 \dots 1:40$ ), частотный выходной сигнал, а также инвариантность метода относительно электрических свойств и агрегатного состояния движущейся среды.

### 3.2.7.1 Вихревые расходомеры с обтекаемым телом

Это расходомеры, в которых первичным преобразователем расхода является неподвижное тело (рисунок 21). 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.

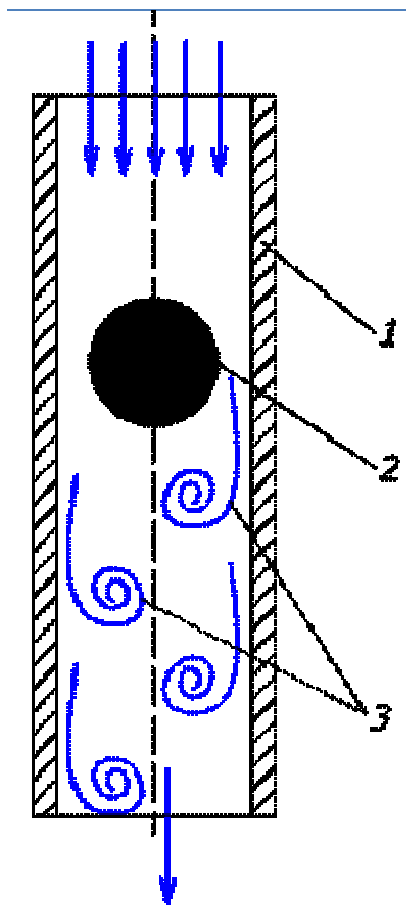


Рисунок 21 – Вихревой расходомер с обтекаемым телом:  
1 – трубопровод, 2 – тело обтекания круглой формы, 3 – вихри

### 3.2.7.2 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 сиг-

нал используются полупроводниковые термоанемометры или пьезоэлементы. Данный тип вихревых расходомеров подразделяется на приборы с винтовым завихряющим устройством (рисунок 22) и с тангенциальным вводом в камеру (рисунок 23). Их различие состоит в том, что в приборах с тангеницальным вводом в камеру поток входит по касательной и закручивается в виде воронки.

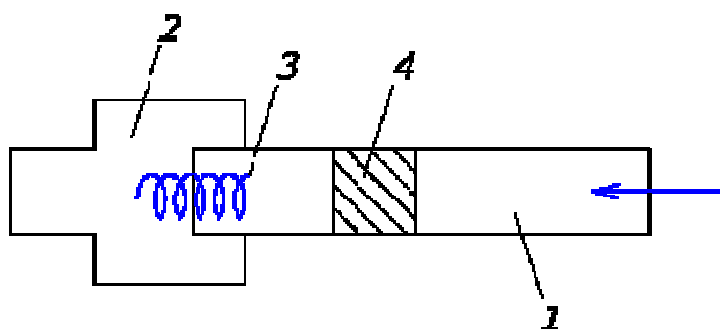


Рисунок 22 – Схема первой ступени вихревых преобразователей с винтовым завихряющим устройством: 1 – труба входящего потока, 2 – участок трубы с большим диаметром, 3 – патрубок, 4 – цилиндрическая камера с резьбой для закручивания потока

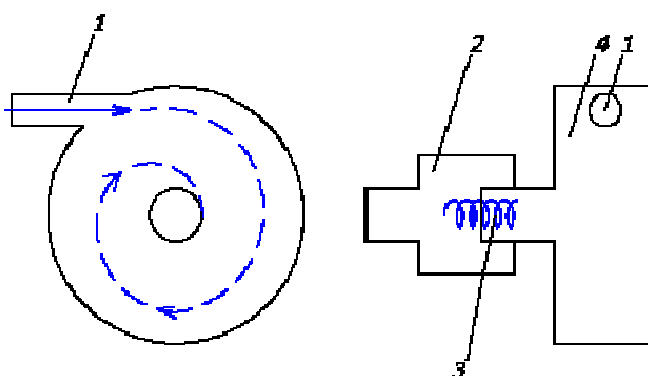


Рисунок 23 – Схема первой ступени вихревых преобразователей с тангенциальным вводом в камеру: 1 – труба входящего потока, 2 – участок трубы с большим диаметром, 3 – патрубок, 4 – цилиндрическая камера для закручивания потока

### 3.2.7.3 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 25). 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.

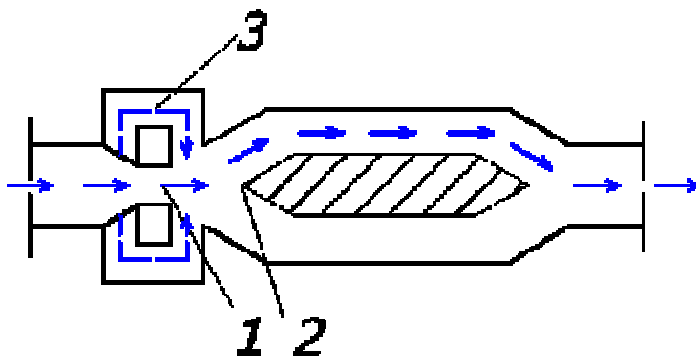


Рисунок 24 – Релаксационный преобразователь вихревого расходомера с осциллирующей струей: 1 – сопло, 2 – диффузор, 3 – обводная трубка

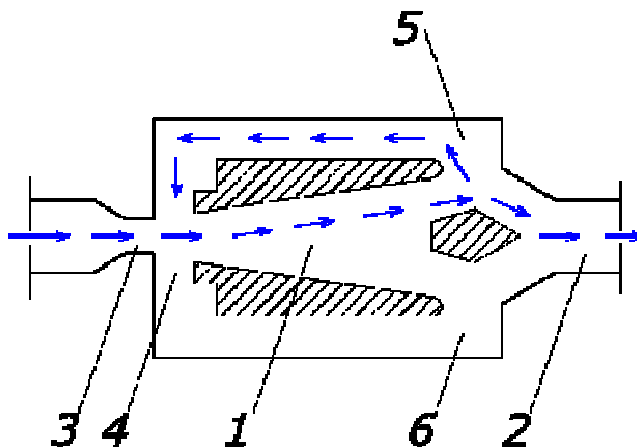


Рисунок 25 – Преобразователь вихревого расходомера с колеблющейся струей с обратной гидравлической связью: 1 – диффузор, 2 – выходной парубок, 3 – сопло 1, 4 – сопло 2, 5 – верхний отводной канал, 6 – нижний обводной канал

### 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.).

### **3.2.8 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 26). 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 воздей-

ствием, 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.

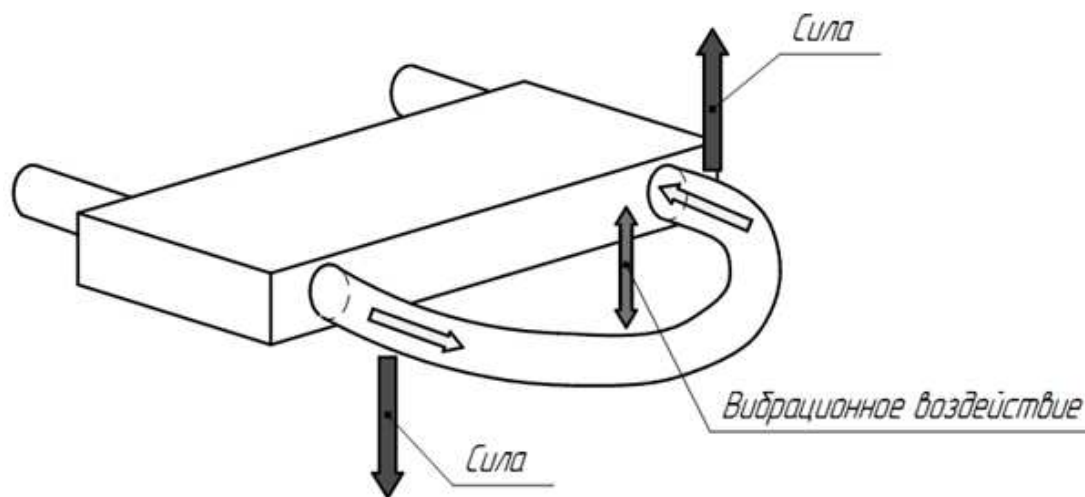


Рисунок 26 – Схема функционирования кориолисового расходомера

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.

### 3.2.9 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 27 – 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 27).

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.

### 3.3 Приборы для измерения массы и усилий

Тензометрия (от лат. *tensus* – напряжённый) – это способ и методика измерения напряжённо-деформированного состояния измеряемого объекта или конструкции. Дело в том, что нельзя напрямую измерить механическое напряжение, поэтому задача состоит в измерении деформации объекта и вычислении напряжения при помощи специальных методик, учитывающих физические свойства материала.

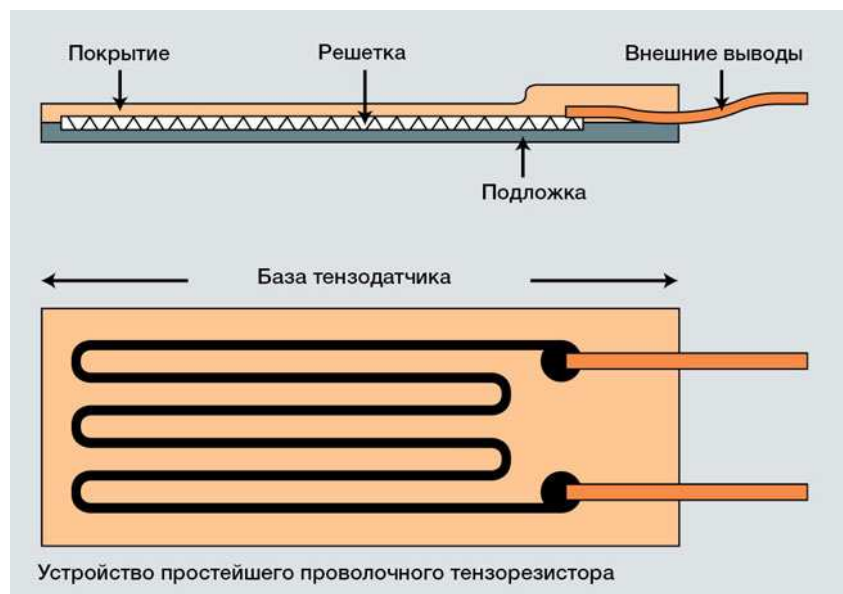


Рисунок 28 – Устройство тензорезистора

В основе работы тензодатчиков лежит тензоэффект – это свойство твёрдых материалов изменять своё сопротивление при различных деформациях. Тензометрические датчики представляют собой устройства, которые измеряют упругую деформацию твёрдого тела и преобразуют её величину в электрический сигнал. Этот процесс происходит при изменении сопротивления проводника датчика при его растяжении и сжатии. Они являются основным элементом в приборах по измерению деформации твёрдых тел (например, деталей машин, конструкций, зданий).

Основу тензодатчика составляет тензорезистор, оснащенный специальными контактами, закрепленными на передней части измерительной панели. В процессе измерения чувствительные контакты панели соприкасаются

с объектом. Происходит их деформация, которая измеряется и преобразуется в электрический сигнал, передаваемый на элементы обработки и отображения измеряемой величины тензометрического датчика. В зависимости от сферы функционального использования датчики различаются как по типам, так и по видам измеряемых величин. Важным фактором является требуемая точность измерения.

### **3.3.1 Виды сенсоров**

Тактильные. Срабатывают в результате механического действия на чувствительную поверхность. При нажатии проводники продавливают мягкий диэлектрик и обеспечивают некую проводимость, чем изменяется величина сопротивления. По типу измерения бывают датчики касания, проскальзывания, усилия. Позволяют устанавливать минимальные деформации, но при неточных настройках могут подавать и ложный сигнал.

Механические. Измерения основаны на фиксации изменения длины объекта под нагрузкой. Работа механического тензометра заключается в определении зависимости удлинения тела от напряжения в поперечном сечении.

Резистивные. Наиболее распространенный тип датчиков. Требуют подключения к слаботочной управляющей цепи, поскольку включают в себя тензорезисторный контур. Надежны при любом состоянии окружающей среды.

В основе работы лежит тензорезистор или мост из них, расположенный на гибком основании. Такой тензодатчик крепится к поверхности измерителя и реагирует на механические деформации. В соответствии с п.1.1 ГОСТ 21616-91 разделяются на проволочные и фольгированные. По количеству и форме разделяются на одиночные, розетки, цепочки, мембранные розетки.

Струнные. Струнный вариант представляет собой стальную проволоку (струну), её натягивают между опорами, которые закрепляют на поверхности объекта. Суть измерений заключается в определении отношения частоты колебания струны к степени её натяжения при изменении длины обследуемого тела под воздействием нагрузки.

Индуктивные. Устройство прибора основано на применении катушки индуктивности, в которой установлен подвижный сердечник. Он напрямую контактирует с поверхностью объекта. При малейшей деформации поверхности происходит смещение сердечника в катушке. Изменяющиеся параметры катушки индуктивности фиксируются через электросхему прибором.

Пьезорезонансные. Относятся к устройствам полупроводникового типа, нуждаются в надежном обслуживании и тонкой настройке. Работают по принципу сравнения эталонного сигнала с фактическим.

Пьезоэлектрические. По своему действию подобны измерителям предыдущего типа, но подают сигнал при изменении значений контактных деформаций, прикладываемых к чувствительному элементу. При воздействии усилия на кристалл меняется и величина зарядов, что передается на измерительный орган тензодатчика.

Магнитные. Изготавливаются из сплавов с переменным значением коэрцитивной силы, используются при измерении усилий в узлах оборудования, работающих в сильных электромагнитных полях. Используют свойство магнитных проводников изменять величину магнитной проницаемости в зависимости от физических параметров. При сжатии или растяжении сердечника, электромагнитный поток, формируемый катушкой, будет изменяться. В результате чего индуктивность тензодатчика также отклонится от образцового состояния.

Емкостные. Предназначены для измерения малых механических напряжений в деталях со сложной конфигурацией, когда изменение длины

токопроводящей проволоки изменяет ее электрическую емкость. Используют эффект переменного конденсатора, в котором с уменьшением расстояния между пластинами будет возрастать емкость. А при увеличении расстояния или уменьшении площади пластин емкость уменьшится.

### 3.3.2 Виды исполнений тензодатчиков

В соответствии с п.1.2 ГОСТ 28836-90 по характеру прилагаемого усилия тензодатчики можно разделить на те, которые **реагируют на сжатие, растяжение и универсальные.**

От формы грузоприемного основания **выделяют:**

- Консольные (балочные) – устанавливаются в некоторых типах весов, при взвешивании контейнеров и т.д.;
- S-образные – применяются для измерения поднимаемых грузов;
- Мембранные – используются в системах контроля, высокоточных измерителях и т.д.;
- Колонные – монтируются в оборудовании с большой массой;

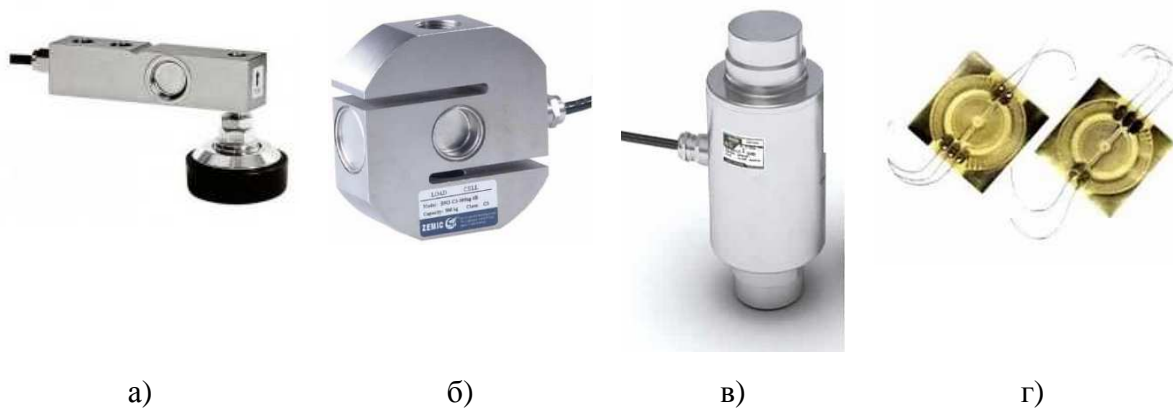


Рисунок 29 – Исполнения тензодатчиков

### **3.3.3 Назначение**

Тензодатчик устанавливается в различных приборах и приспособлениях для отслеживания реакции на физическое воздействие. На сегодняшний день сфера его применения охватывает самые различные отрасли промышленности и народного хозяйства, где он используется для:

- измерения веса – устанавливается в электронных весах различного типа;
- определения ускорения – применяется при испытании транспортных средств;
- измерения давления – распространено в сфере обработки поверхностей, при контроле прилагаемого усилия, в механических средствах и т.д.;
- контроля перемещения – фиксируют перемещение строительных элементов, фундаментов, сейсмологических приспособлений и т.д.;
- измерения крутящего момента – применяется в машиностроительной отрасли, для технического обслуживания и прочих.

### **3.3.4 Преимущества и недостатки тензодатчиков**

Широкое применение тензодатчики получили благодаря своим свойствам:

- возможности монолитного соединения датчика деформации с исследуемой деталью;
- малой толщине измерительного элемента, что обеспечивает высокую точность измерения с погрешностью 1-3 %;
- удобству крепления, как на плоских, так и на криволинейных поверхностях;
- возможности измерения динамических деформаций, меняющихся с частотой до 50000 Гц;



- возможности проведения измерений в сложных условиях окружающей среды в температурном интервале от -240 до +1100°С;
- возможности измерений параметров одновременно во многих точках деталей;
- возможности измерения деформации объектов, расположенных на больших расстояниях от тензометрических систем;
- возможность и измерения деформаций в движущихся (крутящихся) деталях.

**Из недостатков** следует отметить:

- влияние метеоусловий (температуры и влажности) на чувствительность датчиков;
- незначительные изменения сопротивления измерительных элементов (около 1%) требует применение усилителей сигналов.
- при работе тензодатчиков в условиях высокотемпературной или агрессивной среды необходимы специальные меры их защиты.

## Библиографический список

1. Беспалов, А.В. Системы управления химико-технологическими процессами/ А.В. Беспалов, Н.И. Харитонов. – М.: Академкнига, 2001. – 691 с. – ISBN 978-5-94628-311-3.
2. Вихревые расходомеры. – Текст: электронный // ООО "ПРАМЕНЬ". – 2024. – URL: <http://npopramen.ru/information/other-flowmeters/43-hydrodynamic-methods/10-vortex-flowmeters> (дата обращения 10.03.2024)
3. ГОСТ 14254-2015. Степени защиты, обеспечиваемые оболочками (Код IP) = Degreesofprotectionprovidedbyenclosures (IP Code): национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 10 июня 2016 г. № 604-ст : взамен ГОСТ 14254-96: дата введения 2017-03-01 /Подготовлен Техническим комитетом по стандартизации ТК 341 "Внешние воздействия" на основе собственного перевода на русский язык англоязычной версии стандарта ИЕС 60529:2013. – Москва : Стандартиформ, 2017. – 39 с.
4. ГОСТ 15150-69. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды= Machines, instrumentsandotherindustrialproducts. Modificationsfordifferentclimaticregions. Categories, operating, storageandtransportationconditionsastoenvironmentclimaticaspectsinfluence: национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утверждён и введен постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 29.12.69 N 1394: введен впервые: дата введения 1971-01-01 / Разработчики М.Л.Оржаховский (руководитель разработки); З.С.Боголюбова; Г.В.Козлова, канд. техн. наук; И.П.Меллер; М.С.Пинзур; Е.А.Судьин; В.М.Строганова; Г.П.Стрелкова; Г.Н.Трубецкая. – Москва :Стандартиформ, 2010. – 85 с.
5. Денисов, М. С. Технические измерения и приборы : учеб.-практ. пособие / М. С. Денисов ; Владим. гос. ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2021. – 148 с. – ISBN 978-5-9984-1194-6.

6. Об одноточечных тензодатчиках. – Текст: электронный // ООО «ТЕНЗОДАТ». – 2024. – URL: <https://tenzodat.by/o-konstruktsii-odnotochechnyh-datchikov/> (дата обращения 10.03.2024)
7. Раннев, Г. Г. Измерительные информационные системы: учебник для студ. высш. учеб.заведений /Г. Г. Раннев. – М. Издательский центр «Академия», 2010. – 336 с. -ISBN 978-5-7695-5979-2.
8. Расходомеры жидкости. – Текст: электронный // Оборудование для автоматизации процессов производства - РусАвтоматизация. – 2024. –URL: <https://rusautomation.ru/rashodomery/rashodomery-zhidkosti> (дата обращения 10.03.2024)
9. Тепловые расходомеры. – Текст: электронный // АППЭК-Сервис. – 2024. – URL: [http://trimeter.spb.ru/ob\\_izmerenii\\_rashodov/Teplovie\\_rashodomeri.pdf](http://trimeter.spb.ru/ob_izmerenii_rashodov/Teplovie_rashodomeri.pdf)(дата обращения 10.03.2024)
10. Цапенко, М.П. Измерительные информационные системы /М.П. Цапенко – М. Энергоатомиздат, 1985. – 438 с.– ISBN 999-00-1327014-0.
11. Шишмарёв, В. Ю. Технические измерения и приборы : учебник для среднего профессионального образования / В. Ю. Шишмарёв. — 3-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2024. — 377 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-11997-8. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/542299> (дата обращения: 10.03.2024).

Электронное учебное издание

Артем Вячеславович Савчиц

**ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ И ПРИБОРЫ**

*Учебное пособие*

*Электронное издание сетевого распространения*

Редактор Матвеева Н.И.

Темплан 2024 г. Поз. № 21.

Подписано к использованию 08.04.2024. Формат 60x84 1/16.

Гарнитура Times. Усл. печ. л. 5,2.

Волгоградский государственный технический университет.  
400005, г. Волгоград, пр. Ленина, 28, корп. 1.

ВПИ (филиал) ВолгГТУ.  
404121, г. Волжский, ул. Энгельса, 42а.