

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

С. Б. Перетятко

ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Утверждено редакционно-издательским советом ФГБОУ ВО «КГТУ»
в качестве учебного пособия для студентов бакалавриата,
обучающихся по направлению подготовки
13.03.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Калининград
Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ»
2022

УДК 621

Рецензенты:

кандидат технических наук, доцент ФГБОУ ВО «КГТУ» М. Б. Лещинский
кандидат технических наук, доцент ФГБОУ ВО «КГТУ» Б. П. Борисов

Перетятко, С. Б.

Технические измерения: учебное пособие / С. Б. Перетятко. –
Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2022. – 155 с.
ISBN 978-5-94826-636-7

В учебном пособии рассмотрены основные определения в области технических измерений. Приведены описания технических средств измерений, имеющих первостепенное значение.

Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся по направлению подготовки «Теплоэнергетика и теплотехника», и будет способствовать формированию у них теоретических знаний и практических инженерных навыков.

Рис. 84, табл. 13, список лит. – 46 наименований

Учебное пособие рассмотрено и одобрено кафедрой Инжиниринга технологического оборудования ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» 21 апреля 2022 г., протокол № 3

Учебное пособие рекомендовано к изданию методической комиссией Института морских технологий, энергетики и строительства ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» 28 октября 2022 г., протокол № 2

ISBN 978-5-94826-636-7

УДК 621

© Федеральное государственное
бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Калининградский государственный
технический университет», 2022 г.
© Перетятко С. Б., 2022 г.

1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ В ОБЛАСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

1.1 Общие сведения

Наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства, а также способах достижения требуемой точности называется *метрологией*.

Основные термины и определения понятий в области метрологии установлены рекомендациями РМГ 29-2013 Метрология. Основные термины и определения [1]. Дата введения данных рекомендаций 1 января 2015 г. Термины, установленные настоящим документом, рекомендуется применять во всех видах документации, научно-технической, учебной и справочной литературе по метрологии, входящих в сферу работ по стандартизации и (или) использующих результаты этих работ. Если иное не указано, то в данной работе будут использоваться термины и определения понятий именно из этого документа.

Метрология состоит из трех самостоятельных и взаимодополняющих разделов – теоретического, законодательного и прикладного.

Теоретическая (фундаментальная) метрология – это раздел метрологии, предметом которого является разработка фундаментальных основ метрологии.

Законодательная метрология – это раздел метрологии, предметом которого является установление обязательных технических и юридических требований по применению единиц величин, эталонов, методов и средств измерений, направленных на обеспечение единства и требуемой точности измерений.

Прикладная метрология – это раздел метрологии, предметом которого являются вопросы практического применения разработок теоретической метрологии и положений законодательной метрологии.

Единство измерений (ЕИ) – состояние измерений, при котором их результаты выражены в узаконенных единицах величин или в значениях по установленным шкалам измерений, а показатели точности измерений не выходят за установленные границы.

Предметом метрологии является извлечение количественной информации о свойствах объектов и процессов с заданной точностью и достоверностью.

Средства метрологии – это совокупность СИ и метрологических стандартов, обеспечивающих их рациональное использование.

Основное понятие метрологии – *измерение*. Измерение (величины) – это процесс экспериментального получения одного или более значений величины, которые могут быть ей обоснованно приписаны. Измерение подразумевает сравнение величин или включает счет объектов. Однако термин измерение согласно ФЗ «Об обеспечении единства измерений» – совокупность операций, выполняемых для определения количественного значения величины.

Измерение предусматривает описание величины в соответствии с предполагаемым использованием результата измерения, методику измерений и

средство измерений, функционирующее в соответствии с регламентированной методикой измерений и с учетом их условий.

Измеряемая величина – это величина, подлежащая измерению. *Объект измерения* – материальный объект или явление, характеризующиеся одной или несколькими измеряемыми и влияющими величинами. Примеры объекта измерения – вал, у которого измеряют диаметр; технологический процесс, во время которого измеряют температуру.

Принцип измерений – явление материального мира, положенное в основу измерения. Примеры: применение эффекта Доплера для измерения скорости; использование гравитационного притяжения при измерении массы взвешиванием.

Метод измерений – это прием или совокупность приемов сравнения измеряемой величины с ее единицей или соотнесения со шкалой в соответствии с реализованным принципом измерений. Например, метод сравнения (с мерой).

По способам сравнения измеряемой величины с ее единицей различают следующие методы измерений:

1. *Метод непосредственной оценки* – метод измерений, при котором значение величины определяют непосредственно по отсчетному устройству показывающего СИ (термометр, вольтметр и пр.). Суть метода непосредственной оценки, как любого метода измерения, состоит в сравнении измеряемой величины с мерой, принятой за единицу, но в этом случае мера заложена в измерительный прибор опосредованно. Он осуществляет преобразование входного сигнала измерительной информации, соответствующего всей измеряемой величине, после чего и происходит оценка ее значения;

2. *Метод совпадений* – сравнение с мерой. В нем значение измеряемой величины оценивают, используя совпадение ее с величиной, воспроизводимой мерой (т. е. с фиксированной отметкой на шкале физической величины). Примером этого метода является измерение длины при помощи штангенциркуля с нониусом. Метод совпадений часто применяется при измерениях параметров периодических процессов.

3. *Дифференциальный метод измерений* – измеряемая величина сравнивается с однородной величиной, имеющей известное значение, незначительно отличающееся от значения измеряемой величины, при котором измеряется разность между этими двумя величинами. Пример: измерения, выполняемые при поверке мер длины сравнением с эталонной мерой на компараторе.

4. *Метод сравнения (с мерой)* – измеряемую величину сравнивают с величиной, воспроизводимой мерой. Пример: измерение массы на рычажных весах с уравниванием гирями (мерами массы с известными значениями).

Существует ряд разновидностей метода сравнения с мерой.

По условиям измерения различают следующие методы измерений:

1) *контактный*, основанный на том, что чувствительный элемент прибора приводится в контакт с объектом измерения. Пример: измерение диаметра вала измерительной скобой;

2) *бесконтактный*, основанный на том, что чувствительный элемент СИ не приводится в контакт с объектом измерения (измерение расстояния радиолокатором, дальномером).

Методика (выполнения) измерений – установленная логическая последовательность операций и правил при измерении, выполнение которых обеспечивает получение результатов измерений в соответствии с принятым методом измерений. Обычно она регламентируется каким-либо нормативным документом.

Результат (измерения величины) – множество значений величины, приписываемых измеряемой величине вместе с любой другой доступной и существенной информацией. Определение понятия результата измерения претерпело существенное изменение по сравнению с определением РМГ 29–99 и вобрало в себя выражение точности измерения. Информация, приводимая в результате измерения, определяется особенностями конкретного измерения и соответствует требованиям, предъявляемым к этому измерению.

В большинстве случаев информация относится к точности измерения и выражается показателями точности, в обоснованных случаях содержит указание методики измерений и др. Результат измерения может быть представлен измеренным значением величины с указанием соответствующего показателя точности. К ним относятся, например, среднее квадратическое отклонение, доверительные границы погрешности, стандартная неопределенность измерений, суммарная стандартная и расширенная неопределенности.

Если значение показателя точности измерений можно считать пренебрежимо малым для заданной цели измерения, то результат измерения будет выражаться как одно измеренное значение величины. Во многих областях это является обычным способом выражения результата измерения, с указанием класса точности применяемого средства измерений.

По ГОСТ Р ИСО 5725-1-2002 [2] *результат измерений* – значение характеристики, полученное выполнением регламентированного метода измерений.

Измеренное значение (величины) – значение величины, которое представляет результат измерения. Для измерения, в котором имеют место повторные показания, каждое из них может использоваться, чтобы получить соответствующее измеренное значение величины.

Такая совокупность отдельных измеренных значений величины может быть применена при вычислении результирующего измеренного значения величины, такого как среднее арифметическое или медиана, обычно с меньшей соответствующей неопределенностью (погрешностью) измерений.

Когда диапазон истинных значений величины, представляющих измеряемую величину, мал по сравнению с неопределенностью (погрешностью)

измерений, измеренное значение величины может рассматриваться как оценка, по сути, единственного истинного значения величины. Оно часто представляет собой среднее арифметическое или медиану отдельных измеренных значений, которые получены при повторных измерениях.

В случае, когда диапазон истинных значений величины, представляющих измеряемую величину, нельзя считать малым по сравнению с неопределенностью (погрешностью) измерений, измеренное значение часто будет оценкой среднего арифметического или медианы набора истинных значений величины.

Среднее квадратическое отклонение, стандартное отклонение – параметр функции распределения измеренных значений или показаний, характеризующий их рассеивание и равный положительному корню квадратному из дисперсии того распределения. Оценкой среднего квадратического отклонения является *выборочное стандартное отклонение*, определяемое по формуле (1):

$$S(x) = \frac{\sqrt{\sum_{k=1}^n (x_k - \bar{x})^2}}{n-1}, \quad (1)$$

где x_k – k -е измеренное значение или показание в ряду из значений; $\bar{x}$ – среднее арифметическое из измеренных значений или показаний.

Измерительная информация – информация о значении величины, входящей в модель измерений.

Модель измерений, уравнение измерений – уравнение связи между величинами в конкретной измерительной задаче.

Величина – свойство материального объекта или явления, общее в качественном отношении для многих объектов или явлений, но в количественном отношении индивидуальное для каждого из них. В качестве основы для сравнения может выступать единица измерения, методика измерения, стандартный образец или их комбинации.

Размер величины – количественная определенность величины, присущая конкретному материальному объекту или явлению. Например, разные вещества обладают той или иной плотностью, но каждое из них имеет вполне определенное значение: у алюминия плотность равна $2,6989 \text{ т/м}^3$, а железа $7,874 \text{ т/м}^3$.

Следовательно, одна и та же физическая величина как вполне определенная характеристика будет при равных единицах измерения для разных веществ отличаться размером.

Род (величины) – качественная определенность величины. Примеры: 1) длина и диаметр детали – однородные величины; 2) длина и масса детали – неоднородные величины. Однородные величины в рамках данной системы величин имеют одинаковую размерность величины. Однако величины одинаковой размерности не обязательно будут однородными.

Значение величины – выражение размера величины в виде некоторого числа принятых единиц, или чисел, баллов по соответствующей шкале измерений. В зависимости от основы для сравнения значение величины может быть выражено: числом и единицей измерения, числом и указанием методики измерений, числом и указанием стандартного образца.

Числовое значение (величины) – отвлеченное число, входящее в значение величины.

Значение величины получают в результате ее измерения или вычисления [28] в соответствии с уравнением (2):

$$Q=q \cdot [Q], \quad (2)$$

где Q – измеряемая величина; q – ее числовое представление в принятых единицах измерения величины Q ; $[Q]$ – принятая единица измерения величины Q .

Это уравнение называется *основным уравнением измерений*.

Контрольные вопросы

1. Что такое измерение?
2. Что такое величина?
3. Что такое размер величины?
4. Что такое единство измерений?
5. Какую формулу называют основным уравнением измерений?

1.2. Области и виды измерений

Область измерений – совокупность измерений величин, свойственных какой-либо области науки или техники и выделяющихся своей спецификой. Выделяют ряд областей измерений: механические, магнитные, акустические и др.

Вид измерений – часть области измерений, имеющая свои особенности и отличающаяся однородностью измеряемых величин. Пример: в области электрических и магнитных измерений могут быть выделены: измерения электрического сопротивления, электрического напряжения, магнитной индукции и др.

Принято различать следующие области и виды измерений:

1. Измерение геометрических величин: длин, углов, отклонений формы поверхностей и др.
2. Измерение механических величин: массы, силы, твердости, прочности, мощности, напряжений и др.
3. Измерение параметров потока, расхода, уровня, объема вещества и др.
4. Измерение давления: избыточного давления, вакуума и т.д.

5. Физико-химические измерения: контроль состава веществ, материалов и изделий и др.

6. Теплофизические и температурные измерения: температуры, теплофизических величин.

7. Измерение времени и частоты.

8. Измерение электрических и магнитных величин: силы электрического тока, электрического заряда, электрического напряжения, потока электрического смещения, электрической емкости, магнитодвижущей силы, магнитной индукции, магнитного потока, индуктивности, электрического сопротивления, электрической проводимости, магнитной проводимости, активной мощности, энергии.

9. Радиоэлектронные измерения.

10. Измерения акустических величин в различных средах (воздушной, твердой, жидкой); периода, частоты периодического процесса, длины волны, звукового давления, скорости звука, звуковой мощности и т. д.

11. Оптические и оптико-физические измерения.

12. Измерения ионизирующих излучений: поглощенной дозы ионизирующего излучения; активности радионуклидов; эквивалентной дозы ионизирующего излучения и т. д.

Контрольные вопросы

1. Что такое область измерений?
2. Что такое виды измерений?
3. Назовите области и виды измерений, применяемые по вашему направлению?

1.3. Шкалы измерений

Шкала (значений) величины; шкала измерений – упорядоченная совокупность значений величины, служащая исходной основой для измерений данной величины. Пример: международная температурная шкала, состоящая из ряда реперных точек, значения которых приняты по соглашению между странами Метрической Конвенции и установлены на основании точных измерений, предназначена служить исходной основой для измерений температуры.

Суть измерения состоит в том, что текущему состоянию объекта ставится в соответствие некоторое число, порядковый номер или символ (URL: <https://armatool.ru>).

Шкалы также делятся по их силе (рис. 1): чем больше сведений об объекте измерений можно извлечь из результатов измерений по ней. Самыми сильными считаются абсолютные шкалы, самыми слабыми – номинальные.

Иногда исследователи усиливают шкалу. Характерным примером является «оцифровка» номинальных шкал. Качественным признакам присваивают некое их числовое выражение. Это облегчает обработку результатов, особенно компьютерную.

Важно помнить, что оцифровка не придает качественным признакам всех свойств, которыми обладают числа. К такой шкале можно применять операции сравнения, но нельзя – сложения, вычитания и т. п.

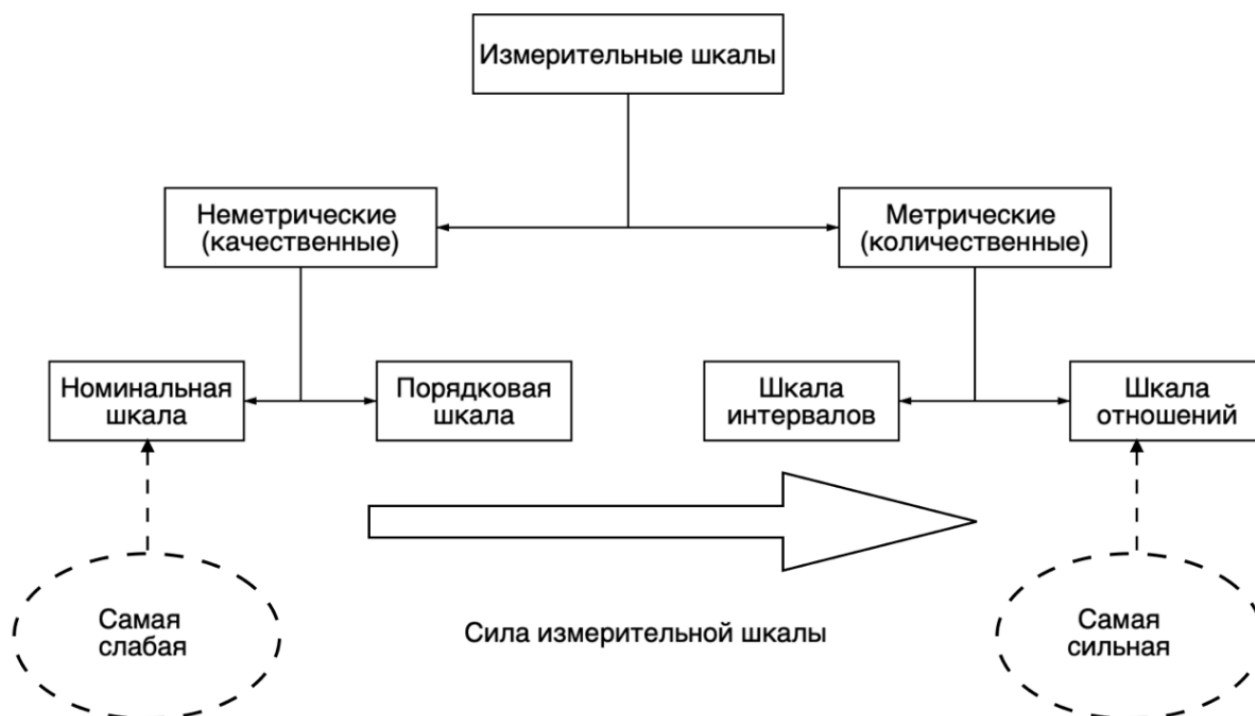


Рис. 1. Классификация измерительных шкал

Различают следующие типы шкал измерений:

– *шкалы наименований (номинальная)*. Они относятся к качественным и отражают те или иные свойства объекта, выраженные словесно. Их элементы могут только совпадать или не совпадать друг с другом, их нельзя сопоставлять по принципу «больше-меньше». Недопустимы также и арифметические действия. Такие шкалы характеризуются оценкой (отношением) эквивалентности различных качественных проявлений свойства (URL: <http://docme.ru>).

Это самый простой тип шкал. Пример шкалы наименований: шкалы цветов (атлас цветов). Характерным примером может служить группа крови. Первая группа не больше третьей и не может быть сложена с четвертой (URL: <https://armatool.ru>). При большом числе классов используют иерархические шкалы наименований.

Наиболее известными примерами таких шкал являются шкалы, используемые для классификации животных и растений. С величинами, измеряемыми в шкале наименований, можно выполнять только одну операцию – проверку их совпадения или несовпадения:

– *шкалы порядка*. Описывают свойства величин, упорядоченные по возрастанию или убыванию оцениваемого свойства, т. е. позволяют установить отношение больше/меньше между величинами, характеризующими это свойство. Принципиальными для них является отсутствие единицы измерения. По ней можно ранжировать и сравнивать объекты по какому-либо признаку, например, расположить людей в строю по росту (URL: <https://armatool.ru>). Примеры шкал порядка: шкалы Мооса измерения твердости, баллов силы ветра, землетрясений;

– *шкалы интервалов (разностей)* описывают свойства величины не только с помощью отношений эквивалентности и порядка, но также и с применением отношений суммирования и пропорциональности интервалов (разностей) между количественными проявлениями свойства. Такая шкала состоит из заранее определенных и равных между собой интервалов. Шкалы интервалов могут иметь условно выбранное начало – *нулевую точку*. К таким шкалам, например, относятся летоисчисление по различным календарям, в которых за начало отсчета принято либо сотворение мира, либо Рождество Христово, температурные шкалы Цельсия, Фаренгейта. Характерным примером такой шкалы измерений может служить принятое у людей исчисление времени. Период оборота Земли вокруг Солнца делится на 365 дней, дни делятся на часы, далее на минуты и секунды. Шкалы интервалов величины Q описываются уравнением (3):

$$Q = Q_0 + q (Q), \quad (3)$$

где q – числовое значение; Q_0 – начало отсчета шкалы; (Q) – единица рассматриваемой величины;

– *шкалы отношений*. Описывают свойства величин, для множества количественных проявлений которых применимы логические отношения эквивалентности, порядка и пропорциональности, а для некоторых шкал также отношения суммирования. В шкалах отношений существует *естественный нуль* и по согласованию устанавливается единица измерения. Точкой начала отсчета является точка, в которой значение параметра равно нулю. Появляется возможность отсчитывать от нее абсолютное значение параметра, определять разницы значений и во сколько раз одно больше другого. Характерный пример – температурная шкала Кельвина. За начало отчета взята точка «абсолютного нуля», при которой прекращается тепловое движение материи. Второй опорной точкой выбрана температура таяния льда при нормальном давлении. Разница между этими точками по Цельсию составляет 273°C , и один градус Кельвина равен одному градусу Цельсия. Таким образом, можно сказать, что лед тает при 273K . Шкалы отношений описываются уравнением (4):

$$Q = q (Q), \quad (4)$$

где Q – физическая величина, для которой строится шкала.

Шкала отношений – наиболее информативная. На ней возможны все арифметические операции – сложение, вычитание, умножение, деление. Шкала отношений является наиболее совершенной. По ней можно определить не только, на сколько один размер больше другого, но и во сколько раз он больше или меньше;

– *абсолютные шкалы*, кроме всех признаков шкал отношений обладают дополнительным признаком: в них присутствует однозначное определение единицы измерения. Абсолютная шкала занимает высшую ступень в шкальной иерархии. Единицы их естественные и не основаны на соглашениях и допущениях. Кроме того, эти единицы не имеют размерности, не служат производными системы СИ или какой-либо другой. Они всегда безразмерны: разы, проценты, доли.

Шкалы интервалов и отношений называются обычно *метрическими*, а шкалы наименований и порядка – *неметрическими*.

Контрольные вопросы

1. Что такое шкала измерений?
2. Назовите типы шкал измерений. Примеры.
3. По какой шкале определяется температура в градусах Цельсия и температура в градусах Кельвина? Почему?
4. Что такое абсолютная шкала?
5. Какая шкала наиболее совершенная?

1.4. Классификация измерений

Все измерения классифицируют:

- по способу получения информации;
- по характеристике точности;
- по характеру изменения измеряемой величины в процессе измерения;
- по количеству измерительной информации;
- по отношению к основным единицам.

По способу получения информации измерения разделяются на:

1) *прямые*, при которых искомое значение величины получают непосредственно от средства измерений. Примечание: термин «прямое измерение» возник как противоположный термину «косвенное измерение». Строго говоря, измерение всегда прямое и рассматривается как сравнение величины с ее единицей или шкалой.

В этом случае лучше применять термин «прямой метод измерений». В основу разделения измерений на прямые, косвенные, совместные и совокупные может быть положен вид модели измерений. Граница между косвенными и прямыми измерениями размыта, поскольку большинство измерений в

метрологии относится к косвенным, поскольку подразумевает учет влияющих факторов, введение поправок и т. д.

Примеры: 1. Измерение длины детали микрометром. 2. Измерение силы тока амперметром. 3. Измерение массы на весах.

Уравнение прямого измерения (5):

$$Q = q[Q], \quad (5)$$

где $[Q]$ – единица измеряемой величины; q – ее числовое значение;

2) *косвенные*, при которых искомое значение величины определяют на основании результатов прямых измерений других величин, функционально связанных с искомой величиной. Пример: определение плотности тела цилиндрической формы по результатам прямых измерений массы, высоты и диаметра цилиндра, связанных с плотностью. Примечание: во многих случаях вместо термина «косвенное измерение» применяют термин «косвенный метод измерений».

Пример: определение площади, объема, электрической мощности методом измерения силы тока и напряжения U , коэффициента полезного действия;

3) *совокупные* – проводимые одновременно измерения нескольких одноименных величин, при которых искомые значения величин определяют путем решения системы уравнений, получаемых при измерениях этих величин в различных сочетаниях. Примечание: для определения значений искомых величин число уравнений должно быть не меньше числа величин. Как правило, в модели совокупных измерений несколько выходных величин. Пример: значение массы отдельных гирь набора определяют по известному значению массы одной из гирь и по результатам измерений (сравнений) масс различных сочетаний гирь;

4) *совместные* – проводимые одновременно измерения двух или нескольких не одноименных величин для определения зависимости между ними. Примечание: как правило, модель совместных измерений объединяет параметрическую зависимость между измеряемыми величинами и алгоритм оценки параметров данной зависимости на основе результатов измерений.

По характеристике точности различают:

1. *Равноточные* – ряд измерений какой-либо величины, выполненных одинаковыми по точности СИ и в одних и тех же условиях.

2. *Неравноточные* – ряд измерений какой-либо величины, выполненных несколькими различными по точности СИ и (или) в нескольких разных условиях. Неравноточные измерения проводят с целью получения результата измерения только в том случае, когда ряд равноточных результатов получить невозможно.

По характеру изменения получаемой информации в процессе измерений измерения подразделяются на:

1) *статическое* – измерение величины, принимаемой в соответствии с конкретной измерительной задачей за неизменную на протяжении времени измерения;

2) *динамическое*, при котором средства измерений используют в динамическом режиме. *Динамический режим* использования средства измерений) – режим использования средства измерений, связанный с изменениями условий (факторов) за время проведения измерительного эксперимента, которые влияют на результат измерения (оценку измеряемой величины), в том числе изменение измеряемой величины за время измерения.

По количеству измерительной информации измерения делятся на:

1) *однократные* – выполненное один раз. При однократных измерениях показания СИ являются результатом измерений, погрешность используемого СИ определяет погрешность результата измерений;

2) *многократные* – измерения одного и того же размера величины, результат которых получен из нескольких, следующих друг за другом, измерений. Применение многократных измерений позволяет повысить точность измерения до определенного предела.

По отношению к основным единицам измерения делятся на:

абсолютные – основанные на прямых измерениях одной или нескольких основных величин и (или) использовании значений физических констант. Пример: измерение силы основано на измерении основной величины – массы и использовании физической постоянной (в точке измерения массы) или определение массы в килограммах, частоты – в герцах;

относительные – измерение отношения одноименных величин или функций этого отношения. Пример: измерение активности радионуклида в источнике по отношению к активности радионуклида в однотипном источнике, аттестованном в качестве эталонной меры активности или измерение относительной влажности, которая выражается в процентах;

погрешность (результата измерения) – разность между измеренным и опорным значением величины. Если опорное значение известно, как, например, при калибровке средств измерений, то известно и значение погрешности измерения. Если в качестве опорного значения выступает истинное значение величины, то значение погрешности неизвестно. Погрешность измерения равна сумме случайной и систематической погрешностей.

Опорное значение (величины) – используют в качестве основы для сопоставления со значениями величин того же рода. Опорное значение может быть истинным значением величины, подлежащей измерению, в этом случае оно неизвестно, или принятым значением величины, в этом случае оно известно.

Опорное значение величины со связанной с ним неопределенностью (погрешностью) измерений обычно приводят для:

- материала, например, аттестованного стандартного образца;
- устройства, например, стабилизированного лазера;
- референтной методики измерений;
- сличения эталонов.

Истинное значение (величины) – соответствует определению измеряемой величины. Определение измеряемой величины включает принятие некоторой модели объекта измерения, в которой истинное значение представлено неким параметром. Всегда существует пороговое несоответствие модели и объекта измерения, которое является причиной дефинициальной неопределенности измеряемой величины. Когда дефинициальная неопределенность, связанная с измеряемой величиной, считается пренебрежимо малой по сравнению с остальными составляющими неопределенности измерений, измеряемая величина может рассматриваться как имеющая «по сути единственное» истинное значение. Такой подход принят в «Руководстве по выражению неопределенности в измерениях» (GUM), которое разработал Объединенный комитет руководств по метрологии (JCGM), и в связанных с ним документах, где слово «истинный» считается излишним. Существуют подходы оценивания точности измерений, которые избегают понятия истинного значения величины и опираются на понятие метрологической совместимости результатов измерения.

Погрешность средства измерения – разность между показанием средства измерений и известным опорным (действительным) значением величины.

Приведенная погрешность (средства измерений) – погрешность средства измерений, выраженная отношением абсолютной погрешности средства измерений к нормирующему значению величины. Часто за нормирующее значение принимают максимальное значение диапазона измерений или разность между максимальным и минимальным значениями диапазона измерений. Приведенную погрешность обычно выражают в процентах.

Максимальная допускаемая погрешность (измерения) – максимальное значение погрешности измерения (без учета знака), разрешенное спецификацией или нормативными документами для данного измерения. Погрешность измерений представляет собой сумму *целого ряда составляющих*: систематическая, случайная, инструментальная, грубая, погрешность метода и т. д.

Систематическая погрешность (измерения) – составляющая погрешности измерения, остающаяся постоянной или же закономерно изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же величины.

Случайная погрешность (измерения) – составляющая погрешности измерения, изменяющаяся случайным образом (по знаку и значению) при повторных измерениях, проведенных в определенных условиях.

Погрешность метода (измерений) – составляющая погрешности измерений, обусловленная несовершенством принятого метода измерений.

Инструментальная погрешность (измерения) – составляющая погрешности измерения, обусловленная погрешностью применяемого средства измерений.

Грубая погрешность (промахи) – согласно ГОСТ Р 8.736-2011 это погрешность измерения, существенно превышающая зависящие от объективных условий измерений значения систематической и случайной погрешностей [10].

Погрешности могут быть по форме представления абсолютными или относительными.

Абсолютная погрешность (измерения) – погрешность измерения, выраженная в единицах измеряемой величины.

Относительная погрешность (измерения) – погрешность измерения, выраженная отношением абсолютной погрешности измерения к опорному значению измеряемой величины.

Воспроизводимость (измерений) – прецизионность измерений в условиях воспроизводимости измерений.

Условия воспроизводимости (измерений) – один из наборов условий измерений, включающий разные местоположения, разные средства измерений, участие разных операторов и выполнение повторных измерений на одном и том же или аналогичных объектах. В исключительных случаях, разные средства измерений могут применяться в соответствии с разными методиками измерений. Описание условий должно включать все условия, изменяемые и неизменяемые, насколько это оправдано практически.

Точность измерений, *точность результата измерения* – близость измеренного значения к истинному значению измеряемой величины. Понятие точность измерений описывает качество измерений в целом, объединяя понятия правильность и прецизионность измерений. Высокая точность измерений соответствует малым величинам погрешностей измерения.

По ГОСТ Р ИСО 5725-1-2002 *точность* – степень близости результата измерений к принятому опорному значению.

Действительное значение (величины) – значение величины, полученное экспериментальным путем и настолько близкое к истинному значению, что в поставленной измерительной задаче может быть использовано вместо него.

В 2002 г. в России введены в действие государственные стандарт 2002 части 1–6 «Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений», которые являются прямым применением шести частей основополагающего Международного стандарта ИСО 5725. Эти стандарты используются в практической деятельности при разработке, аттестации и применении методик выполнения измерений, стандартизации методик контроля (испытаний, измерений, анализа), испытаниях продукции, в том числе для целей подтверждения соответствия, оценки компетентности испытательных лабораторий согласно требованиям ГОСТ Р ИСО МЭК 17025-2009 [3].

Внедрение стандартов ГОСТ Р ИСО 5725 направлено на более эффективную реализацию требований Российской государственной системы

стандартизации при разработке стандартов на методы для контроля продукции различных отраслей промышленности.

Стандарты ИСО 5725 могут применяться для оценки точности выполнения измерений различных величин. В этом стандарте вместо термина «действительное значение» введен термин «принятое опорное значение», который рекомендуется для использования в практике.

По ГОСТ Р ИСО 5727, *принятое опорное значение* – значение, которое служит в качестве согласованного для сравнения и получено как:

а) теоретическое или установленное значение, базирующееся на научных принципах;

б) приписанное или аттестованное значение, базирующееся на экспериментальных работах какой-либо национальной или международной организации;

с) согласованное или аттестованное значение, базирующееся на совместных экспериментальных работах под руководством научной или инженерной группы;

д) математическое ожидание измеряемой характеристики, т. е. среднее значение заданной совокупности результатов измерений, лишь в случае, когда а), б) и с) недоступны (ИСО 3534-1 [4]).

В отечественной метрологии погрешность результатов измерений, как правило, определяется сравнением результата измерений с истинным или действительным значением измеряемой физической величины (являющимися фактически эталонными значениями измеряемых величин, выраженными в узаконенных единицах).

В условиях отсутствия необходимых эталонов, обеспечивающих воспроизведение, хранение и передачу соответствующих значений величин, необходимых для определения погрешности (точности) результатов измерений, и в отечественной, и в международной практике за действительное зачастую принимают общее среднее значение (математическое ожидание) заданной совокупности результатов измерений, выражаемое в отдельных случаях в условных единицах. Эта ситуация и отражена в термине «принятое опорное значение» ГОСТ Р ИСО 5725-1 и рекомендуется для использования в отечественной практике.

Правильность (измерений) – близость среднего арифметического бесконечно большого числа повторно измеренных значений величины к ее опорному значению. Правильность измерений не является величиной, и поэтому не может быть выражена численно, однако соответствующие показатели приведены в ISO 5725. Правильность измерений отражает близость к нулю систематической погрешности измерений

Прецизионность (измерений) – близость между показаниями или измеренными значениями величины, полученными при повторных измерениях для одного и того же или аналогичных объектов при заданных условиях. «Заданные условия» могут быть, например, условиями повторяемости

измерений, условиями промежуточной прецизионности измерений или условиями воспроизводимости измерений (см. ISO 5725-1). Понятие прецизионности измерений используется для определения понятий повторяемости измерений, промежуточной прецизионности измерений и воспроизводимости измерений. Прецизионность измерений характеризует близость к нулю случайной погрешности измерений.

Условия повторяемости (измерений) – один из наборов условий измерений, включающий применение одной и той же методики измерений, того же средства измерений, участие тех же операторов, те же рабочие условия, то же местоположение и выполнение повторных измерений на одном и том же или подобных объектах в течение короткого промежутка времени. Наряду с термином условия повторяемости измерений используется термин «условия сходимости измерений» (условия сходимости).

Повторяемость измерений – прецизионность измерений в условиях их повторяемости. Наряду с термином «повторяемость измерений» используется термин «сходимость измерений».

Контрольные вопросы

1. Что такое прямое и косвенное измерения?
2. Что такое статическое и динамическое измерения?
3. Что такое опорное значение величины?
4. Что такое погрешность?
5. Что такое максимальная допускаемая погрешность?
6. Что такое случайная погрешность?
7. Что такое систематическая погрешность?
8. Что такое грубая погрешность?

2. ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

2.1. Средства измерений, их классификация

Технические измерения – это измерения при помощи рабочих средств измерений. Они удовлетворяют требованиям единства измерений, т. е. результат бывает получен с известной погрешностью и вероятностью, записывается в установленных единицах физических величин с определенным количеством значащих цифр (URL: <http://intuit.ru>). Выполняются при помощи средств измерений с назначенным классом точности, прошедших поверку или калибровку в метрологической службе. Средство измерений, прошедшее калибровку или поверку, называют рабочим средством измерений.

Метрологические измерения – измерения при помощи эталонов и образцовых средств измерений. Метрологические измерения не просто удовлетворяют требованиям единства измерений, а являются одним из средств обеспечения единства измерений. Выполняются с целью воспроизведения единиц физических величин для передачи их размера образцовым и рабочим средствам измерений. Метрологические измерения выполняет метрологическая служба в стандартных условиях, сертифицированным персоналом (URL: <http://intuit.ru>).

Средства измерительной техники – обобщающее понятие, охватывающее технические средства, специально предназначенные для измерений. К средствам измерительной техники относят средства измерений, эталоны, измерительные системы, установки, принадлежности, средства сравнения, стандартные образцы и др.

Средство измерений – техническое средство, предназначенное для измерений и имеющее нормированные (установленные) метрологические характеристики. Есть еще одно определение средства измерений – техническое средство, предназначенное для измерений (определение по 102-ФЗ от 26.06.2008г.).

Метрологические свойства и метрологические характеристики средств измерений

Метрологические свойства СИ – это свойства, влияющие на результат измерений и его погрешность. Показатели метрологических свойств являются их количественной характеристикой и называются *метрологическими характеристиками*.

Метрологическая характеристика (средства измерений) (МХ) – характеристика одного из свойств средства измерений, влияющая на результат измерений. Для каждого типа средств измерений устанавливают свои метрологические характеристики.

Нормируемые метрологические характеристики (типа средства измерений) (НМХ) согласно РМГ-29-2013 – совокупность метрологических характеристик данного типа средств измерений, устанавливаемая нормативными

документами на средства измерений. ГОСТ 8.009-84 «Нормируемые метрологические характеристики средств измерений» распространяется на средства измерений и устанавливает номенклатуру метрологических характеристик (МХ), правила выбора комплексов нормируемых МХ (НМ X) для конкретных типов средств измерений и способы нормирования МХ в нормативно-технических документах (НТД) на средства измерений: в стандартах общих технических условий и стандартах общих технических требований на средства измерений; стандартах технических условий и стандартах технических требований на средства измерений; в технических условиях на средства измерений; в технических заданиях на разработку средств измерений [44]. ГОСТ 8.009 не распространяется на эталоны, поверочные установки и средства измерений, разработанные как образцовые.

К нормируемым метрологическим характеристикам согласно РМГ-29-2013 относятся:

Точность (средства измерений) – качество средства измерений, отражающее близость к нулю его погрешности. Считается, что чем меньше погрешность, тем точнее средство измерений.

Класс точности – обобщенная характеристика данного типа средств измерений, как правило, отражающая их уровень точности и выражаемая точностными характеристиками средств измерений. Класс точности обычно обозначается числом или символом, принятым по соглашению. Класс точности дает возможность судить о значениях инструментальных погрешностей или инструментальных неопределенностей средств измерений данного типа при выполнении измерений. Класс точности применяется и к материальным мерам.

Погрешность средства измерений – разность между показанием средства измерений и известным опорным (действительным) значением величины.

Предел допускаемой погрешности (средства измерений) – наибольшее значение погрешности средства измерений (без учета знака), устанавливаемое нормативным документом для данного типа средств измерений, при котором оно еще признается метрологически исправным.

Обычно устанавливают пределы допускаемой погрешности, т. е. нижнюю и верхнюю границы интервала, за которые не должна выходить погрешность.

Систематическая погрешность средства измерений – составляющая погрешности средства измерений, принимаемая за постоянную или закономерно изменяющуюся. Систематическая погрешность данного средства измерений, как правило, будет отличаться от систематической погрешности другого экземпляра средства измерений этого же типа, вследствие чего для группы однотипных средств измерений систематическая погрешность может иногда рассматриваться как случайная погрешность.

Шкала средства измерений (рис. 2), шкала (измерительного прибора) – часть средства измерений, представляющая собой упорядоченный набор меток вместе со значениями соответствующей величины:

- *отметка шкалы* – знак на шкале, соответствующий некоторому значению измеряемой величины;
- *цена деления (шкалы)* – разность значений величины, соответствующих двум соседним отметкам шкалы средства измерений;
- *длина шкалы* – длина линии, проходящей через центры всех самых коротких отметок шкалы средства измерений и ограниченной начальной и конечной метками. Линия может быть реальной или воображаемой, кривой или прямой. Длина шкалы выражается в единицах длины независимо от единиц, указанных на шкале *длина деления шкалы* – расстояние между осями (или центрами) двух соседних отметок шкалы;
- *показание* – значение величины, формируемое средством измерений или измерительной системой. Показание часто представляется в виде позиции указателя на дисплее для аналоговых выходов, отображенного или напечатанного числа для цифровых выходов, кодовой комбинации для кодовых выходных сигналов или приписанного значения величины для материальных мер. Показание и соответствующее значение измеряемой величины не обязательно являются значениями величин одного рода;
- *диапазон показаний* – область значений шкалы измерительного прибора, ограниченная начальным и конечным значениями шкалы.

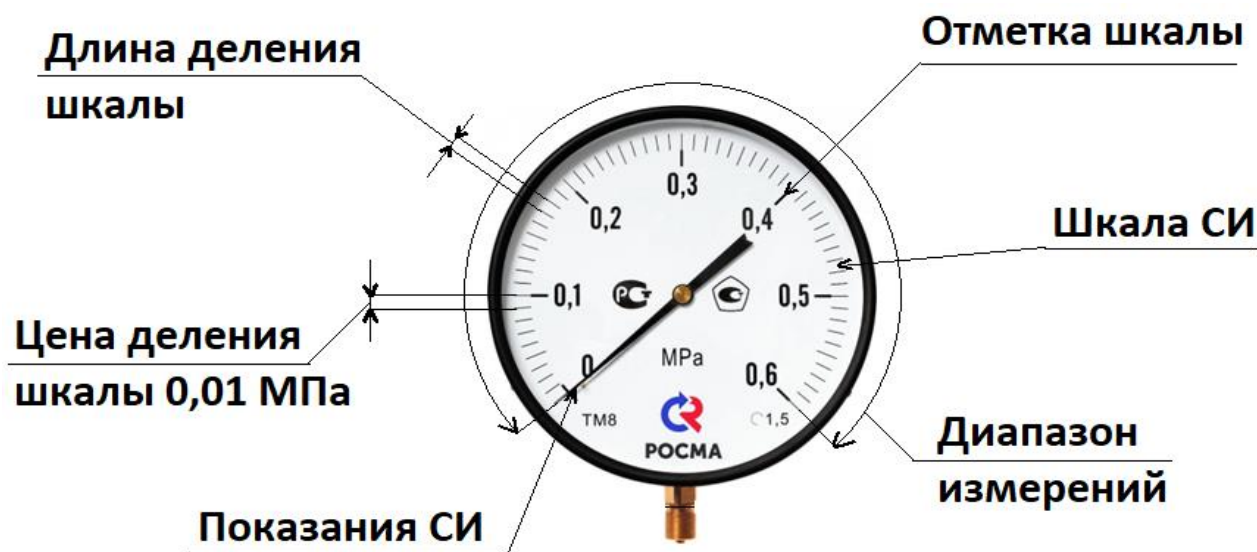


Рис. 2. Шкала средства измерения

Номинальное значение величины – округленное или приближенное значение величины, приписанное средству измерений, которым следует руководствоваться при его применении. Пример: резисторы с номинальным значением 1 Ом, гиря с номинальным значением 1 кг, минус 20 °С как максимальная температура по Цельсию при хранении. Нередко номинальное значение указывают на мере.

Диапазон измерений; рабочий диапазон – множество значений величин одного рода, которые могут быть измерены данным средством измерений или измерительной системой с указанными инструментальной неопределенностью или указанными показателями точности при определенных условиях.

Чувствительность (средства измерений) – отношение изменения показаний средства измерения к вызывающему его изменению измеряемой величины. Различают абсолютную и относительную чувствительность.

Порог чувствительности (средства измерений) – наименьшее значение изменения величины, начиная с которого может осуществляться ее измерение данным средством измерения. Если самое незначительное изменение массы, которое вызывает перемещение стрелки весов, составляет 10 мг, то порог чувствительности весов равен 10 мг. Он может зависеть от шума и значения измеряемой величины.

Нормальные условия (измерений) – условия измерений, предписанные для оценивания характеристик средства измерений или измерительной системы, или для сравнения результатов измерений. Нормальные условия измерений характеризуются нормальной областью значений влияющих величин. Нормальные условия измерений устанавливаются в нормативных документах на средства измерений конкретного типа или при их поверке (калибровке). Погрешность средства измерений в нормальных условиях называют основной погрешностью средства измерений. Нормальные условия относятся к условиям измерений, при которых установленная инструментальная неопределенность или погрешность будет наименьшей.

Например, нормальные условия выполнения линейных и угловых измерений описаны в ГОСТ 8.050 [30]. Настоящий стандарт устанавливает требования к нормальным условиям выполнения линейных измерений в пределах от 1 до 500 мм и измерений углов с длиной меньшей стороны до 500 мм. Требования, установленные настоящим стандартом, рекомендуются для применения при проектировании, разработке и выполнении процессов измерения объектов, не имеющих внутренних источников тепла.

Нормальные условия должны обеспечиваться при измерениях для практического исключения дополнительных погрешностей. Нормальные значения основных влияющих величин:

- температура окружающей среды 20°C (по ГОСТ 9249–59);
- атмосферное давление 101324,72 Па (760 мм рт. ст.);
- относительная влажность окружающего воздуха 58 % (нормальное парциальное давление водяных паров 1333,22 Па);
- ускорение свободного падения (ускорение силы тяжести) 9,8 м/с²;
- направление линии измерения линейных размеров до 160 мм у наружных поверхностей – вертикальное, в остальных случаях – горизонтальное;
- положение плоскости измерения углов — горизонтальное;
- относительная скорость движения внешней среды равна нулю;

– значения внешних сил, кроме силы тяжести, атмосферного давления, действия магнитного поля Земли и сил сцепления элементов измерительной системы (установки), равны нулю.

Также в ГОСТ 8.050 описаны требования к нормальным условиям выполнения линейных и угловых измерений и нормальные пределы значений влияющих величин.

По техническому назначению СИ подразделяют на меры, измерительные приборы, измерительные преобразователи, измерительные установки, измерительные системы и измерительно-вычислительные комплексы.

Мера (материальная) – средство измерений, которое воспроизводит в процессе использования или постоянно хранит величины одного или более данных родов, с приписанными им значениями. Пример: эталонная гиря, мера вместимости (которая сохраняет одно или несколько значений величины, со шкалой значений величины или без нее), эталонный резистор, линейная шкала (линейка), концевая мера длины, эталонный генератор сигналов, меры твердости (минералы различной твердости по шкале Мооса), аттестованный стандартный образец. Материальная мера может быть эталоном.

Различают меры: *однозначные* (гиря 1 кг; калибр); *многозначные* (масштабная линейка); *наборы мер* (набор гирь, набор калибров). Набор мер, конструктивно объединенных в единое устройство, называется *магазином мер*. Сравнение с мерой выполняют с помощью специальных технических средств – *компараторов* (рычажные весы, измерительный мост и т. д.).

Измерительный преобразователь (ИП) – средство измерений или его часть, служащее для получения и преобразования информации об измеряемой величине в форму, удобную для обработки, хранения, дальнейших преобразований, индикации или передачи. Термопара, трансформатор электрического тока, тензодатчик, электрод для измерения pH, трубка Бурдона, биметаллическая пластина.

Измерительный прибор – средство измерений, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия. Пример: вольтметр, микрометр, термометр, электронные весы.

Измерительный прибор, в котором сигнал измерительной информации представлен в визуальной форме, называют показывающим измерительным прибором. Сигнал измерительной информации может быть представлен в визуальной, звуковой или другой заданной форме. Он также может быть передан одному или нескольким другим средствам измерений. Измерительный прибор может быть эталоном.

По степени индикации измеряемой величины измерительные приборы подразделяют на *показывающие* и *регистрирующие*. Показывающий прибор допускает только отсчитывание показаний измеряемой величины (микрометр, манометр и др.). В регистрирующем приборе предусмотрена регистрация показаний – в форме диаграммы или нанесения на какой-либо носитель.

Группа средств измерений – совокупность средств измерений, поверяемых с помощью одного комплекта средств поверки. Группа средств измерений определяется составом эталонов, с помощью которых осуществляется передача размера величины. Вспомогательное оборудование при этом не учитывается.

Средства измерений длин и углов в зависимости от физического принципа, положенного в основу построения измерительного преобразователя прибора, подразделяют на следующие группы:

- штриховые (имеют линейную или угловую шкалу и нониус – штангенинструменты, угломеры);
- микрометрические (основаны на использовании винтовой пары – микрометры);
- рычажно-механические (индикаторы часового типа, рычажные скобы);
- рычажно-оптические (оптиметры);
- оптико-механические (проекторы, инструментальные микроскопы и т. п.);
- пневматические (основаны на применении сжатого воздуха);
- гидравлические;
- электрические и электронные;
- комбинированные (основаны на использовании различных принципов).

Установка (измерительная): совокупность функционально объединенных и расположенных в одном месте мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей и других устройств, предназначенная для измерений одной или нескольких величин. Измерительную установку, применяемую для поверки, называют поверочной установкой. Измерительную установку, входящую в состав эталона, называют эталонной установкой.

Измерительная система (ИС) – совокупность средств измерений и других средств измерительной техники, размещенных в разных точках объекта измерения, функционально объединенных с целью измерений одной или нескольких величин, свойственных этому объекту. Примеры: 1) измерительная система теплоэлектростанции, позволяющая получать измерительную информацию о ряде величин в разных энергоблоках. Она может содержать сотни измерительных каналов; 2) радионавигационная система для определения местоположения различных объектов, состоящая из ряда измерительно-вычислительных комплексов, разнесенных в пространстве на значительное расстояние друг от друга. Измерительная система в зависимости от решаемой измерительной задачи может рассматриваться как единое средство измерений.

По положению в поверочной системе согласно ГОСТ 8.061 [5] все СИ подразделяются на три вида – *рабочие СИ, образцовые СИ и эталоны.*

Поверочная схема – это иерархическая структура, устанавливающая соподчинение эталонов, участвующих в передаче единицы или шкалы измерений от исходного эталона средствам измерений (с указанием методов и погрешностей при передаче), утверждаемая в установленном порядке в виде нормативного документа.

Примечание. Поверочная схема может быть использована для установления метрологической прослеживаемости результатов измерений.

Рабочие СИ (РСИ) – это средство измерений, предназначенное для измерений, не связанных с передачей размера единицы другим средствам измерений. По условиям применения они могут быть (Основы расчета и конструирования машин и аппаратов. URL: <http://elibrary.ru>):

- 1) лабораторными, используемыми при научных исследованиях, медицинских измерениях и пр.;
- 2) производственными, используемыми для контроля характеристик технологических процессов, качества готовой продукции и пр.;
- 3) полевыми, работающими в условиях постоянно изменяющихся в широких пределах внешних воздействий.

К каждому виду РСИ предъявляются специфические требования: к лабораторным – повышенная точность, чувствительность и стабильность; к производственным – повышенная стойкость к ударно-вибрационным нагрузкам, высоким и низким температурам, влажности и пыли.

Образцовые СИ – предназначены для поверки и градуировки рабочих средств измерений. Верхний предел измерений образцовых СИ должен быть больше или равен верхнему пределу измерений поверяемого прибора. Допускаемая погрешность образцовых СИ должна быть значительно меньше (в 4–5 раз) допускаемой погрешности испытываемого прибора.

Особым средством измерений является эталон.

Эталон (единицы величины или шкалы измерений) – средство измерительной техники, предназначенное для воспроизведения, хранения и передачи единицы величины или шкалы измерений. Реализация определения данной величины может обеспечиваться средством измерения, материальной мерой или стандартным образцом. Метрологические характеристики эталона аналогичны метрологическим характеристикам средств измерений (например, характеристики точности).

Различают эталоны: первичные; вторичные; рабочие.

Первичный эталон – основан на использовании первичной референтной методики измерений или создан как артефакт, выбранный по соглашению. Первичный эталон обеспечивает воспроизведение единицы или шкалы измерений с наивысшей точностью. Метрологические свойства первичных эталонов единиц величин устанавливают независимо от других эталонов единиц этих же величин.

Вторичный эталон – получает единицу величины или шкалу измерений непосредственно от первичного эталона данной единицы или шкалы.

Рабочий эталон – предназначен для передачи единицы величины или шкалы измерений средствам измерений. При необходимости рабочие эталоны подразделяют на разряды (1-й, 2-й, ..., n-й). В этом случае передачу единицы осуществляют через цепочку соподчиненных по разрядам рабочих эталонов. При

этом от последнего рабочего эталона в этой цепочке единицу передают средству измерений.

Общие требования к эталонам изложены в ГОСТ 8.057-80 «ГСИ. Эталоны единиц физических величин. Основные положения» [6].

Контрольные вопросы

1. Что такое технические измерения?
2. Что такое метрологические измерения?
3. Что такое средство измерений?
4. Что такое нормируемые метрологические характеристики?
5. Что такое класс точности средства измерения?
6. Что такое предел допускаемой погрешности средства измерений?
7. Что такое систематическая погрешность средства измерений?
8. Что такое шкала средства измерений?
9. Что такое нормальные условия измерений?
10. Что такое рабочие СИ?
11. Что такое эталон и для чего он служит?

2.2. Описание средств измерений

2.2.1 Средства измерения геометрических величин

Линейка измерительная металлическая

ГОСТ 427-75 Линейки измерительные металлические. Технические условия [7]. Линейки (рис. 3) должны изготавливаться со следующими пределами измерений: 150; 300; 500; 1000; 1500; 2000; 3000 мм.

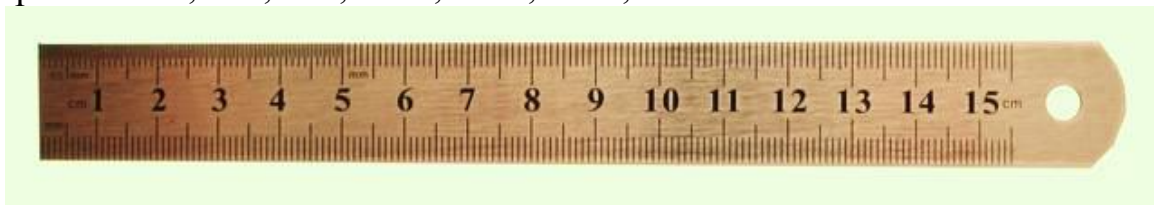


Рис. 3. Линейка

Линейки должны изготавливаться с двумя шкалами, с одной шкалой, а также с двумя шкалами, оцифровка которых направлена в противоположные стороны.

Основные размеры линеек, штрихов и числовых обозначений должны соответствовать указанным в табл. 1.

Отклонения от номинальных значений длины шкалы и расстояний между любым штрихом и началом или концом шкалы не должны превышать значений, указанных в табл. 1.

Пример условного обозначения измерительной линейки с пределом измерения 300 мм:

Линейка – 300 – ГОСТ 427-75.

То же, с пределом измерения 1000 мм с двумя шкалами:

Линейка – 1000 – ГОСТ 427-75.

Таблица 1

Общая длина шкалы и расстояние между любым штрихом и началом или концом шкалы, мм				Допускаемые отклонения, мм
До	300			$\pm 0,10$
Свыше	300	до	500	$\pm 0,15$
"	500	"	1000	$\pm 0,20$
"	1000	"	1500	$\pm 0,25$
"	1500	"	2000	$\pm 0,30$
"	2000	"	3000	$\pm 0,60$

Рулетка измерительная металлическая

Рулетки измерительные металлические (рис. 4) согласно ГОСТ 7502-89 Рулетки измерительные металлические. Технические условия [8] предназначены для измерения линейных размеров непосредственным сравнением со шкалой рулетки. Допускаемые отклонения действительной длины указаны в табл. 2.

Рулетки изготавливают со шкалами номинальной длины: 1, 2, 3, 5, 10, 20, 30, 50, 100 м. По заказу потребителя рулетки изготавливают со шкалами иной длины, кратной 5.

Рулетки изготавливают с лентами из: нержавеющей стали (в условном обозначении рулетки Н); углеродистой стали с защитным антикоррозионным покрытием (в условном обозначении рулетки У).

Вытяжные концы лент рулетки изготавливают: с кольцом (в условном обозначении рулетки К); с держателем для закрепления на предмете, подлежащем измерению (в условном обозначении рулетки Д); с грузом (в условном обозначении рулетки Г); с прямоугольным торцом (в условном обозначении рулетки П).

Условное обозначение рулеток должно состоять из номинальной длины шкалы, материала ленты, класса точности, конструктивного исполнения вытяжного конца ленты и обозначения настоящего стандарта.

Примеры условного обозначения:

– рулетки с номинальной длиной шкалы 30 м, лентой из нержавеющей стали, 2-го класса точности, с кольцом на вытяжном конце ленты:

Р30Н2К ГОСТ 7502-89;

– то же с номинальной длиной шкалы 5 м, лентой из углеродистой стали, 3-го класса точности, с прямоугольным торцом на вытяжном конце ленты:
Р5УЗП ГОСТ 7502-89.



Рис. 4. Рулетка

Таблица 2

Наименование элемента шкалы	Допускаемое отклонение действительной длины, мм, не более, для классов точности (L – число полных и неполных метров в отрезке)	
	2	3
Миллиметровый интервал	$\pm 0,15$	$\pm 0,20$
Сантиметровый интервал	$\pm 0,20$	$\pm 0,30$
Дециметровый интервал	$\pm 0,30$	$\pm 0,40$
Отрезок шкалы 1 м и более	$\pm 0,30 + 0,15(L-1)$	$\pm 0,40 + 0,20(L-1)$

Дальномер, «лазерная рулетка» (с угломером)

Дальномер или лазерная рулетка (рис. 5) появилась относительно недавно, так как раньше была довольно дорога и сложна в использовании. И по сей день она не является единственным прибором для измерения непосредственно расстояний на объекте. Удобно использовать на коротких расстояниях и в помещениях. В уличных условиях применяется не часто, так как необходимо иметь поверхность, на которую можно навести лазерный луч. Также минус многих моделей без оптического визира – плохая видимость лазерной точки на ярко освещенных поверхностях.



Рис. 5. Дальномер

Лазерные рулетки используются повсеместно кадастровыми инженерами и геодезистами в тех случаях, когда это целесообразно и возможно. Практически все измерения помещений для экспертиз помещений или технических планов без нее не обходятся.

Штангенциркуль

Штангенциркули (рис. 6–7) предназначены для измерения наружных и внутренних линейных размеров. Их изготавливают по ГОСТ 166 [9]. Они могут быть нескольких исполнений: нониусными (значение отсчета по нониусу 0,05 и 0,1 мм), с отчетом по круговой шкале (цена деления 0,02, 0,05, 0,1 мм) и с цифровым электронным отсчетным устройством (шаг дискретности 0,01 мм). Диапазон измерения штангенциркулей по ГОСТ 166 – от 0–125 до 800– 2000 мм. Также выпускаются штангенциркули специальных конструкций, которые от указанных отличаются в основном типом губок.

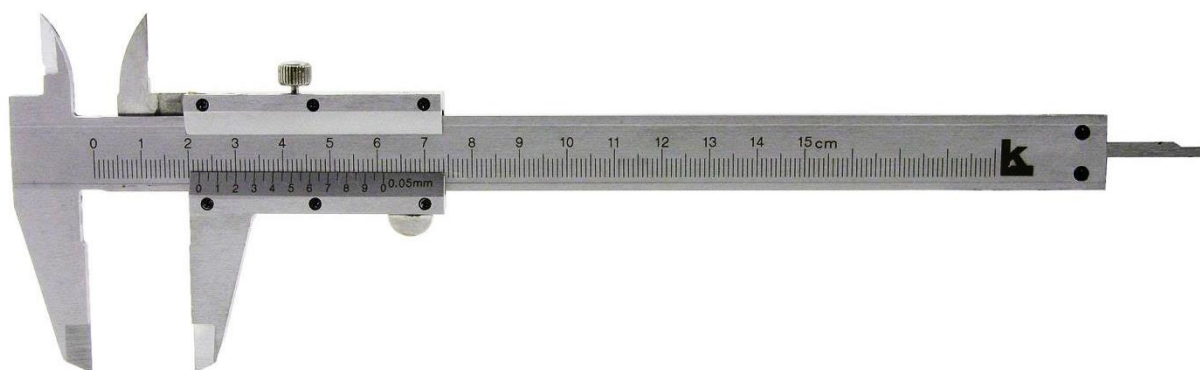


Рис. 6. Штангенциркуль нониусный



Рис. 7. Штангенциркуль с цифровым электронным отсчетным устройством

Штангенглубиномер

Штангенглубиномер (рис. 8–9) – это специальный измерительный инструмент, используемый для определения глубины отверстий, выточных канавок и уступов.



Рис. 8. Штангенглубиномер нониусный



Рис. 9. Штангенглубиномер с цифровым электронным отсчетным устройством

Микрометр

Гладкий микрометр (рис. 10–11) типа МК, изображенный на рис. 10, применяется для измерения наружных размеров плоских и цилиндрических деталей.



Рис. 10. Микрометр гладкий, диапазон измерения 0–25 мм

Кроме гладких микрометров типа МК, для измерения наружных размеров изделий в соответствии с требованиями ГОСТ 6507–90 [11] выпускаются микрометры типов: МЛ – листовые с циферблатом для измерения толщины листов и лент; МТ – трубные для измерения толщины стенок труб; МЗ – зубомерные для контроля длины общей нормали зубчатых колес с модулем от 1 мм; МГ – микрометрические головки; МП – микрометры для проволоки.

Электронный микрометр предназначен для измерения наружных линейных размеров с повышенной точностью. Возможность подключения к компьютеру. Цена деления 0,001 мм.



Рис. 11. Микрометр электронный

Нутромер индикаторный

Индикаторные нутромеры серии «НИ» ГОСТ 868-82 [12] (рис. 12) предназначены для измерения внутренних размеров и диаметров отверстий относительным методом. На необходимый размер инструмент устанавливают при помощи сменных измерительных стержней (шайб, удлинителя) по аттестованным кольцам или по блоку мер длины с боковинами. С его помощью можно определять диаметры от 6 мм и более при погрешности 0,15–0,025 мм. Цена деления прибора составляет 0,01 мм.



Рис. 12. Нутромер индикаторный

Индикатор нутромера оснащен двумя шкалами:

- малой, указывающей количество полных оборотов второй шкалы;
- большой с размером в пределах 1 мм при цене деления 0,01 мм.

Соответственно по количеству делений малой шкалы определяется количество миллиметров, а по большой – доли миллиметра с шагом до 0,01. Движение стержня составляет 10 мм, но может быть увеличено благодаря использованию набора стержней.

Пример обозначения индикаторного нутромера с диапазоном измерений 10–18 мм 1-го класса точности: «Нутромер НИ–10–18–1 ГОСТ 868–82».

Скоба

Скоба (рис. 13) – это специальный измерительный инструмент, предназначенный для точного измерения линейных размеров и внешнего диаметра деталей цилиндрической формы. Технические параметры скоб приведены в табл. 3.

Таблица 3

Тип скоб	Диапазон измерения скоб, мм	Цена деления, не более, мм	Диапазон измерений, не менее, мм	Диапазон перемещения переставной пятки	Количество переставных пяток, шт.
СР	0–25 25–50 50–75 75–100 100–125 125–150	0,002	$\pm 0,14$	25	1
СИ	0–50 50–100	0,01	3	50	1
	100–200 200–300 300–400 400–500 500–600				2
	600–700				2
	700–850 850–1000				3
СРП	0–25 25–50	0,001	$\pm 0,07$	25	1

Скобы с отсчетным устройством должны изготавливаться трех типов:

- СРП – рычажные, повышенной точности, со встроенным в корпус отсчетным устройством;
- СР – рычажные, со встроенным в корпус отсчетным устройством;
- СИ – индикаторные, оснащенные измерительными головками.

Пример условного обозначения рычажной скобы, повышенной точности с диапазоном измерения 25–50 мм согласно ГОСТ 11098-75 [13]:

Скоба СРП 50 ГОСТ 11098–75.

То же, рычажной скобы с диапазоном измерения 50-75:

Скоба СР 50 ГОСТ 11098–75.



Рис. 13. Скоба

Уровень брусковый

Уровни брусковые (рис. 14) предназначены для измерения отклонения от горизонтального положения плоских и цилиндрических поверхностей. Уровень состоит из корпуса с установленными в него продольной и поперечной ампулами. Отсчет производится по шкале продольной ампулы. Поперечная ампула служит для контроля положения уровня на цилиндрической поверхности.

На корпусе брускового уровня имеется одна рабочая поверхность – горизонтальная. Рабочая поверхность включает в себя плоскую часть (основание) – по ней уровень базируется на плоскую измерительную поверхность, и призматические канавки – по ним уровень базируется при измерении цилиндрической поверхности. Технические характеристики уровней брусковых представлены в табл. 4.



Рис. 14. Уровни брусковые

Таблица 4

Длина рабочей поверхности, мм	Цена деления, мм/м	Погрешность на одном делении, мм/м
100	0,05	$\pm 0,015$
	0,10	$\pm 0,030$
	0,15	$\pm 0,040$
150, 200, 250, 300	0,02	$\pm 0,006$
	0,05	$\pm 0,015$
	0,10	$\pm 0,030$
	0,15	$\pm 0,040$

Пример условного обозначения брускового уровня с рабочей поверхностью, длиной 150 мм и ценой деления продольной ампулы 0,10 мм/м, по ГОСТ 9392-89 [16]:

Уровень брусковый 150-0,10 ГОСТ 9392-89.

Угломер электронный

Угломер электронный (рис. 15, а) – это прибор, предназначенный для точного определения углов между поверхностями, элементами конструкций, деталями или узлами оборудования, а также между удаленными объектами (URL: <https://mekkain.ru/library/uglomer.html>). Измерение углов производится в градусах с помощью специальной шкалы электронного дисплея. Основное предназначение этого инструмента – построение и замер острых и развернутых углов, а также возможность диагностики угловых пространственных плоскостей.

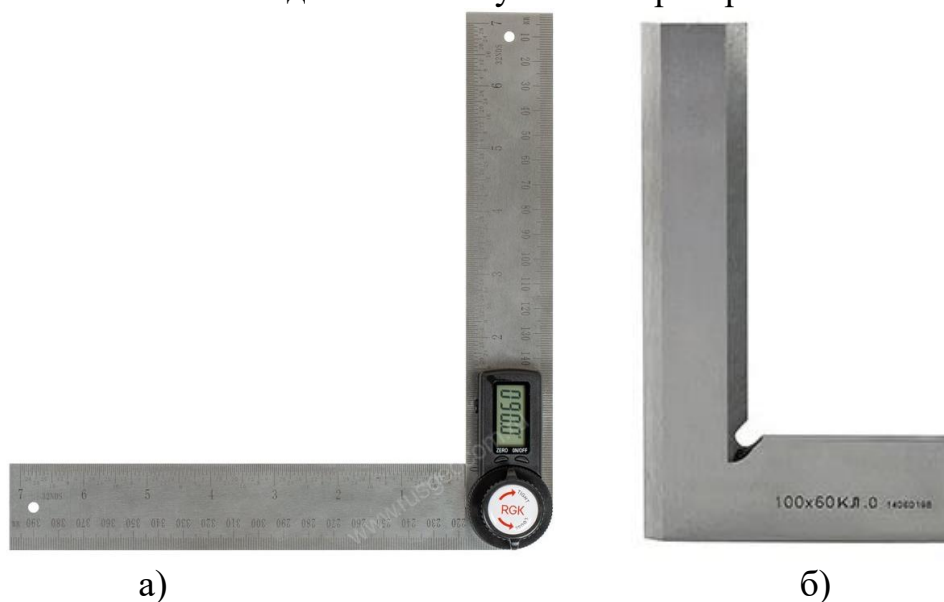


Рис. 15. Средства измерения углов: а) угломер электронный;
б) угольник поверочный

Угольник поверочный лекальный плоский

Угольники поверочные лекальные плоские типа УЛП (рис. 15, б) предназначены для проверки прямых углов (90°) и применяются при слесарно-сборочных и лекальных работах для контроля взаимно перпендикулярного расположения деталей с высокой точностью (URL: <https://chelzavod.ru/izmeritelnyj-instrument/ugolniki/ugolniki-povernochnye-lekalnye-ploskie-tip-ulp/>). Они имеют острые измерительные и плоские опорные поверхности. Технические характеристики угольников поверочных приведены в табл. 5.

Таблица 5

Тип угольника	Классы точности	Регламентирующий документ	Допуск перпендикулярности для класса точности, мкм		
			0	1	2
УЛП 60х40	0, 1	ГОСТ 3749–77	2,5	5	—
УЛП 100х60			2,5	5	13
УЛП 160х100			3	6	15
УЛП 250х160			3,5	7	18

Теодолит

Геодезическим инструментом, предназначенным для угломерных измерений, является теодолит (рис. 16). Его широкое использование в общестроительных работах для определения направлений горизонтальных и вертикальных углов, а также их значений обусловлено простотой в эксплуатации (URL: <http://muzei-vanino.khv.muzkult.ru/instrument>).

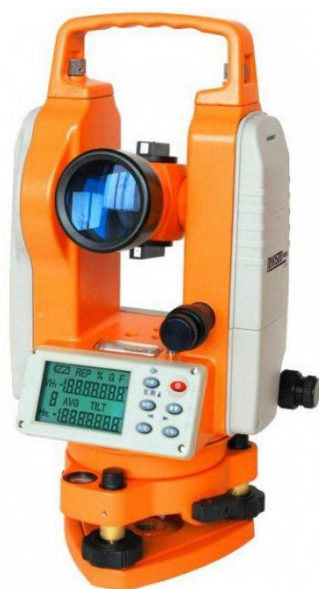


Рис. 16. Теодолит

При помощи теодолита выполняются различные действия:

- измерение поверхности земли при проведении строительных работ;
- составление топографических карт, съемка местности для разных нужд;
- при установке сложного производственного оборудования.

Теодолит – оптический измерительный прибор, при помощи которого с высокой точностью выполняются измерения вертикальных или горизонтальных углов. Назначение теодолита – определение угла между двумя точками при помощи наведения визира поочередно на одну и другую точку, сравнения показаний на шкале самого прибора или на рейке – измерительной вертикальной линейке, которую удерживает ассистент на определенном расстоянии. Совместно с измерениями расстояний между точками, дальнейшими вычислениями и уравниванием получают конечный результат в виде пространственных координат снимаемых точек.

В основе принципа работы теодолита лежит определение неизвестных координат и высот конкретной точки путем сравнения с точками с известными параметрами. Существует много разновидностей теодолитов, различающихся по определенным признакам: степени точности, способу отсчета по вертикальной шкале, конструкции, принципу действия.

Нивелир

Нивелир (рис. 17) – геодезический оптический прибор, с помощью которого определяется горизонталь или разница в уровнях нескольких точек.

Возможность создания строго горизонтальных плоскостей очень важна при строительстве, так как высокие здания или сооружения, опирающиеся на основание с нарушениями геометрии, могут попросту упасть. Поэтому применение нивелиров распространено не менее широко, чем использование теодолитов, чей набор функций зачастую оказывается избыточным (URL: <https://remontask.ru/chto-takoe-teodolit-opticheskij>).



Рис. 17. Нивелир

Нивелир производит определение горизонтальных (или вертикальных) линий или плоскостей, осуществляет сравнение имеющихся поверхностей с условной горизонталью.

Если сопоставить возможности, которыми обладают теодолит и нивелир, разница оказывается в пользу теодолита.

Он способен выполнять функции нивелира. На практике зачастую так и происходит. В то же время, нивелир имеет лишь контрольные функции, для сложного измерения он не предназначен. При этом более простое устройство прибора означает большую надежность и устойчивость работы.

Ротационный лазер

Ротационный лазер PR 300-HV2S (рис. 18). Эксплуатация данного инструмента не требует использования дополнительных защитных средств. Несмотря на это, нельзя смотреть на источник лазерного излучения, как не рекомендуется смотреть на солнце.

PR 300-HV2S представляет собой ротационный лазерный нивелир с видимым вращающимся лазерным лучом и смещенным на 90° контрольным лучом. Ротационный лазер может использоваться для проецирования лучей в одной или двух вертикальных, горизонтальных и наклонных плоскостях. Инструмент предназначен для разметки, переноса и проверки горизонтальных, вертикальных и наклонных плоскостей, а также прямых углов. Примеры использования: перенос точек отсчета (опорных точек) и отметок высоты, определение прямых углов стен, выравнивание точек отсчета по вертикали или разметка углов скоса. Цифровой индикатор наклона может отображать значения наклона в диапазоне до 25 %, если PR 300-HV2S будет находиться в наклоненном вперед положении. Благодаря этому возможен расчет и контроль углов наклона без необходимости вычислений. Функция автоматического электронного выравнивания наклона обеспечивает высокую точность наклона (URL: <https://manualzz.com/doc/ru/54197177/hilti-pr-300-hv2s-operating-instructions>).



Рис. 18. Ротационный лазер

Дальность действия приемника (диаметр) 2–600 м. Дальность действия пульта ДУ (диаметр) 0–240 м (обычно с PRA 300, на открытом поле без внешних воздействий). Точность $1 \pm 0,5$ мм (до 10 м). Диапазон угла наклона $\leq 25^\circ$ (с предварительно наклоненным инструментом). Диапазон автоматического нивелирования $\pm 16^\circ$ по оси X, $\pm 10^\circ$ по оси Y. Рабочая температура от минус 20 до 50 °С.

Тахеометр

Разновидность электронного теодолита (тахеометр), оснащенная электронным устройством для вычисления и запоминания координат точек на местности и лазерным дальномером (рис. 19). В отличие от оптического неповторительного, полностью исключает ошибки снятия и записи отсчета благодаря микропроцессору, выполняющему автоматические расчеты. Электронный теодолит позволяет работать в темное время суток (URL: <https://sto82.ru/oborudovanie/osi-teodolita.html>)

Тахеометр – это портативное устройство, предназначенное для точного измерения больших конструкций. Во всем рабочем диапазоне (600 м) возможно измерение 3D-координат точек как на стандартные отражатели, так и без отражателей. Leica TDRA6000 осуществляет метрологические измерения на больших расстояниях.



Рис. 19. Промышленный тахеометр Leica TDRA6000

При стандартной погрешности 3D-точки 0.25 мм на расстоянии до 30 м, новый тахеометр TDRA6000 является самым точным тахеометром, когда-либо созданным для промышленного использования. Автоматическое распознавание цели позволяет прибору проводить автоматические наблюдения за деформациями, а также отслеживать отражатель при работе с одним оператором. Модуль PowerSearch осуществляет повторный захват перемещающегося отражателя так же быстро, как и находящегося в покое.

Для обеспечения максимальной производительности установок, вырабатывающих энергию из ветра, солнца или атомного ядра, необходимо многократно производить измерения на больших расстояниях. Вне зависимости от задачи – монтаж ветряков, проверка лопастей воздушных турбин, установка солнечных батарей или проверки при модернизации ядерных реакторов – точность и гибкость тахеометра помогут сделать эту работу качественно.

Точность: расстояние до точки менее 30 м ± 0.5 мм; расстояние до точки более 30 м ± 0.3 мм + 13 $\mu\text{м/м}$. Скорость вращения 200 град/с. Увеличение трубы 30 крат. Условия эксплуатации. Рабочая температура от минус 20 до 50 °C

Воспроизводимость точки в 3D «PRE» определяется как стандартное отклонение различных замеров 3D-точки и приводится как функция расстояния между точкой и тахеометром. $\text{PRE} \leq 30 \text{ м} \pm 0.2 \text{ мм}$. Технические характеристики тахеометра приведены в табл. 6.

Таблица 6

Режим EDM	1.5" RRR & BRR	0.5" TBR & RFI	Отражающая пленка	Без отражателя (RL)
Максимальное расстояние	600 м	600 м	600 м	600 м
Минимальное расстояние	2.0 м	2.0 м	5.0 м	2.0 м
Точность (MPE)	0.5 мм	0.5 мм	1.0 мм	2.0 мм

2.2.2 Измерение механических величин

Весы лабораторные

Весы лабораторные (рис. 20) AND DL-1200WP – пылевлагозащитные компактные весы II класса точности с внешней калибровкой и платформой D – 150 мм (URL: <https://a-and-d.ru/product/dl-1200wp>).

Предел взвешивания НПВ 1220 г., дискретность 0.01 г; класс точности высокий – II (ГОСТ 24104-01); скорость отклика около 1 с. Возможность работы через USB порт (опция).



Рис. 20. Весы лабораторные

Весы платформенные

Весы платформенные AND EM-150KAL – трехдиапазонные платформенные весы III класса точности с внешней калибровкой (рис. 21).

Имеют высокую стойку для четкого дисплея. Предел взвешивания 150 кг, дискретность 50/20/10 г.

Наибольший предел взвешивания (НПВ) – 150 кг; размеры весовой платформы – 400 x 500 мм; высокая точность и три переключаемых диапазона взвешивания. Дисплей может вращаться на 360 град (URL: <https://a-and-d.ru/product/em-150kal>).



Рис. 21. Весы платформенные

Автомобильные весы

Автомобильные весы 80 т 12 м, устанавливаются на бетонный фундамент (рис. 22). Высокая точность весов (до 5000 делений, дискретность 20 кг) обеспечивается тензодатчиками. Стандартная комплектация IP-68.

Технические характеристики: длина 12 м, наибольший предел взвешивания 80 т, наименьший – 400 кг, цена поверочного деления 20 кг, класс точности III (средний), рабочий температурный диапазон: для ГПУ с датчиками от минус 50 до 50 °С (URL: <https://www.xn--b1aaeeabb0hpc6ae.xn--p1ai/vesy/avtomobilnye-vesy/avtomobilnye-vesy-vs-a-18m-80t-premium-s-kontrollem-osej.html>).



Рис. 22. Автомобильные весы

Вагонные весы для взвешивания в движении

Основными преимуществами весов указанного типа являются меньшие, по сравнению со статическими железнодорожными весами, размеры и стоимость.

Железнодорожные весы (рис. 23) рассматриваемых типов предназначены для статического и динамического взвешивания без расцепки, в последнем случае – двух-, четырех-, шести- и восьмиосных вагонов с твердыми, сухими сыпучими грузами, цистерн с грузами жидкими или составов в целом, и имеют возможности для регистрации полученных результатов взвешивания (URL: <https://kilogramus.ru/vzveshivanie-v-promyshlennosti/vagonnye-vesy-dlya-vzveshivaniya-v-dvizhenii.html>).

Чаще всего весы подобных типов используются на предприятиях горнодобывающей и перерабатывающей промышленности, энергетического комплекса и металлургических, а также на железнодорожных станциях.

Все железнодорожные весы условно можно разделить на три группы:

- по методу взвешивания: выполнение взвешивания в статике; взвешивание в динамике; универсальные весы, позволяющие работать в любом из вышеназванных режимов;

– по принципам действия их принято подразделять на весы: рычажные (механические); гидравлические; пневматические; оптические; гибридные (электромеханические); тензометрические. Последние являются наиболее востребованными в настоящее время.



Рис. 23. Железнодорожные весы

Современный рынок предлагает потребителям широкий диапазон моделей. В основном используются три типа весов тензометрических.

Чаще всего подобные изделия используются для взвешивания в динамике на скоростях до 60 км/ч.

Измерение твердости методами статического вдавливания

Для измерения твердости наиболее часто применяют методы статического вдавливания в материал шарика, алмазного конуса или алмазной пирамидки (рис. 24). К этим методам относятся методы:

- Бринелля по ГОСТ 9012-59 [18] – стальной шарик;
- Роквелла по ГОСТ 9013-59 [19] – алмазный конус;
- Супер-Роквелла по ГОСТ 22975-78 [20] – стальной шарик или алмазный конус;
- Виккерса по ГОСТ 2999-75[21] – алмазная пирамида;
- испытания микротвердости по ГОСТ 9450-75 [22] – алмазная пирамидка.



Рис. 24. Твердомер методом статического вдавливания

Динамические методы измерения твердости

Метод ударного отпечатка по ГОСТ 18661-73 [23].

Применяется для массивных деталей и конструкций, когда другие способы нельзя применить. Измерение твердости производится с помощью специального прибора. В прибор закладывают эталонный брусок с известной твердостью. Прибор устанавливают на поверхности исследуемой детали. При ударе молотком по верхней части бойка шарик диаметром 10 мм вдавливается одновременно в деталь и эталон. Путем сравнения лунок на детали и образце судят о твердости материала детали.

Метод упругого отскока бойка (метод Шора) по ГОСТ 23273-78 [24].

Применяют специальный прибор – склероскоп, внутри которого свободно падает боек с алмазным наконечником. Измерение твердости проводят по высоте отскока бойка.

Ультразвуковой метод измерения твердости стали

Этот метод измерения твердости называют методом ультразвукового контактного импеданса. Ультразвуковой твердомер изображен на рис. 25. Алмазную пирамидку прижимают к исследуемому образцу при постоянном усилии и возбуждают упругие колебания. Чем меньше твердость образца, тем больше индентор продавливают его поверхность. Применяется для измерения твердости в труднодоступных местах (Как измерять твердость металла – Металлы и их обработка. URL: <https://magnetline.ru>).



Рис. 25. Твердомер ультразвуковой

Контрольные вопросы

1. Опишите, как рассчитывается точность рулеток при измерении разных длин.
2. Какие бывают исполнения штангенциркулей?
3. Для чего предназначены микрометры со вставками?
4. Опишите принцип работы измерительной руки (манипулятора).
5. Опишите принцип работы измерительной системы с 3D-сканером.
6. Опишите, как возможно проведение измерений инструмента в станках.
7. Опишите принцип работы промышленного тахеометра.
8. Опишите методы измерения твердости, которые вы знаете.

2.2.3. Измерение параметров потока, расхода, уровня, объема вещества

Общие сведения

При управлении технологическими процессами, тепловых и энергетических ресурсов пользуются СИ количества и расхода вещества, СИ уровня – уровнемеры.

Количеством вещества называют объем или массу вещества, прошедшего по транспортному устройству (трубопровод) за определенный промежуток времени. Количество вещества выражается в единицах объема (м^3) или массы (кг).

Расход есть величина, численно равная количеству вещества, проходящему по транспортному устройству (технологическому трубопроводу или сечению канала) в единицу времени. Различают объемный ($\text{м}^3/\text{ч}$) и массовый (кг/с) расход вещества. Массовые расходомеры отличаются от объемных тем, что напрямую измеряют массовый расход жидкости, в то время как определение массового расхода при помощи объемных расходомеров происходит косвенным методом.

Средства измерения расхода вещества (жидкость или газ) называются *расходомерами* или преобразователями – если они не имеют шкалы, а передают сигнал на вторичный измерительный прибор. Приборы для измерения количества вещества называются *счетчиками*. Некоторые приборы обеспечивают одновременное измерение расхода и количества вещества. Это расходомеры со счетчиками.

Расходомеры могут оснащаться *интеграторами* (суммирующими механизмами) и измерять расход и количество вещества. С целью получения сопоставимых результатов расход газа выражают в объемных единицах, приведенных к нормальным условиям. Газовая отрасль Российской Федерации при расчётах с потребителями использует атмосферные условия по ГОСТ 2939–63 температура 20 °С, давление 101325 Па (760 мм. рт. ст), относительная влажность 0 % [15].

Для измерений массового расхода используются объемные расходомеры, снабженные датчиками плотности и корректирующими схемами, и приборы инерционного или теплового принципа действия, способные измерять прямыми методами массовый расход.

Отдельную группу приборов и устройств, используемых для учета и стабилизации материальных потоков, составляют весы и дозаторы.

Весы – это прибор для определения масс тел. *Дозатор* – это устройство, предназначенное для автоматического отмеривания и выдачи заданного количества вещества или постоянного расхода. Весы рассмотрены в разделе Измерение механических величин.

Расходомеры

В соответствии с ГОСТ 15528-86 и разработок ВНИИМ расходомеры и счётчики подразделяют на четыре группы [25].

Группа А: приборы, основанные на гидродинамических методах: 1) переменного перепада давления; 2) переменного уровня; 3) обтекания; 4) вихревые; 5) парциальные.

Группа Б: приборы с непрерывно движущимся телом: 6) тахометрические; 7) силовые (в том числе вибрационные).

Группа В: приборы, основанные на различных физических явлениях: 8) тепловые; 9) электромагнитные; 10) акустические; 11) оптические; 12) ядерно-магнитные; 13) ионизационные.

Группа Г: приборы, основанные на особых методах: 14) корреляционные; 15) меточные; 16) концентрационные.

Условно классификацию расходомеров можно представить на рис. 26

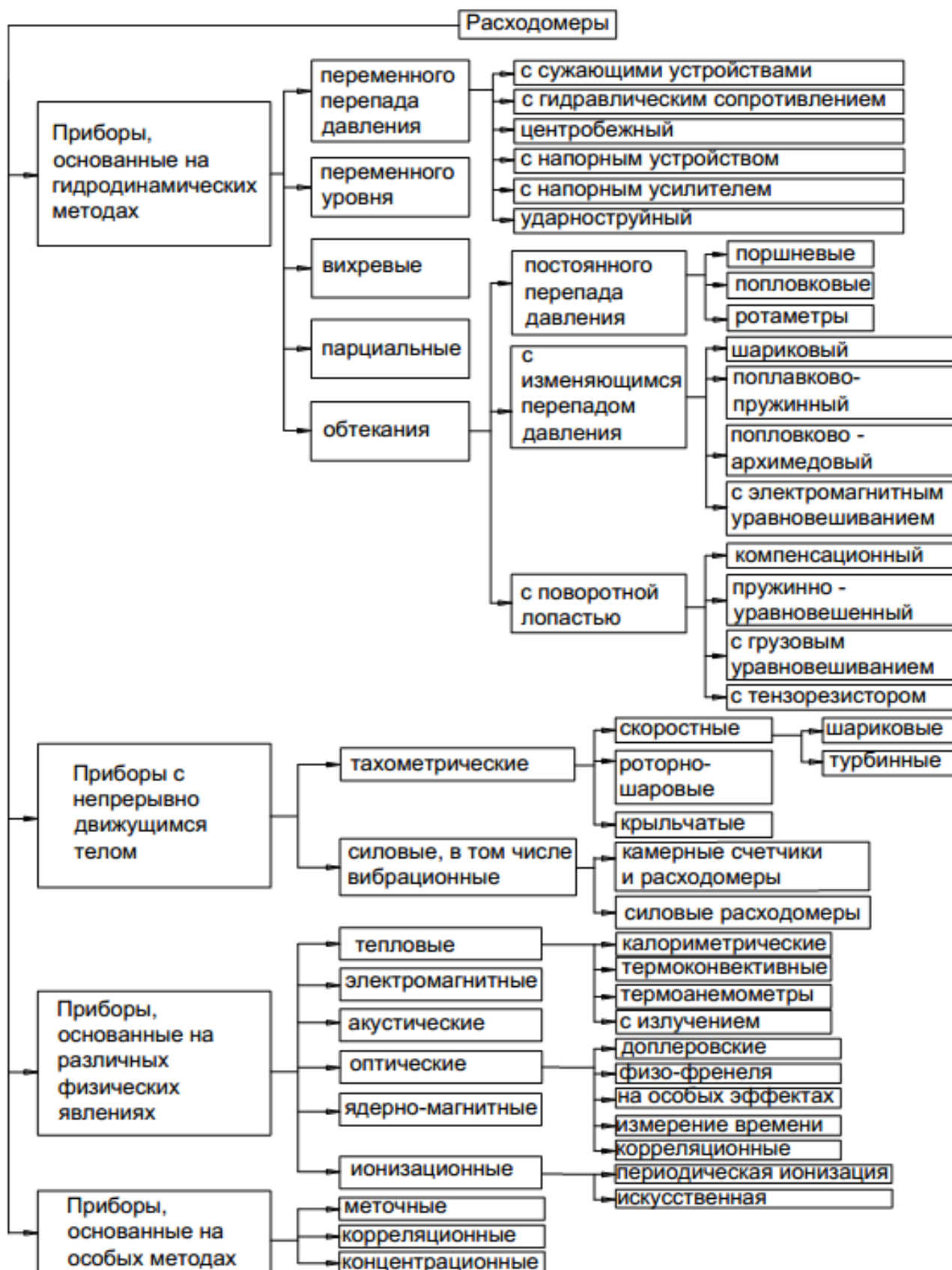


Рис. 26. Классификация расходомеров

Расходомеры классифицируются также по принципам измерения, т. е. по тем физическим явлениям, с помощью которых измеряемая величина преобразуется в выходной сигнал первичного преобразователя расходомера.

Конструктивно в общем случае расходомеры состоят из первичного преобразователя – измерительной части и вторичного преобразователя – электронного блока. По конструкции первичных преобразователей их можно разделить на следующие виды:

- полнопроточные, первичный преобразователь которых встраивается непосредственно в поперечное сечение трубопровода;
- погружные, первичный преобразователь которых вставляется в трубопровод через отверстие. Данные приборы, в зависимости от конструкции, возможно монтировать/демонтировать без снятия давления в трубопроводе;
- с накладными первичными преобразователями, монтируемые непосредственно на внешней поверхности трубопровода. Из приведенных выше видов расходомеров с накладными первичными преобразователями изготавливаются только ультразвуковые расходомеры.

Полнопроточные расходомеры точнее всех определяют среднюю скорость потока, так как производят измерения по всему сечению потока. Соответственно они имеют более низкую погрешность измерений – до $\pm 0,2 \dots 0,5$ % измеряемой величины.

Погружные расходомеры производят измерения скорости потока в одной точке. Средняя скорость потока определяется в них на основании существующих теоретических и экспериментальных зависимостей распределения скоростей потока по сечению трубопровода. Различные возмущающие воздействия приводят к искажению профиля потока, что не может не сказываться на результатах измерения этими приборами. На данный момент погрешность измерений погружных расходомеров составляет порядка $\pm 1 \dots 2$ % шкалы и существенно зависит от правильности их установки.

Ультразвуковые расходомеры с накладными первичными преобразователями измеряют скорость потока в одной или нескольких плоскостях сечения потока в зависимости от количества первичных преобразователей, что определяет их погрешность измерений расхода, составляющую $\pm 1 \dots 3$ % измеряемой величины. Погрешность данных приборов также зависит от правильности и места установки первичных преобразователей.

По компоновке расходомеры (рис. 27) могут быть:

- интегрального исполнения – вторичный преобразователь монтируется непосредственно на первичном преобразователе;
- разнесенного исполнения – вторичный преобразователь монтируется на некотором удалении от первичного и соединяется с ним кабелем.

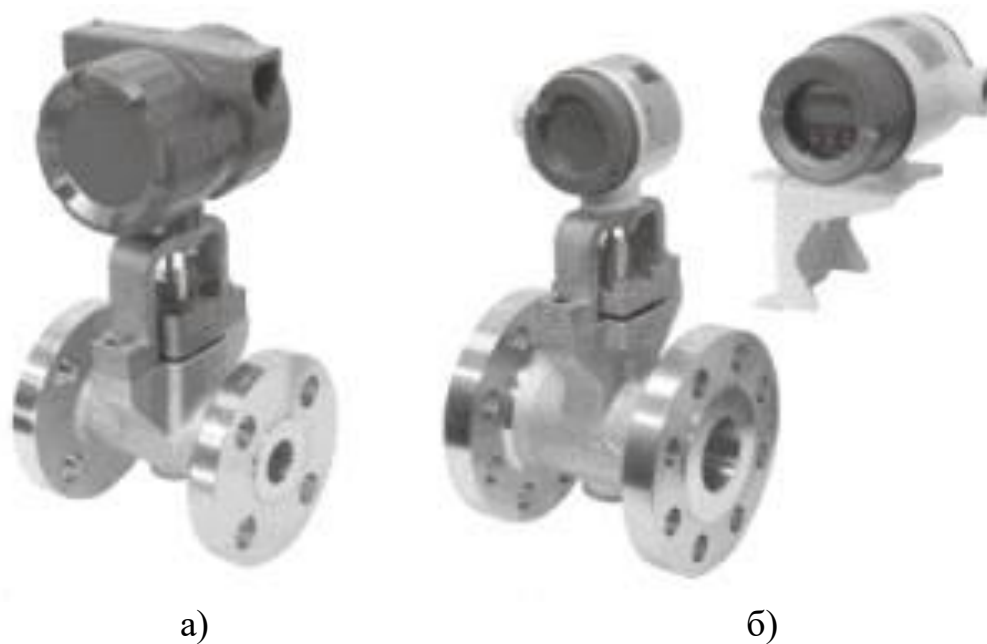


Рис. 27. Компоновка расходомеров: а) интегральное исполнение;
б) разнесенное исполнение

В большинстве случаев целесообразнее применять расходомеры в интегральном исполнении. Однако существует ряд факторов, при наличии которых используют расходомеры в разнесенном исполнении:

- высокая температура измеряемой среды;
- высокая температура окружающей среды в месте установки расходомера;
- высокая вибрация трубопровода;
- возможность затопления места установки расходомера (для таких случаев первичные преобразователи, как правило, имеют водонепроницаемое исполнение IP68);
- затрудненный доступ к месту установки расходомера.

На многих производствах существуют взрывоопасные зоны, в которых из-за утечек и испарения горючих веществ находятся или могут возникать взрывоопасные газовые среды. В таких зонах необходимо применять расходомеры во взрывозащищенном исполнении.

Наибольшее распространение получили два вида взрывозащиты расходомеров:

- искробезопасная цепь – данный метод подразумевает, что при возникновении искры в электрических цепях прибора ее мощности будет недостаточно для воспламенения взрывоопасной смеси;
- взрывонепроницаемая оболочка – данный метод подразумевает, что электрические цепи прибора помещены в специальную особо прочную оболочку. При этом не исключается контакт электрических цепей со взрывоопасной смесью и возможность ее воспламенения, но гарантируется, что оболочка выдержит

возникшее в результате взрыва избыточное давление, т. е. вспышка не выйдет за пределы взрывонепроницаемой оболочки.

В отечественной практике распространение получили расходомеры следующих пяти видов: переменного перепада давления, обтекания, тахометрические, электромагнитные и ультразвуковые.

Для начала рассмотрим наиболее распространенные расходомеры группы А: приборы, основанные на гидродинамических методах.

Расходомеры переменного перепада давления применяются, прежде всего, для измерений расхода пара и воды. Принцип действия таких расходомеров основан на измерении перепада давления, образующегося в результате местного изменения скорости потока жидкости, пара или газа, поэтому их можно называть дифференциальными.

Широкое применение среди средств измерения расхода получили *расходомеры по перепаду давления в сужающем устройстве* (рис. 28). Расходомеры перепада давления применяют для измерения средних и больших расходов. Сужающие устройства в данном случае выполняют функцию первичного преобразователя. Оно устанавливается в трубопроводе и создает в нем местные сужения. В результате чего скорость в узком месте возрастает, следовательно, возрастает и кинетическая энергия, а потенциальная убывает, поэтому давление статическое после сужения будет меньше, чем до сужения, т. е. создается перепад давления.

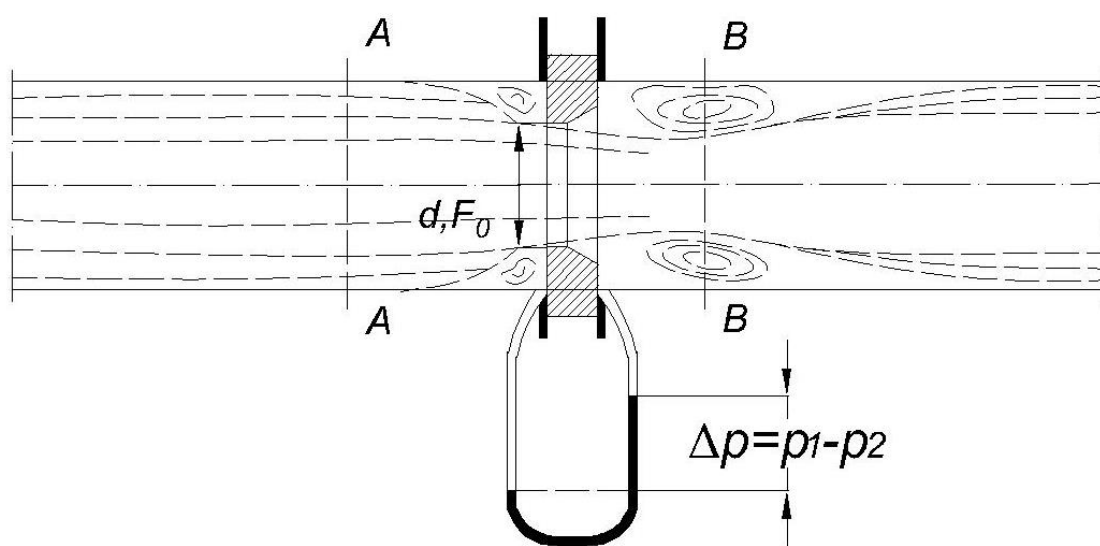


Рис. 28. Расходомер по перепаду давления в сужающемся устройстве

Как видно из рисунка, отбор давления осуществляется с помощью двух отдельных отверстий, расположенных до и после сужения. Отверстия делают в углах, образуемых плоскостью диафрагмы и внутренней поверхностью трубопровода. Стандартные сужающие устройства применяются в комплекте с дифференциальными манометрами, для измерения расхода и количества жидкости.

В круглых трубопроводах d не менее 50 мм. Трубопроводы могут быть горизонтальными, вертикальными и наклонными.

Точность измерения расхода вещества по перепаду давления в сужающем устройстве зависит не только от типа выбранного сужающего устройства, но и от целого ряда условий: 1) необходимо, чтобы измеряемое вещество заполняло всю проточную часть трубы, как перед сужающим устройством, так и после него, 2) если необходимо измерить расход пара, то пар должен быть перегретым, 3) поток вещества через поперечное сечение трубы должен быть установившемся и т. д.

Максимальная погрешность измерений расхода (при доверительной вероятности 0,95) с помощью расходомеров переменного перепада давления или нормальных условиях эксплуатации колеблется в пределах от 1,5 до 8 %.

Измерение скорости (расхода) жидкости или газа с помощью напорных труб (рис. 29) – этот метод широко применяют в производстве при проведении экспериментальных исследований и в ряде других случаев. Он заключается в том, что измеряется статический, динамический и полный напор.

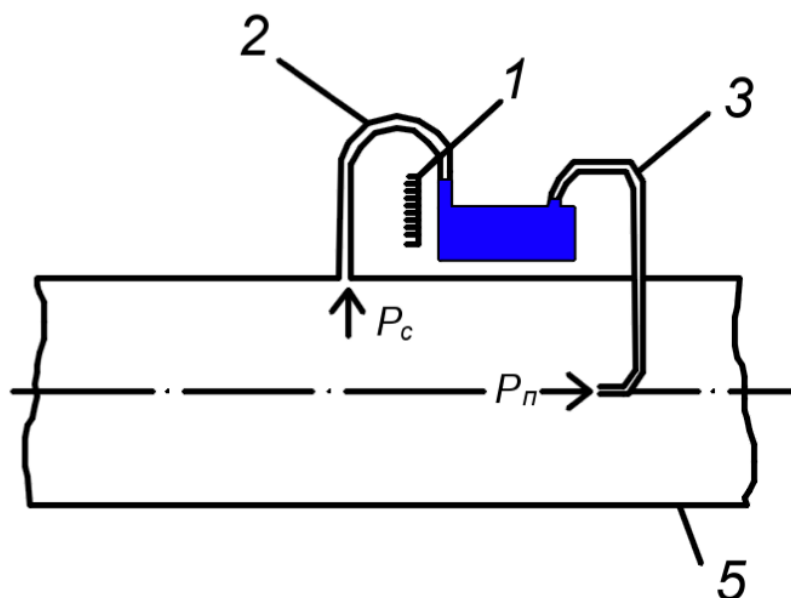


Рис. 29. Измерение скорости (расхода) жидкости или газа с помощью напорных труб: 1 – шкала; 2 – трубка, передающая статическое давление; 3 – трубка, передающая полный напор; 4 – труба

Измерение скорости в потоке сводится к измерению динамического давления. Отметим, что динамическое давление измеряется не совсем точно.

Расходомерами обтекания называются приборы, чувствительный элемент которых воспринимает динамическое давление потока и перемещается под его воздействием, причем величина перемещения зависит от расхода.

Все расходомеры обтекания можно разделить на три группы:

- расходомеры постоянного перепада давления;
- расходомеры с изменяющимся перепадом давления;
- расходомеры с поворотной лопастью.

Особенности первой группы расходомеров: обтекаемое тело перемещается вертикально, а сила сопротивления потоку возникает за счет веса подвижного тела. Во второй группе противодействующая сила создается пружиной, а обтекаемое тело может перемещаться в различных плоскостях. В расходомерах с поворотной лопастью противодействующая сила создается весом тела и пружиной, а иногда и дополнительным источником энергии.

Принцип действия расходомеров основан на уравнивании обтекаемого тела потоком измеряемого вещества. В качестве тела обтекания в таких расходомерах может применяться поплавков, поршень, диск, лопасть.

Обтекаемое тело может двигаться по прямой (обычно вдоль своей вертикальной оси) или поворачиваться вокруг оси подвеса.

Во всех расходомерах между подвижным телом и стенками трубы остается проходное сечение. Поэтому нужно учитывать, что на тело будет действовать не только давление потока, но и сила вязкого трения, последняя зависит от вязкости вещества и формы тела.

Преимущества расходомеров обтекания:

- высокая надежность;
- большой диапазон измерений;
- относительно маленькая погрешность;
- простота конструкции;
- простота в эксплуатации.

Широкое распространение получили расходомеры постоянного перепада давления. Их делят на:

- ротаметры;
- поплавковые расходомеры;
- поршневые расходомеры (золотниковые расходомеры).

Из всех вышеперечисленных приборов наибольшее применение получили ротаметры.

Ротаметры. *Ротаметр* (рис. 30) состоит из двух основных элементов: поплавка специальной формы и стеклянной конической трубки. Длина последней может быть от 70 до 600 мм, а диаметр 1,5–100 мм. На трубку наносится шкала (в соответствии с измеряемой средой). Такие расходомеры применяют для сред с максимальной температурой 150 °С и давлением не выше 0,5–0,6 Мпа (URL: <http://npopramen.ru/information/other-flowmeters/43-hydrodynamic-methods/13-flow-flowmeters>).

Ротаметры имеют ряд преимуществ:

- удобство при измерении малых расходов газов и жидкостей;
- достаточно высокая надежность в работе;
- равномерность шкалы и широкий диапазон измерений;
- для изготовления не требуются сложные технологии или дорогие материалы.

В то же время ротаметры имеют ряд существенных недостатков:

- невозможность измерения расхода при большом давлении;

- невозможность применения при относительно больших расходах вещества;
- ротаметр должен располагаться вертикально;
- в большинстве случаев протекающее вещество должно быть прозрачным.

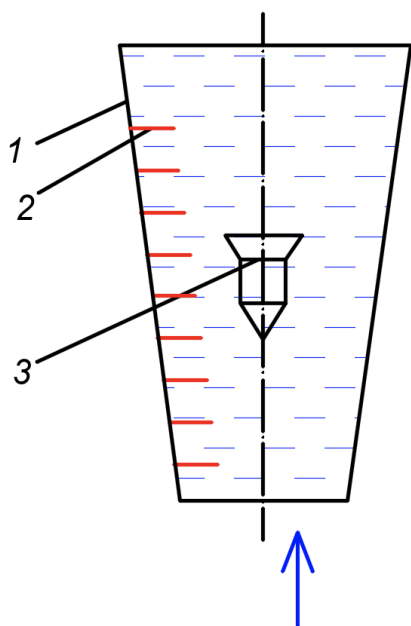


Рис. 30. Ротаметр

Принцип действия ротаметра следующий: жидкость движется вверх по трубе 1, вынуждает поплавков 3 подняться на определенную высоту и образовать кольцевой зазор между ним и стенками трубы так, чтобы силы, действующие на поплавков, уравнились. Следовательно, положение поплавка ротаметра соответствует определенной величине расхода, которую можно определить по шкале 2. В основном на поплавков действуют три силы:

- постоянная сила гравитации;
- выталкивающая сила (постоянна, если плотность жидкости тоже постоянная величина, согласно закону Архимеда);
- сила, динамический напор потока, воздействующий на поплавков.

Сумма этих трех сил уравнивается весом поплавка.

Поплавки ротаметра выполняют разных форм. Они бывают в виде: конуса, цилиндра, сферы, катушки, диска и др.

Ротаметры оснащают направляющими стержнями (штоками, кольцами), чтобы предотвратить перекос поплавка и трение о стенку ротаметрической трубки. Применение направляющих любого типа усложняют конструкцию. При малых расходах в ротаметрах иногда используют шариковые поплавки.

Если в измеряемом веществе находятся механические примеси, кормовую часть поплавка делают с уклоном 10–15°.

Ротаметры со стеклянными трубками могут измерять расходы воды от 3 и воздуха – от 120 см³/ч, а металлические ротаметры с дистанционной передачей

расхода воды от 30 см³/ч и воздуха – от 1,8 л/ч. Предельные давления 35 МПа, предельные температуры 450 °С.

Для измерения малых расходов можно применять ротаметр с конической трубкой расширяющейся вниз, а не вверх. Поток поступает сверху и давит на поплавок, плотность материала которого меньше плотности жидкости. Сила Архимеда уравнивает давление потока и вес поплавка.

Поплавковые расходомеры. Принцип действия этих расходомеров такой же, как у ротаметров. Отличия есть только в конструктивном исполнении. У них нет стеклянной конической трубки, ход поплавка небольшой, и внешняя форма другая.

В настоящее время выпускаются поплавковые расходомеры, которые в документации называются ротаметрами, со шкалой и стрелочным указателем. Принцип преобразования перемещения поплавка в перемещение указателя шкалы иллюстрируется на рис. 31. Поплавок имеет магнитную вставку. В стрелочном механизме также имеется постоянный магнит. При перемещении поплавка происходит поворот указателя шкалы.

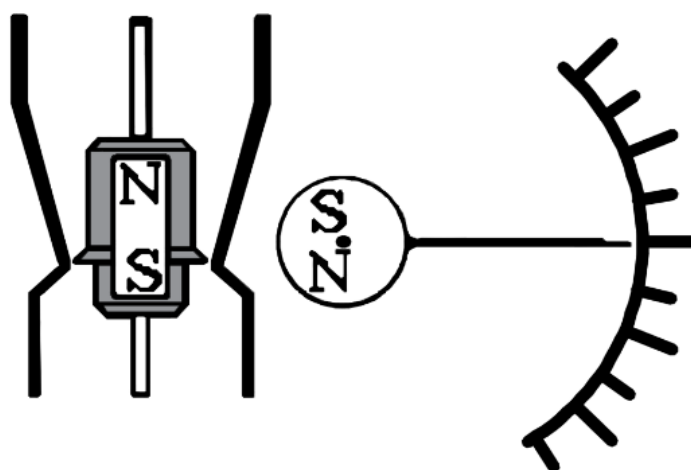


Рис. 31. Принцип преобразования перемещения поплавка в перемещение указателя шкалы

Некоторые современные поплавковые расходомеры (ротаметры) обеспечивают преобразование перемещения поплавка в аналоговый и цифровой выходные сигналы.

Поршневые (золотниковые) расходомеры – третья группа расходомеров постоянного перепада давления, в которых роль поплавка выполняет перемещающийся во втулке поршень. Измеряемое вещество поступает в расходомер, приподнимает поршень и выходит через прорезь или окно во втулке. Поршень поднимается в зависимости от величины расхода вещества, открывая во втулке все большую часть окна. Чем больше расход, тем выше поднимается поршень. Перепад давления на поршне остается постоянным. Можно выбрать форму прорези таким образом, чтобы получить нужную зависимость между

перемещением поршня и расходом измеряемой среды (например, линейную) (URL: <http://npropramen.ru/information/other-flowmeters/43-hydrodynamic-methods/13-flow-flowmeters>).

На рис. 32 показан поршневой расходомер, разработанный для измерения массового расхода нефтепродуктов.

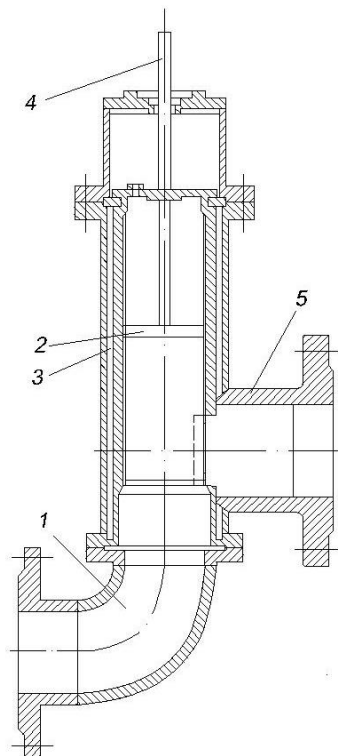


Рис. 32. Поршневой расходомер

Для достижения практической независимости показаний от изменений плотности измеряемого вещества плотность поршня берут в два раза больше, чем плотность измеряемого вещества. На входном патрубке 1 укреплен цилиндр с втулкой 3, внутри которой перемещается поршень 2, связанный с магнитным стержнем 4; последний воздействует на заслонку у сопла, давление воздуха в котором служит выходным сигналом прибора. Во втулке 3 прорезано окно, через которое измеряемое вещество уходит в выходной патрубок 5.

Преимущества поршневых расходомеров:

- способность измерения среды, имеющей механические примеси;
- возможность изменения предела измерения через изменение действующей на поршень массы груза.

Расходомеры обтекания с изменяющимся перепадом давления – в таких расходомерах, как и в расходомерах постоянного перепада, тоже есть поплавки. На него действует поток измеряемого вещества, а мерой расхода будет величина перемещения поплавка. Такие расходомеры подразделяются на:

- поплавково-архимедовые;
- поплавково-пружинные (наиболее распространенные);

- расходомеры с электромагнитным уравниванием;
- шариковые, в которых вещество движется по криволинейной трубке.

Попларково-пружинные расходомеры (рис. 33) – это расходомеры, в которых поплавок (поршень) соединен с пружиной. В таких расходомерах давление потока среды преодолевает не только вес поршня (поплавок), но еще и упругость пружины (URL: https://life-prog.ru/view_msinv.php?id=151).

В попларково-пружинном расходомере с верхней пружиной роль поплавок выполняет колокол полусферической формы. Жидкость притекает по трубе и приподнимает колокол, последний связан с пружиной, которая перемещает сердечник дифференциально-трансформаторной передачи. Такие приборы устанавливаются в трубах диаметром 10–260 мм с температурой вещества до 120 °С и при давлении до 2 МПа. Схема попларково-пружинного расходомера с верхней пружиной приведена на рис. 33.

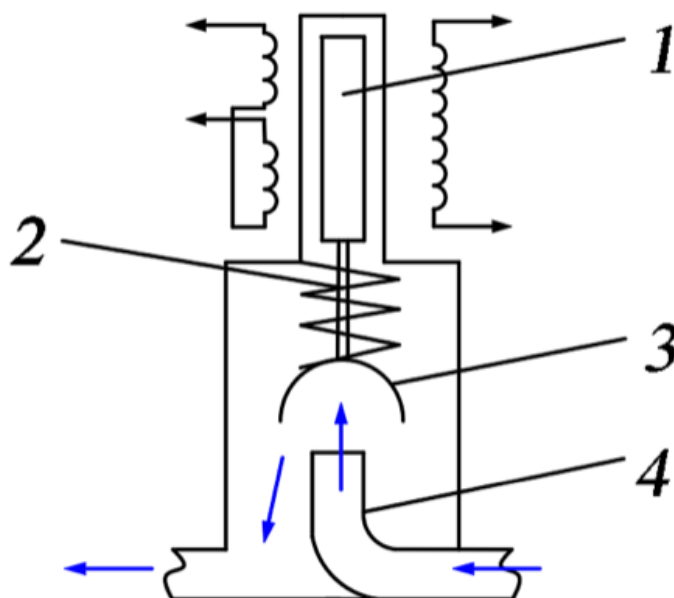


Рис. 33. Схема попларково-пружинного расходомера с верхней пружиной:
1– сердечник; 2 – пружина; 3 – купол (поплавок); 4 – труба

Попларково-пружинные расходомеры имеют ряд достоинств:

- значительно повышается предел измерения;
- можно выбрать другой предел (диапазон) измерения (если заменить пружину).

Шариковые расходомеры обтекания (рис. 34), в них шарик перемещается по дуге окружности. В этом главное отличие от расходомеров, в которых шарик движется вертикально в цилиндрической трубке и при перемещении вверх открывает отверстие для прохода измеряемого вещества (URL: <http://npopramen.ru/information/other-flowmeters/43-hydrodynamic-methods/13-flow-flowmeters>).

В нерабочем состоянии шарик находится в нижнем положении. С увеличением расхода шарик поднимается по имеющей форму неполного кольца стеклянной трубке. Между шариком и трубкой имеется проток для прохода жидкости.

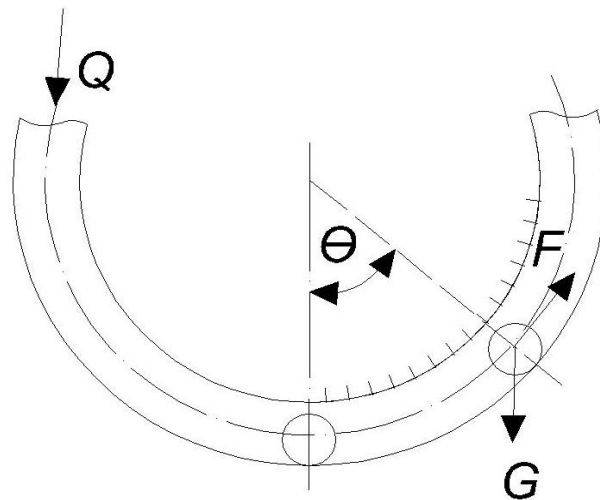


Рис. 34. Схема шарикового расходомера обтекания

Попларково-архимедовые расходомеры обтекания (рис. 35) используются достаточно редко, у них гидростатическое давление на тело выполняет роль пружины. Гидростатическое давление взаимодействует с поплавком, погруженным в более тяжелую жидкость (URL: <http://npopramen.ru/information/other-flowmeters/43-hydrodynamic-methods/13-flow-flowmeters>) .

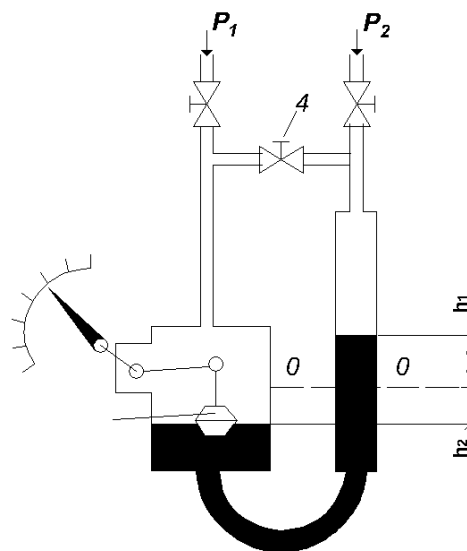


Рис. 35. Схема поплавкового дифманометра

Расходомеры обтекания с электромагнитным уравниванием, в них электромагнитным способом происходит уравнивание силы динамического давления на поплавок. В поле наружного соленоида находится железный сердечник, который связан с поплавком. На перемещение поплавка реагирует

устройство (фотосопротивление, осветитель и т. д.), изменяющее силу тока в соленоиде и обеспечивающее возвращение поплавка к изначальному положению. Расходомеры с электромагнитным уравниванием (расходомеры с магнитной подвеской) используются при измерении небольших расходов.

Расходомеры обтекания с поворотной лопастью (рис. 36). В трубопроводе устанавливается лопасть, в процессе протекания вещества по трубопроводу гидродинамическое давление потока воздействует на лопасть. По величине противодействующей силы (углу поворота лопасти) определяется расход (URL: https://elar.rsvpu.ru/bitstream/123456789/12266/1/RSVPU_2016_175.pdf).

Расходомеры с поворотной лопастью делятся на:

- расходомеры с грузовым уравниванием;
- расходомеры с пружинным уравниванием;
- расходомеры компенсационные с электрическим или пневматическим уравниванием.

Преимущества таких измерительных приборов:

- большой диапазон измерения;
- возможность 2-стороннего действия;
- простота измерения больших расходов жидкости и газов;
- возможность измерения расходов агрессивных жидкостей и газов, имеющих высокую температуру;
- хорошие динамические характеристики (1,5–2 с затухание колебательного процесса).

Поворотная лопасть (основная часть расходомера) постоянно вибрирует даже при равномерном расходе из-за срыва вихрей с тыльной стороны лопасти. Легкая вибрация не сказывается на работе расходомера при небольших углах поворота лопасти, но при повороте лопасти до угла $60\text{--}65^\circ$ и больше при измерении расхода газа вибрация часто резко растет. При измерении расхода жидкостей вибрация не наблюдается (вследствие большей вязкости). Таким образом, угол поворота будет оптимален: для газов – 60° , жидкостей – 80° .

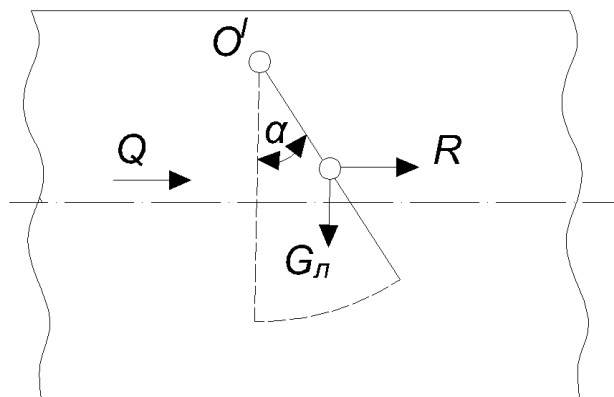


Рис. 36. Схема расходомера с поворотной лопастью

Расходомеры обтекания с поворотной лопастью с грузовым уравниванием применяют в горизонтальном трубопроводе. Простота конструкции расходомеров дает возможность самими их создавать на предприятиях и использовать для своих практических нужд измерения (расход сточных вод с крупными механическими примесями) или использовать их в качестве индикаторов или сигнализаторов расхода. Например, такой прибор с поворотной лопастью может использоваться для замыкания сигнальной цепи при заданной скорости потока воздуха (около 4–10 м/с) путем поворота рычага ртутного выключателя.

Расходомеры с поворотной лопастью и *пневматической компенсацией* используют для измерения расхода суспензий с большой концентрацией твердой фазы, отработанной серной кислоты, водного раствора карбамида и т. д. [17].

Далее рассмотрим основные расходомеры группы Б (приборы с непрерывно движущимся телом) тахометрические и силовые (в том числе вибрационные).

Тахометрические расходомеры, преобразующие скорость потока в угловую скорость вращения обтекаемого элемента, подразделяются на *турбинные, шариковые, роторно-шаровые и крыльчатые*. Тахометрические расходомеры – расходомеры жидкости (газа), принцип действия которых основан на зависимости скорости движения преобразовательного элемента, установленного в трубопроводе или в специальной камере, от расхода жидкости (газа) (URL: https://studref.com/389969/tehnika/tahometricheskie_rashodomery).

Тахометрические расходомеры содержат электрические преобразователи частоты вращения чувствительного элемента в электрический сигнал, измеряемый затем показывающим прибором. Их применяют для измерения расхода различных жидкостей (реже газов), причем некоторые их разновидности могут использоваться в загрязненных жидкостях.

Турбинные тахометрические расходомеры (рис. 37) – это тахометрический расходомер, в котором преобразовательным элементом является турбина. Турбина может быть расположена как аксиально, так и тангенциально. У первых ось совпадает с направлением движения потока, у вторых она перпендикулярна ему. Вращение турбины преобразуется в электрический выходной сигнал расходомера.

Тахометрические турбинные расходомеры являются наиболее точными приборами для измерений расхода жидкостей: приведенная погрешность составляет 0,5–1 %, а в лучшем случае – 0,1–0,2 %. Для измерений расхода газов они применяются относительно редко вследствие малой чувствительности и быстрого износа при скоростях, характерных для газовых потоков.

Турбинный расходомер состоит из аксиальной или тангенциальной лопастной турбины, опирающейся на подпятники или подшипники. Турбинный расходомер использует многолопаточный ротор – турбинку. В качестве вторичного преобразователя, измеряющего скорость вращения турбинки, часто используют индукционный преобразователь. При вращении турбинки, лопасти

которой выполняют из ферромагнитного материала, в индукционной катушке генерируются импульсы электрического напряжения, частота которых пропорциональна угловой скорости вращения турбинки. Общее число импульсов, зарегистрированных отсчетным устройством, характеризует количество вещества, протекающего по трубопроводу за время регистрации, а число импульсов в единицу времени определяет расход измеряемого вещества. Приборы просты по конструкции, имеют большую чувствительность и большие пределы измерений, возможность измерений как малых (от $5 \cdot 10^{-9} \text{ м}^3/\text{с}$), так и больших (до $1 \text{ м}^3/\text{с}$) расходов жидкостей с широким диапазоном физико-химических свойств и малую инерционность (постоянная времени $0,001 \text{ с}$).

Турбинные расходомеры применяют для измерения расходов различных жидкостей, кроме очень вязких и загрязненных. Для измерения расхода газа их используют реже вследствие его малой плотности. Кроме того, в газовой среде ускоряется износ подшипников.



Рис. 37. Конструкция турбинного тахометрического расходомера

Принцип действия является общим для турбинных и *крыльчатых* тахометрических расходомеров (счетчиков) (рис. 38), разница заключается лишь в расположении оси вращения измерительного механизма: у крыльчатки ось находится перпендикулярно движению потока (расположена тангенциально), а у турбины – параллельно потоку жидкости или газа (URL: <https://emis-kip.ru/ru/company/sob/articles/takhometricheskie-raskhodometry-turbinnie-krylchatye/>).

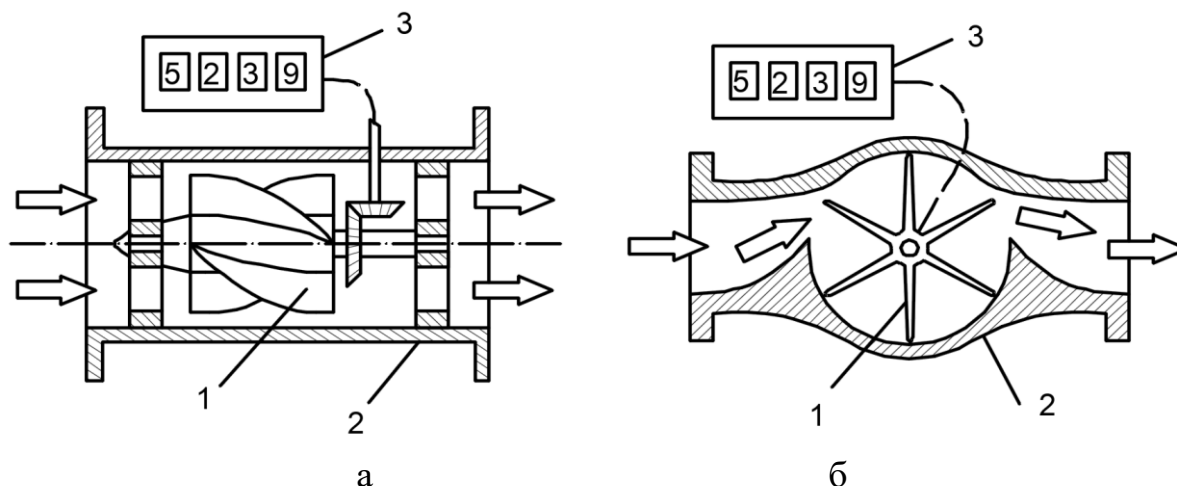


Рис. 38. Расположение оси вращения измерительного механизма: а) схема турбинного тахометрического расходомера с винтовой турбинкой, расположенной аксиально к потоку: 1) винтовая турбинка; 2) корпус; 3) счетчик; б) схема крыльчатого тахометрического расходомера с турбинкой, расположенной тангенциально к потоку: 1) турбинка; 2) корпус; 3) счетчик

К недостаткам турбинных расходомеров можно отнести: необходимость индивидуальной градуировки; влияние изменений вязкости измеряемой среды и гидродинамических параметров потока на показания прибора; наличие опор, износ которых сокращает срок службы приборов, снижает точность.

Шариковый тахометрический расходомер – это тахометрический расходомер, в котором преобразовательным элементом является движущийся шарик. Шариковые расходомеры содержат в качестве подвижного элемента шарик, непрерывно движущийся в одной плоскости по внутренней поверхности трубы под воздействием вращающегося потока, который получается за счет тангенциального подвода измеряемой среды или закручивания потока винтовым аппаратом. Частота вращения шарика по кругу преобразуется в электрический частотный сигнал индукционным или индуктивным преобразователем. Скорость движения шарика по окружности трубы пропорциональна объемному расходу жидкости (URL: <https://www.ngpedia.ru/id380674p3.html>).

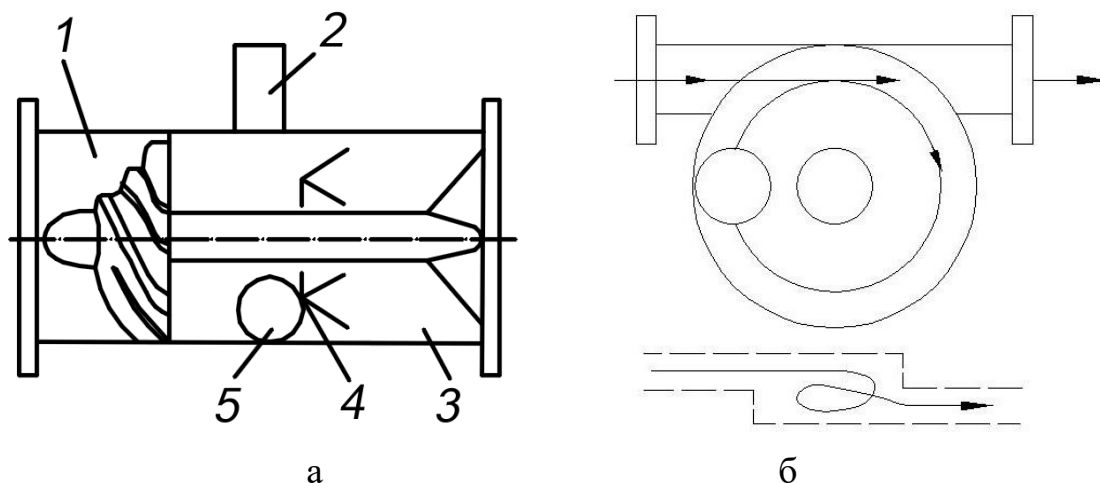


Рис. 39. Шариковый преобразователь расхода: а – для больших расходов
б – для малых расходов; 1 – формирователь; 2 – тахометрический преобразователь; 3 – струевыпрямитель; 4 – ограничительное кольцо; 5 – шарик

Поток жидкости, закрученный специальным устройством – формирователем 1 (рис. 39), вызывает движение шарика 5 по окружности. От перемещения вдоль трубы шарик удерживает ограничительное кольцо 4, за которым находится струевыпрямитель 3. На внешней стороне немагнитного корпуса располагается тахометрический преобразователь 2.

Для небольших расходов преобразователь не имеет специального формирователя для закручивания потока, и движение шарика по окружности вызывается тангенциальным подводом жидкости. Шариковые расходомеры могут применяться для измерения расхода жидкостей плотностью 700– 1400 кг/м³, а также агрессивных и жидкостей с твердыми включениями. Погрешность составляет 1,5–2,5 %.

У *роторно-шаровых тахометрических* расходомеров, в отличие от шариковых, шар (или другое тело вращения) не движется по кругу, а вращается вокруг своей оси под воздействием потока измеряемого вещества.

К силовым расходомерам группы Б можно отнести также камерные и силовые расходомеры. Рассмотрим наиболее применимые из них.

Камерные счетчики и расходомеры (Счетчики количества расхода вещества. URL: <http://referat.co>)

Камерными называются расходомеры и счетчики, подвижные элементы которых приходят в движение (непрерывное или периодическое) под давлением измеряемой жидкости или газа и при этом отмеривают определенные объемы или массы измеряемого вещества.

Камерные расходомеры (рис. 40, 41) измеряют объемный расход напрямую путем повторяющегося захвата порции жидкости. Общий объем жидкости, проходящей через расходомер в заданный промежуток времени, – это произведение объема порции на количество порций.

Камерные расходомеры часто суммируют расход напрямую на встроенный счетчик, но они также могут генерировать импульсный выход, который может быть передан в комнату управления. Так как каждый импульс представляет дискретный объем жидкости, они хорошо подходят для автоматического дозирования и учета.

Данный тип расходомеров имеет ряд преимуществ:

- высокий класс точности;
- невысокая стоимость;
- возможность измерения малых расходов;
- широкий диапазон измерения;
- возможность измерения расходов жидкостей с относительно высокой вязкостью.

Недостатки камерных измерителей расхода:

- наличие движущихся частей. Износ движущихся механизмов приводит к снижению точности измерений или к возможному выходу из строя расходомера;
- относительно сложное конструктивное исполнение;
- высокая чувствительность к механическим примесям;
- не применяют для измерения расхода в трубах с большим диаметром;
- сложность ремонта. Обычно ремонт камерных расходомеров возможен только в заводских условиях.



Рис. 40. Камерный счетчик с эластичными стенками

Камерные счетчики (рис. 40) имеют большое число различных разновидностей. Их можно разделить на три основных группы:

- 1) с эластичными стенками камер;
- 2) без движущихся разделительных элементов;
- 3) с движущимися разделительными элементами.

Наиболее известный прибор первой группы – газосчетчик *с эластичными стенками* двух или более мерных камер (рис. 40), которые последовательно заполняются и опустошаются при их постоянном возвратно-поступательном движении. Газораспределительный механизм золотниковый или клапанный. Приборы этой группы находят широкое применение при измерении газа, расходуемого мелкими потребителями.

Приборы второй группы *без движущихся разделительных элементов* (рис. 41) состоят из одной или нескольких мерных камер, которые последовательно опорожняются и заполняются.

К ним относятся:

- вращающиеся барабанные (измеряют объем жидкости или газа);
- опрокидывающиеся (измеряют массу или объем жидкости);
- приборы с колеблющимся колоколом.

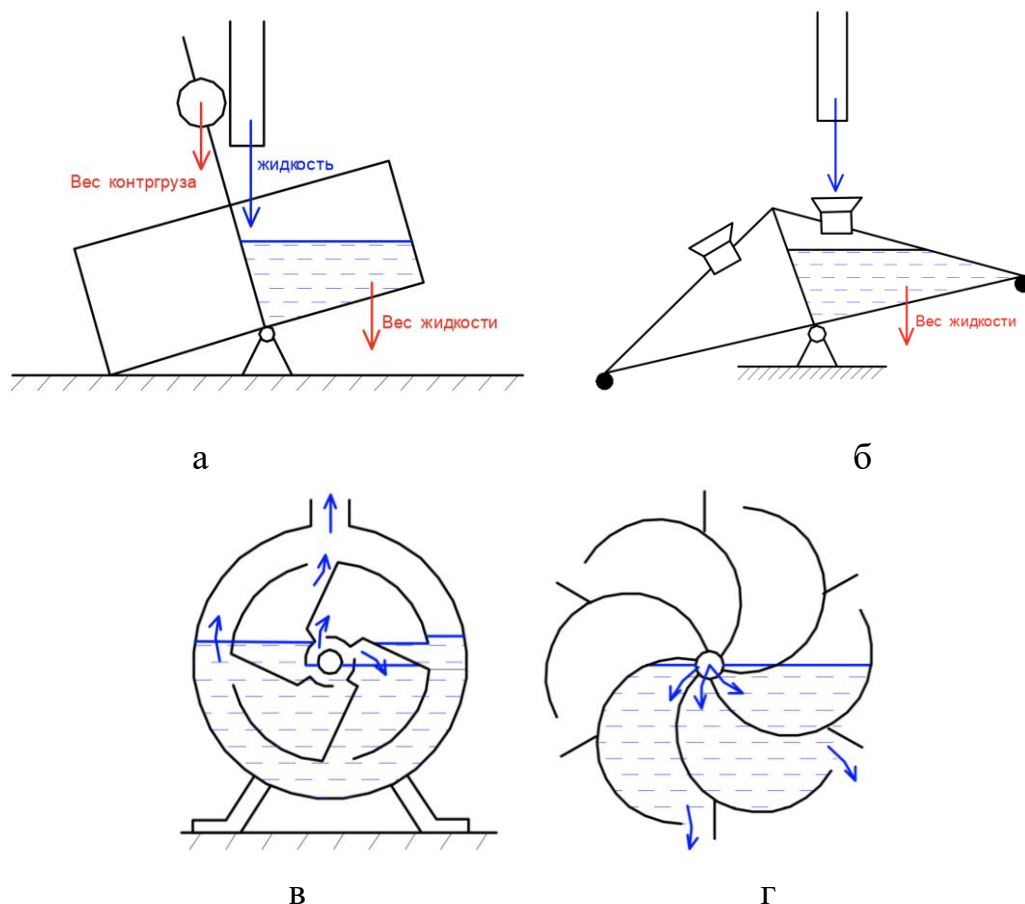


Рис. 41. Камерные преобразователи расхода без движущихся разделительных элементов: а) опрокидывающийся гравиметрический; б) опрокидывающийся объемный; в) барабанный для газа; г) барабанный для жидкости

Счетчики без движущегося разделительного элемента считаются самыми точными. Но они служат только для измерения небольших расходов и лишь при ограниченном давлении измеряемого вещества.

Барабанные счетчики (рис. 41, в–г) состоят из барабана, разделенного перегородками той или иной формы на несколько равновеликих измерительных камер. Смещение центра тяжести барабана от вертикали, проходящей через ось его вращения, при поступлении в него жидкости вызывает периодический или непрерывный поворот барабана. В счетчиках газа барабан непрерывно поворачивается под действием разницы давлений газа на входе и выходе. Барабанные счетчики применяют только при измерении объемного количества жидкости или газа. Однако он может применяться и для измерения массы прошедшей жидкости (барабанный счетчик с противодействующим контргрузом).

Промышленностью выпускаются барабанные счетчики с номинальным объемом каждой камеры 0,33, 1, 2, 5, 10 и 20 л. Погрешность измерения в диапазоне (1–100) cm^3 не более 1 %, а в диапазоне (0–1) cm^3 не более 2 %.

Такие счетчики применяют для измерения количества различных жидкостей, причем для агрессивных их изготавливают из керамических материалов.

Существуют конструкции счетчиков с большим числом измерительных камер (см. рис. 41, г), но без внутреннего цилиндра. Поэтому жидкость из отверстия в кольцевой трубке, которая идет вдоль оси, поступает в одну или сразу две измерительные камеры, находящиеся под этим отверстием. Форма камер несимметрична относительно вертикали, проходящей через ось, и по мере заполнения камер центр тяжести счетчика сдвигается вправо. В этом и заключается основная причина постоянного вращения такого барабана по часовой стрелке.

Благодаря хорошим метрологическим характеристикам барабанные счетчики применяют всегда, когда нужна высокая точность измерения, а измеряемая жидкость находится под атмосферным или небольшим избыточным давлением.

Опрокидывающиеся счетчики (рис. 41, а) применяются только для жидкости. Они состоят из двух камер или ковшей, опрокидывание которых происходит после заполнения одной из камер определенным объемом или определенной массой жидкости в случае грузового уравнивания. Первые опрокидываются после начала перетекания жидкости в дополнительный желобок, прикрепленный к наружному краю камеры. Объем камер от 0,5 до 50 л, интервалы между опрокидываниями 10–30 с. Опрокидывающиеся счетчики удобны для измерения различных жидкостей при малых расходах в очень широком диапазоне. Погрешность не более 2 % от измеряемой величины.

Для уменьшения погрешности следует в момент, когда наполнение очередной камеры заканчивается, автоматически снижать расход поступающей жидкости по аналогии с тем, как это делается у ковшевых весов. Тогда

погрешность можно снизить до 0,1 %, но при этом устройство счетчика существенно усложнится.

Опрокидывающиеся счетчики пригодны для измерения расходов при повышенном давлении, но при условии, что они помещены в прочный и герметичный корпус, внутрь которого подан воздух под определенным давлением.

Чаще всего применяют приборы группы «В» с *движущимися разделительными элементами*. Камерные расходомеры с движущимися разделительными элементами состоят из жесткой камеры, в которой непрерывно перемещается один или нескольких разделительных элементов (поршня, диска, роторов и т. п.) осуществляется отмеривание объемов жидкости или газа.

Перечислим основные их разновидности: роторные, поршневые, зубчатые, лопастные, ковшевые, кольцевые, дисковые.

Роторные счетчики (рис. 42) отличаются друг от друга формой и числом роторов. Они могут быть одинаковыми, например, восьмеркообразными, трапецеидальными или же различными. Часто применяются в качестве счетчиков газа.

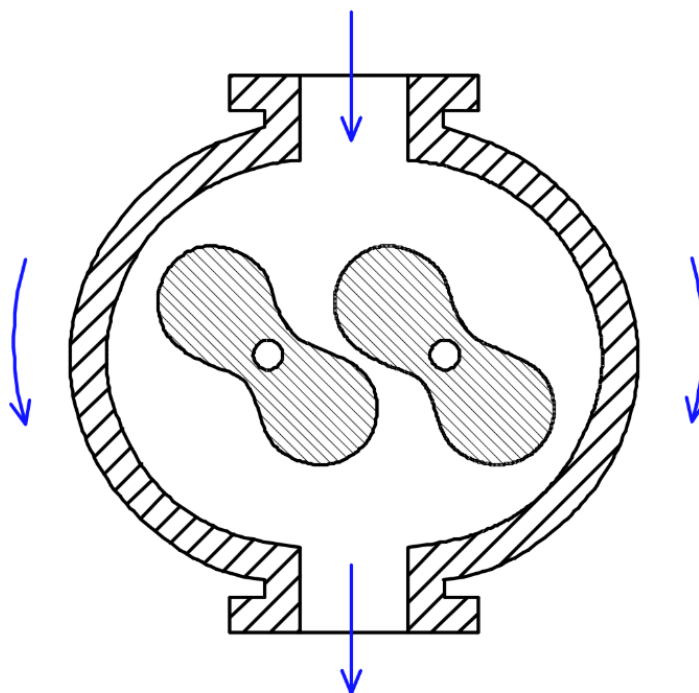


Рис. 42. Роторный счетчик

Поршневые счетчики могут быть однопоршневыми и многопоршневыми с коленчатым валом или распределительным диском. Они отличаются высокой точностью и применяются для измерения расхода нефтепродуктов.

Зубчатые счетчики (рис. 43) имеют две резко отличные друг от друга разновидности: счетчики с овальными шестернями и счетчики винтовые, состоящие из двух-трех роторов винтовой формы. Те и другие предназначены для измерения жидкостей, причем винтовые лишь при весьма малых расходах. Основное применение имеют счетчики с овальными шестернями для измерения

жидкости самой различной вязкости, в том числе и очень высокой. Погрешность не более 1 % от измеряемого значения.



Рис. 43. Устройство зубчатого расходомера с овальными шестернями

Электромагнитные расходомеры не соприкасаются непосредственно с измеряемой средой. К этим приборам относятся *электромагнитные, ультразвуковые и радиоактивные* расходомеры. Рассмотрим электромагнитные и акустические ультразвуковые расходомеры.

Электромагнитные расходомеры, в основе работы которых лежит взаимодействие движущейся электропроводной жидкости с магнитным полем, подчиняющейся закону электромагнитной индукции. Принцип действия электромагнитных (индукционных) расходомеров основан на законе электромагнитной индукции, в соответствии с которым в электропроводной жидкости, пересекающей магнитное поле, индуцируется ЭДС, пропорциональная скорости движения жидкости (расходу жидкости). Серийные электромагнитные расходомеры предназначены для измерения расхода жидкостей с электропроводностью не менее 10^{-3} см/м (соответствует электропроводности водопроводной воды).

Схема электромагнитного расходомера представлена на рис. 44. Корпус 1 расходомера представляет собой трубу, изготовленную из немагнитного материала и покрытую изнутри электрической изоляцией 2. Через стенку трубы изолированно от нее по диаметру введены электроды 3, находящиеся в контакте с жидкостью. Расходомер расположен между полюсами магнита 4. Силовые линии магнитного поля перпендикулярны плоскости, проходящей через ось трубы и электроды. В жидкости образуется ЭДС, пропорциональная объемному ее расходу. Область использования постоянных магнитов ограничена вследствие поляризации электродов для жидкостей с ионной проводимостью. Для

измерения расхода сред с ионной проводимостью применяют расходомеры с переменным магнитным полем.

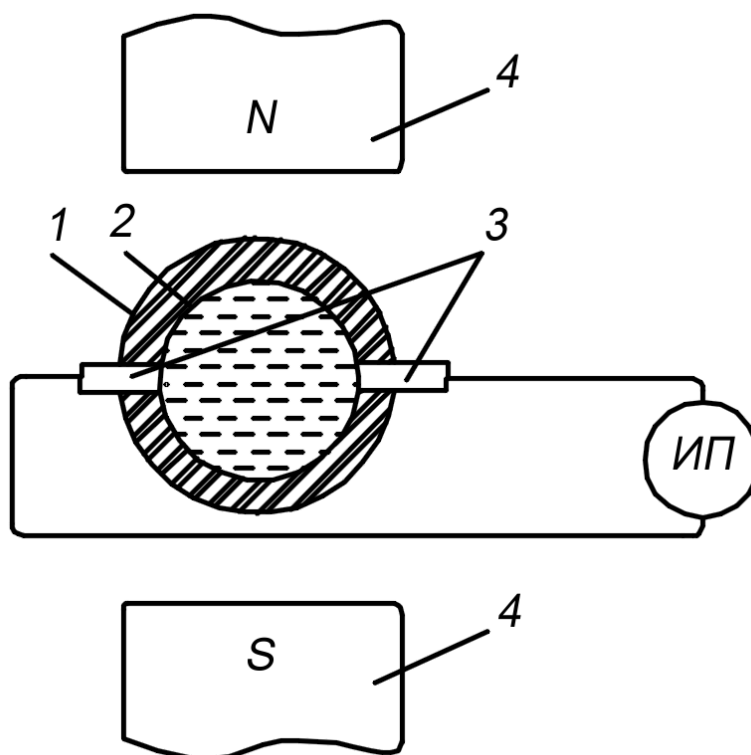


Рис. 44. Схема электромагнитного расходомера с внешним магнитом:
1 – корпус преобразователя; 2 – изоляция; 3 – электроды; 4 – магнит;
ИП – измерительный прибор

К числу недостатков указанных расходомеров следует отнести требование к минимальному значению электропроводности измеряемой среды, сложность измерительной схемы. Промышленность выпускает несколько типов индукционных расходомеров классов 1 и 1,5. Наиболее точными являются расходомеры типа ИР-51 кл. 1, диаметр условного прохода которых составляет 10–300 мм, а верхний предел измерения – 0,32–2500 м³/ч.

Электромагнитные расходомеры (рис. 45), преобразующие скорость движущейся в магнитном поле проводящей жидкости в э.д.с., не имеют частей, выступающих внутрь трубопровода, сужений или изменений профиля. Поэтому гидравлические потери на приборе минимальны, а первичный преобразователь расходомера и технологический трубопровод можно чистить без демонтажа. Вот почему их используют для измерений агрессивных, абразивных, вязких и сильно загрязненных жидкостей.

Электромагнитные расходомеры могут быть выполнены как с постоянными, так и с электромагнитами, питаемыми переменным током частотой. Эти электромагнитные расходомеры имеют свои достоинства и недостатки, определяющие области их применения.

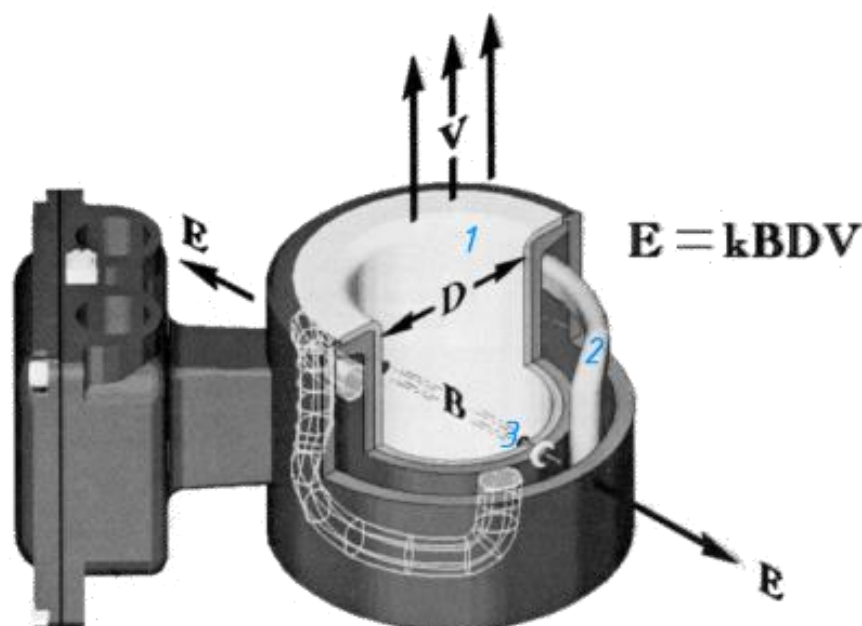


Рис. 45. Принципиальная схема электромагнитного расходомера:
1) трубопровод; 2) полюса магнита; 3) электроды для съема ЭДС

Электромагнитные расходомеры широко применяют в металлургической, биохимической и пищевой промышленности, в строительстве, в медицине, так как они малоинерционны в сравнении с расходомерами других типов. Расходомеры незаменимы в тех процессах автоматического регулирования, где запаздывание играет существенную роль, или при измерении быстро меняющихся расходов.

На показания электромагнитных расходомеров не влияют взвешенные в жидкости частицы и пузырьки газа, а также физико-химические свойства измеряемой жидкости (вязкость, плотность, температура и т. п.), если они не изменяют её электропроводность.

Однако расходомеры данного типа непригодны для измерения расхода газов, а также жидкостей с малой электропроводностью, что является их существенным недостатком. 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.

Акустические расходомеры

Акустическими называются расходомеры, основанные на измерении зависящего от расхода того или другого эффекта, возникающего при прохождении акустических колебаний через поток жидкости или газа. Почти все применяемые на практике акустические расходомеры работают в ультразвуковом диапазоне

частот и поэтому называются ультразвуковыми (URL: <http://npropramen.ru/information/other-flowmeters/physycal-phenomena/9-acoustic-flowmeters>).

Они разделяются на расходомеры, *основанные на перемещении акустических колебаний движущейся средой*, и расходомеры, основанные на эффекте Доплера, появившиеся позже. Главное распространение получили приборы, основанные на измерении разности времен прохождения акустических колебаний по потоку и против него. Значительно реже встречаются приборы, в которых акустические колебания направляются перпендикулярно к потоку и измеряется степень отклонения этих колебаний от первоначального направления.

Приборы, основанные на явлении Доплера, предназначены в основном для измерения местной скорости, но они находят также применение и для измерения расхода. Измерительные схемы у них более простые.

Наряду с указанными разновидностями ультразвуковых расходомеров имеются акустические расходомеры, получившие название длинноволновых, работающие в звуковом диапазоне частот акустических колебаний.

Ультразвуковые расходомеры обычно служат для измерения объемного расхода, потому что эффекты, возникающие при прохождении акустических колебаний через поток жидкости или газа, связаны со скоростью последнего. Но путем добавления акустического преобразователя, реагирующего на плотность измеряемого вещества, можно осуществить и измерение массового расхода.

Приведенная погрешность ультразвуковых расходомеров лежит в широких пределах от 0,1 до 2,5 %, но в среднем может быть оценена цифрами 0,5–1 %. Значительно чаще рассматриваемые расходомеры применяют для измерения расхода жидкости, а не газа, вследствие малого акустического сопротивления последнего и трудности получения в нем интенсивных звуковых колебаний. Ультразвуковые расходомеры пригодны для труб любого диаметра, начиная от 10 мм и более.

Ультразвуковые расходомеры (рис. 46), в основе которых лежит увлечение звуковых колебаний движущейся средой, перспективны для измерений загрязненных, агрессивных жидкостей и пульп. Основными элементами первичных преобразователей расходомеров являются пьезоэлементы, выполняющие функции излучателей и приемников ультразвуковых колебаний.

На показания ультразвукового расходомера влияют профиль скоростей в потоке, изменяющийся с изменением расхода из-за физико-химических свойств контролируемой среды, ее температуры, местных сопротивлений. Основная погрешность ультразвуковых расходомеров находится в пределах 2–4 %, в отдельных разработках не превышает $\pm 0,3$ %.

Принцип действия ультразвуковых расходомеров заключается в зависимости скорости ультразвука (относительно трубы) от скорости потока жидкости (газа). В поток измеряемой жидкости (газа) через стенку трубопровода пьезоэлементом, возбуждаемым генератором, посылаются упругие колебания с

частотой ультразвука. Эти колебания воспринимаются приемником, установленным в направлении потока движения жидкости и против него.

По методу определения расхода жидкости ультразвуковые расходомеры подразделяются на *импульсные, частотные и фазовые*.

В *импульсных* расходомерах проводится измерение разности времени Δt прохождения импульса по потоку и против него. Скорость потока, а следовательно, и его расход зависят от Δt . Поскольку величина Δt очень мала (10^{-6} – 10^{-7} с), в импульсных расходомерах используются сложные электронные схемы, что ограничивает область применения этих приборов.



Рис. 46. Ультразвуковой расходомер

В *частотных* расходомерах каждый последующий импульс посылается после того, как предыдущий достиг приемника. Разность частот следования импульсов по потоку и против него определяется схемой установки и пропорциональна скорости и объемному расходу жидкости.

В *фазовых* расходомерах измеряется разность фаз ультразвуковых колебаний, распространяющихся по потоку и против него. Разность фаз, как и разность частот, пропорциональна расходу жидкости.

Недостатком указанных расходомеров является зависимость показаний прибора от измерения физико-химических свойств среды, ее температуры, а также скорости потока. Погрешность увеличивается из-за наличия сопротивления движению потока в трубопроводе.

Благодаря возможности применения трубопроводов различных диаметров (от 10 мм и выше) и бесконтактному измерению расхода любых сред, в том числе

и неэлектропроводных, ультразвуковые расходомеры могут быть использованы в различных отраслях промышленности.

Портативный ультразвуковой расходомер (рис. 47) – это прибор для измерения расхода жидкостей, в основе работы которого лежит времяимпульсный способ определения скорости потока (URL: <https://www.geonndt.ru/pribor-6183-rashodomer-streamlux-sls-700p.htm.htm?t=1>).

Ультразвуковые расходомеры могут определять скорость и направление потока; контролировать расход без врезки в сеть; обнаруживать места и причины потерь. Они рекомендованы для любых видов жидкости с долей примесей до 5 %. Относительная погрешность измерения $\pm 1,0$ %. Температурный диапазон жидкостей от минус 40 до 160 °С. Подходят для труб из почти любого материала с Ду от 25 до 6000 мм.



Рис. 47. Портативный ультразвуковой расходомер

Анемометры. Анемометры-термометры цифровые (рис. 48) предназначены для измерения средней скорости направленных воздушных потоков и их температуры в вентиляционных системах (воздуховодах, каналах, коробах) промышленных и гражданских зданий, а также для измерения средней скорости ветра и температуры окружающего воздуха (Гигиена воздушной среды животноводческих помещений. URL: <http://elibrary.ru>).

Диапазон измерения скорости воздушного потока, м/с	0,1...20
Диапазон измерения температуры воздуха, °С	-20...+85
Основная погрешность измерения температуры, °С	$\pm 0,5$



Рис. 48. Анемометр-термометр

Уровнемеры

По принципу действия первичного преобразователя уровнемеры подразделяются на *механические, электрические, оптические, акустические и тепловые*.

Механические уровнемеры (Информационные технологии систем управления технологическими процессами. URL: <http://inethub.olvi.net.ua>)

Механические уровнемеры реализуют абсолютный метод измерения уровня, основанный на использовании различия плотности веществ, образующих границу раздела. Их подразделяют на поплавковые, буйковые и гидростатические.

Поплавковые уровнемеры позволяют измерять уровень практически любых жидких сред в широком температурном диапазоне. Основная погрешность уровнемеров этого типа при тщательной градуировке и правильной эксплуатации может быть сведена к ± 1 мм в диапазоне до 15–20 м.

В качестве первичного преобразователя уровнемера используется тело (поплавок), плавающее на поверхности жидкости с постоянной осадкой. Положение поплавка фиксируется и преобразуется в электрический или пневматический сигнал вторичным преобразователем.

Связь поплавка с вторичным преобразователем может осуществляться с помощью механических элементов (троса, ленты, рычага) или бесконтактных следящих систем. Поплавковые уровнемеры с механической связью проще,

однако требуют герметизации вывода при измерении уровня токсичных, легкоиспаряющихся жидкостей или в сосудах с избыточным давлением. Поплавковые уровнемеры, снабженные электроконтактным устройством, используют для контроля и регулирования уровня воды, нефтепродуктов и т. п.

Буйковые уровнемеры основаны на измерении выталкивающей силы, действующей на частично погруженное в жидкость массивное тело – буюк. Изменение уровня жидкости преобразуется буйком в усилие, которое автоматически уравнивается устройством силовой компенсации. Выпускают буйковые уровнемеры с электрическим (типа УБ-Э) и пневматическим (типа УБП) унифицированными выходными сигналами. Буйковые уровнемеры используют для измерения уровня сред плотностью 600–2500 кг/м³ при температурах до 400 °С и давлениях до 16 МПа с верхним пределом измерений 2 см–16 м.

Гидростатические уровнемеры основаны на измерении гидростатического столба жидкости в сосуде. Гидростатическое давление измеряется с помощью двух манометров, дифманометром или пьезометрическим способом. Погрешности гидростатических уровнемеров складываются из манометрических датчиков и температурных погрешностей.

Электрические уровнемеры (Информационные технологии систем управления технологическими процессами. URL: <http://inethub.olvi.net.ua>)

Электрические уровнемеры (рис. 49, а) подразделяются на кондуктометрические, емкостные и индуктивные.

Кондуктометрические уровнемеры, основанные на изменении электрического сопротивления преобразователя, погруженного в измеряемую среду, из-за значительной погрешности (5–10 %) находят преимущественное применение в качестве сигнализатора уровня проводящих жидкостей.

Емкостные уровнемеры основаны на зависимости емкости конденсатора, образованного электродами, частично погруженными в измеряемую среду. При измерении уровня жидкости изменяется емкость конденсатора, поскольку диэлектрическая проницаемость контролируемой среды больше, чем воздуха.

Простота конструкции, удобство монтажа и обслуживания, надежность, потенциально высокая точность (известны емкостные уровнемеры, погрешность которых не превышает 0,1–0,2 %), возможность использования в значительном интервале температур (до 200 °С) и давлений (до 6 МПа), классы точности – 0,5; 1,0; 1,5; 2,5 обеспечили емкостным уровнемерам широкое применение в промышленности для измерения уровня различных сред не только жидких, но и сыпучих.

Принцип действия емкостного уровнемера. В конструкцию емкостного уровнемера входит два основных элемента. Это емкостной датчик в виде стержня или кабеля цилиндрической либо плоской формы и вторичный преобразователь. Основу прибора составляет чувствительный электрический конденсатор, четко фиксирующий все изменения в диэлектрической проницаемости среды.

Устройства для измерения уровня емкостного типа могут использоваться для проведения замеров в резервуарах, хранилищах, трубах, в топливных баках. Они позволяют определить текущий уровень жидкости или отследить непрерывное изменение уровня.

Индуктивные уровнемеры, основанные на зависимости индуктивности катушки от степени ее погружения в измеряемую электропроводящую среду. Основная погрешность индуктивных уровнемеров, обусловленная погрешностями его градуирования и измерительной схемы, обычно не превышает 0,5 %.

Оптические уровнемеры

Оптические уровнемеры подразделяются на визуальные и фотометрические.

Визуальные уровнемеры (рис. 49, б) – самые простые и точные средства измерений уровня. Они представляют собой прозрачные вставки в стенках сосуда или сообщающихся с сосудом мерных трубок с нанесенной на них шкалой (URL: <https://www.ngpedia.ru/id543725p1.html>).



Рис. 49. Уровнемеры:

- а) емкостной указатель уровня жидкости AU–22 аналоговый;
- б) указатель уровня жидкости AELD–11

Основным источником дополнительной погрешности в таких уровнемерах является разница температур жидкости в контролируемом резервуаре и в мерной трубке (указателя).

В *фотометрических* уровнемерах используется световой луч, падающий под острым углом на поверхность жидкости. Отраженный от поверхности жидкости луч через оптически прозрачную стенку попадает на протяженный приемник излучения. Координата приемника, в которой фиксируется

максимальная освещенность, характеризует текущее значение уровня (Стандартные программные средства в области технического регулирования и метрологии. Конспект лекций. URL: <http://kubsau.ru>). Возмущения поверхности, появление на ней пены, крен сосуда искажают результаты измерений уровня.

Акустические уровнемеры

Акустические уровнемеры базируются на физических явлениях, связанных с распространением звука в жидкой или газовой среде. Различают три принципа построения акустических уровнемеров: локационный, поглощение и резонансный. Широко распространен принцип локации, в соответствии с которым измерение уровня осуществляется по времени прохождения расстояния от излучателя до границы раздела двух сред и обратно. Первичным преобразователем в них служит пьезоэлемент, выполняющий одновременно функции источника и приемника ультразвуковых колебаний. Локация границы раздела двух сред производится либо со стороны газа, либо со стороны рабочей среды. Уровнемеры, в которых локация границы раздела двух сред осуществляется через газ, называют *акустическими*, а уровнемеры с локацией границы раздела двух сред через слой рабочей среды (жидкости) – *ультразвуковыми*.

Ультразвуковой уровнемер (рис. 50) – это прибор, измеряющий уровень, который является счетчиком непрямого действия (Всё про ультразвуковой уровнемер: принцип действия, схемы и т. д. URL: <https://kipiavp.ru>). Под приборами непрямого действия подразумеваются устройства, которые определяют изменение уровня жидкости, не входя в непосредственный физический контакт с самой жидкостью.

Принцип работы ультразвукового уровнемера – для того, чтобы измерять или контролировать уровень, ряд акустических контрольно-измерительных приборов включает в себя устройства, которые работают на основе принципа передачи звуковой энергии в форме звуковых волн. Свойствами звуковых волн, измеряющих уровень, являются: способность отражаться или отталкиваться от поверхности; время прохождения, т. е. количество времени, за которое волны доходят до поверхности, отражаются от поверхности и возвращаются; частота.

Транзитное время, или время прохождения звуковых волн прямо пропорционально расстоянию, которое должны пройти звуковые волны; чем больше расстояние, которое должны пройти звуковые волны, тем больше величина транзитного времени. Частотой называется количество звуковых волн в единицу времени. Излучатель преобразует электрическую энергию в звуковую энергию в виде звуковых волн.



Рис. 50. Ультразвуковой уровнемер фирмы EndressHauser

В данном примере электрическая энергия преобразуется в звуковые волны такой частоты, при которой они будут проходить через воздушную среду, но будут отражаться от поверхности жидкости. Когда звуковые волны отталкиваются от поверхности жидкости, они затем возвращаются к приемнику, который преобразует звуковые волны обратно в электрическую энергию. Блок управления посылает на индикатор электрический сигнал, который прямо пропорционален величине транзитного времени. На индикаторе фиксируется показание, которое в свою очередь прямо пропорционально уровню жидкости.

Современные акустические уровнемеры можно использовать для измерений уровня любых жидкостей с температурой не более 80 °С и давлением до 4 МПа. Класс точности 1,0; 1,5.

Магнитный указатель уровня со шкалой

Принцип работы магнитного указателя уровня (рис. 51): плавок перемещается вверх и вниз внутри камеры, которая монтируется на резервуаре с технологической жидкостью. Внутри поплавка имеется магнитный блок, который взаимодействует с визуальным индикатором, расположенным на внешней стороне. При перемещении поплавка на поверхности жидкости или на границе раздела сред магнитное поле поворачивает индикаторные флажки, имеющие контрастную расцветку. В результате можно достаточно точно определить уровень жидкости в емкости.



Рис. 51. Магнитный указатель уровня со шкалой MG-33SC

Контрольные вопросы

1. Для чего служат расходомеры?
2. Что такое счетчик?
3. Перечислите группы расходомеров и счетчиков.
4. Принцип работы ротаметра.
5. Тахометрические расходомеры. Какие бывают?
6. Опишите принцип работы камерных счетчиков.
7. Опишите принцип работы роторных счетчиков.
8. Принцип работы электромагнитных расходомеров.
9. Принцип работы ультразвуковых расходомеров.
10. Опишите, как работает портативный ультразвуковой расходомер.
11. Опишите принцип работы электрического емкостного уровнемера.
12. Опишите принцип работы электрического оптического уровнемера.
13. Опишите принцип работы акустического уровнемера.
14. Опишите принцип работы магнитного указателя уровня со шкалой.

2.2.4. Измерение давления

Общие сведения

Приведем термины давление, абсолютное давление, атмосферное и избыточное давление согласно ГОСТ 8.271 «Средства измерений давления Термины и определения» [26].

Давление – физическая величина, характеризующая напряженное состояние сред – жидких и газообразных, подчиняющихся закону Паскаля, – в которых при равновесии касательные напряжения отсутствуют.

Абсолютное давление – давление (p), при измерении которого за начало отсчета принимают абсолютный нуль давления. Абсолютный нуль давления может существовать либо в замкнутом объеме, из которого удалены все молекулы, либо при полном прекращении движения молекул, т.е. при абсолютной температуре равной 0 К.

Атмосферное давление – абсолютное давление околоземной атмосферы (p_a).

Избыточное давление – разность между полным абсолютным давлением и абсолютным давлением окружающей среды.

Вакуум (разрежение) – это такое состояние газа, при котором его давление меньше атмосферного. Количественно вакуумметрическое давление определяется разностью между атмосферным давлением и абсолютным давлением внутри вакуумной системы.

Под термином *вакуумметрическое давление* (p_v) (разрежение или вакуум) подразумевается разность между атмосферным давлением и абсолютным давлением, меньшим атмосферного. Оно рассчитывается по формуле (6):

$$p_v = p_a - p. \quad (6)$$

При измерении давления в движущихся средах под понятием давления понимают статическое и динамическое давление.

Статическое давление ($p_{ст}$) – это давление, зависящее от запаса потенциальной энергии газовой или жидкостной среды; определяется статическим напором. Оно может быть избыточным или вакуумметрическим, в частном случае может быть равно атмосферному.

Динамическое давление (p_d) – это давление, обусловленное скоростью движения потока газа или жидкости.

Полное давление (p_n) движущейся среды складывается из статического ($p_{ст}$) и динамического (p_d) давлений. Оно рассчитывается по формуле (7):

$$p_n = p_{ст} + p_d. \quad (7)$$

В литературе можно встретить большое количество разных единиц измерения давления. Необходимо описать каждую из них и обсудить возможность их применения.

Атмосфера техническая (ат) – единица давления, равная давлению, производимому силой 1 кгс, равномерно распределенной по плоской поверхности площадью 1 см² (1 ат = 1 кгс/см²), а по СИ 1 ат = 9,8·10⁴ Па; 1 ат = 0,1 МПа. В свою очередь сила в 1 кгс равна силе тяжести, действующей на тело массой 1 кг при значении ускорения свободного падения 9,80665 м/с² (нормальное ускорение свободного падения): 1 кгс = 9,80665 Н. Таким образом, 1 ат = 98 066,5 Па точно. В настоящее время Международная организация законодательной метрологии (МОЗМ) относит атмосферу техническую к тем единицам измерения, которые должны быть изъяты из обращения как можно скорее там, где они используются в настоящее время, и которые не должны вводиться, если они не используются. Однако в Российской Федерации атмосфера техническая допущена к использованию в качестве внесистемной единицы с областью применения «все области».

Атмосфера физическая (атм) – единица давления, равная давлению столба ртути высотой 760 мм на его горизонтальное основание при плотности ртути 13 595,04 кг/м³, температуре 0 °С и при нормальном ускорении свободного падения 9,80665 м/с². В соответствии с определением 1 атм = 101 325 Па = 1,033233 ат. В настоящее время МОЗМ относит атмосферу физическую к тем единицам измерения, «которые должны быть изъяты из обращения как можно скорее там, где они используются в настоящее время, и которые не должны вводиться, если они не используются». Не допускается для применения в России.

Паскаль (русское обозначение: Па, международное: Ра) – единица измерения давления (механического напряжения) равная давлению, вызываемому силой, равной одному ньютону, равномерно распределенной по нормальной к ней поверхности площадью один квадратный метр: 1 Па = 1 Н·м⁻² (т. е. 1 Па = 1 Н/м²). В СИ паскаль также является единицей измерения механического напряжения, модулей упругости, модуля Юнга, объемного модуля упругости, предела текучести, предела пропорциональности, сопротивления разрыву, сопротивления срезу, звукового давления, осмотического давления и т. д.

Бар (русское обозначение: бар; международное: bar; от греч. βάρος – тяжесть) – внесистемная единица измерения давления, примерно равная одной атмосфере. Один бар равен 105 кПа. В Российской Федерации бар допущен к использованию в качестве внесистемной единицы без ограничения срока с областью применения «промышленность». В своих рекомендациях МОЗМ относит бар к единицам измерения, «которые могут временно применяться до даты, установленной национальными предписаниями, но которые не должны вводиться, если они не используются».

Миллиметр ртутного столба (русское обозначение: мм рт. ст.; международное: mm Hg) – внесистемная единица измерения давления, равная 101325/760 ≈ 133,3223684 Па; иногда называется «торр» (русское обозначение – торр, международное – Torr).

В Российской Федерации миллиметр ртутного столба допущен к использованию в качестве внесистемной единицы без ограничения срока с областью применения «медицина, метеорология, авиационная навигация». Международная организация законодательной метрологии в своих рекомендациях относит миллиметр ртутного столба к единицам измерения, «которые могут временно применяться до даты, установленной национальными предписаниями, но которые не должны вводиться, если они не используются».

Миллиметр водяного столба (русское обозначение: мм вод. ст., мм Н₂O; международное: mm Н₂O) – внесистемная единица измерения давления, равная гидростатическому давлению столба воды высотой 1 мм, оказываемому на плоское основание при температуре воды 4 °С. В Российской Федерации допущен к использованию в качестве внесистемной единицы измерения давления без ограничения срока с областью использования «все области» (URL: <http://domchtonado.ru>). В табл. 7 приведены соотношения между единицами давления.

Фунт-сила на квадратный дюйм Psi (lb.p.sq.in.) – внесистемная единица измерения давления (англ. round-force per square inch, lbf/in²). В основном употребляется в США, численно равна 6 894,75729 Па.

Таблица 7

Единица измерения	Паскаль (Pa, Па)	Бар (bar, бар)	Техническая атмосфера (at, ат)	Физическая атмосфера (atm, атм)	Миллиметр ртутного столба (мм рт. ст., mm Hg, Torr, торр)	Миллиметр водяного столба (мм вод. ст., mm Н ₂ O)
1 Па	1 Н/м ²	10 ⁻⁵	10,197·10 ⁻⁶	9,8692·10 ⁻⁶	7,5006·10 ⁻³	1,0197·10 ⁻⁴
1 бар	10 ⁵	1·10 ⁶ дин/см ²	1,0197	0,98692	750,06	10,197
1 ат	98066,5	0,980665	1кгс/см ²	0,96784	735,56	10
1 атм	101325	1,01325	1,033	1 атм	760	10,33
1 мм рт. ст.	133,322	1,3332·10 ⁻³	1,3595·10 ⁻³	1,3158·10 ⁻³	1 мм рт. ст.	13,595·10 ⁻³
1 мм вод. ст.	9.806	9,81·10 ⁻⁵	·10 ⁻⁴	9.6784 ·10 ⁻⁵	73,556	1 мм вод. ст.

Широкое использование давления в различных отраслях промышленности вызывает необходимость применения большого числа средств измерения давления и разности давлений, различных по принципу их действия, устройству, назначению и точности.

Основные термины и определения дадим согласно ГОСТ 8.271-77 «Средства измерений давления. Термины и определения» [26]. Настоящий стандарт устанавливает термины и определения понятий в области средств измерений давления. В зависимости от измеряемой величины средства измерения давления подразделяются на:

манометр – измерительный прибор или измерительная установка для измерения давления или разности давлений;

манометр абсолютного давления – манометр для измерения давления, отсчитываемого от абсолютного нуля;

барометр – манометр абсолютного давления для измерения давления околоземной атмосферы. Примечание: барометр с непрерывной записью показаний называется барографом;

манометр избыточного давления – манометр для измерения разности между абсолютным давлением, большим абсолютного давления окружающей среды, и абсолютным давлением окружающей среды. В большинстве случаев абсолютным давлением окружающей среды является атмосферное давление. Манометр избыточного давления в газовых средах с верхним пределом измерения не более 40000 Па называется напоромером;

вакуумметр – манометр для измерения давления разреженного газа. Вакуумметр для измерения давления разреженного газа с верхним пределом измерения не более 40000 Па называется тягомером;

мановакуумметр – манометр, для измерения избыточного давления и давления разреженного газа. Мановакуумметр для газовых сред с верхним пределом измерения не более 20000 Па называется тягонапоромером;

дифференциальный манометр – манометр для измерения разности двух давлений. Дифманометр с верхним пределом измерения не более 40000 Па называется микроманометром;

измерительный преобразователь давления – первичный измерительный преобразователь, воспринимающий непосредственно измеряемое давление и преобразующий его в другую физическую величину;

измеритель парциальных давлений – манометр для измерения давления, которое оказывал бы один из газов, входящих в газовую смесь, если бы из нее были удалены остальные газы, при условии сохранения первоначальных объема и температуры (Методы и средства измерений и контроля. Лабораторный практикум. Учебное пособие. URL: <http://bibliorossica.com>).

Приборы давления, основанные на использовании деформации или изгибающего момента упругих чувствительных элементов, воспринимающих измеряемое давление среды и преобразующих его в перемещение или усилие, применяют в различных областях техники в широком диапазоне измерений – от 50 Па до 1000 МПа (Теплотехнические измерения и приборы. URL: <http://inethub.olvi.net.ua>).

Важнейшим элементом любого средства измерений является его первичный преобразователь, который воспринимает измеряемое давление и преобразует его в сигнал, поступающий в измерительную цепь прибора. С помощью промежуточных преобразователей сигнал от чувствительного элемента преобразуется в показания манометра или регистрируется им, а в измерительном преобразователе давления – в унифицированный выходной сигнал, поступающий в системы контроля или управления.

СИ давления классифицируют по методам измерений, видам давлений, принципу действия, функциональному назначению, диапазону и точности измерений.

В средствах измерений давления используются прямые и косвенные методы измерений. Большинство манометров и измерительных преобразователей давления основано на прямом методе измерений, при котором измеряемое давление непосредственно воздействует на чувствительный элемент.

Эти приборы подразделяются в основном на следующие разновидности (Теплотехнические измерения и приборы. URL: <http://inethub.olvi.net.ua>).

1. Приборы давления прямого действия – показывающие и самопишущие, у которых перемещение центра или свободного конца упругого чувствительного элемента, вызываемое действием давления, при помощи дополнительного механизма преобразуется в перемещение отсчетного устройства для показания и записи измеряемой величины.

2. Приборы давления прямого действия и реле давления (без отсчетных устройств), снабженные электроконтактами и предназначенные для измерения и сигнализации или только сигнализации отклонения давления от заданного значения, а также для работы в схемах защиты, блокировки или позиционного регулирования.

3. Первичные приборы давления с отсчетными устройствами или без них, снабженные передающими преобразователями с унифицированными выходными сигналами переменного тока (постоянного) или пневматическим и составляющие с взаимозаменяемыми вторичными показывающими или самопишущими приборами отдельные измерительные комплекты. Некоторые приборы этого типа используются в системах автоматического регулирования и управления.

Существуют и другие разновидности приборов.

Виды манометров по принципу действия

Жидкостной манометр – манометр, принцип действия которого основан на уравнивании измеряемого давления, или разности давлений, давлением столба жидкости. Разница уровней в зависимости от плотности жидкости является мерой давления. Жидкостные средства измерения давления характерны отсутствием дистанционной передачи показаний, небольшими пределами измерений и низкой прочностью. В то же время благодаря своей простоте, дешевизне и относительно высокой точности измерений они широко распространены в лабораториях и реже в промышленности (Измерение давления. URL: <http://studfiles.ru>).

U-образный манометр – это жидкостный манометр (рис. 52), состоящий из сообщающихся сосудов, в которых измеряемое давление определяют по одному или нескольким уровням жидкости. Это простейший прибор для измерения давления или разности давлений. Представляет собой согнутую

стеклянную трубку, заполненную рабочей жидкостью (ртутью или водой) и прикрепленную к панели со шкалой. Один конец трубки соединяется с атмосферой, а другой подключается к объекту, где измеряется давление.

Верхний предел измерения двухтрубных манометров составляет 1...10 кПа при приведенной погрешности измерения 0,2...2 %. Точность измерения давления этим средством будет определяться точностью отсчета величины h (величины разности уровня жидкости), точностью определения плотности рабочей жидкости ρ и не зависеть от сечения трубки.

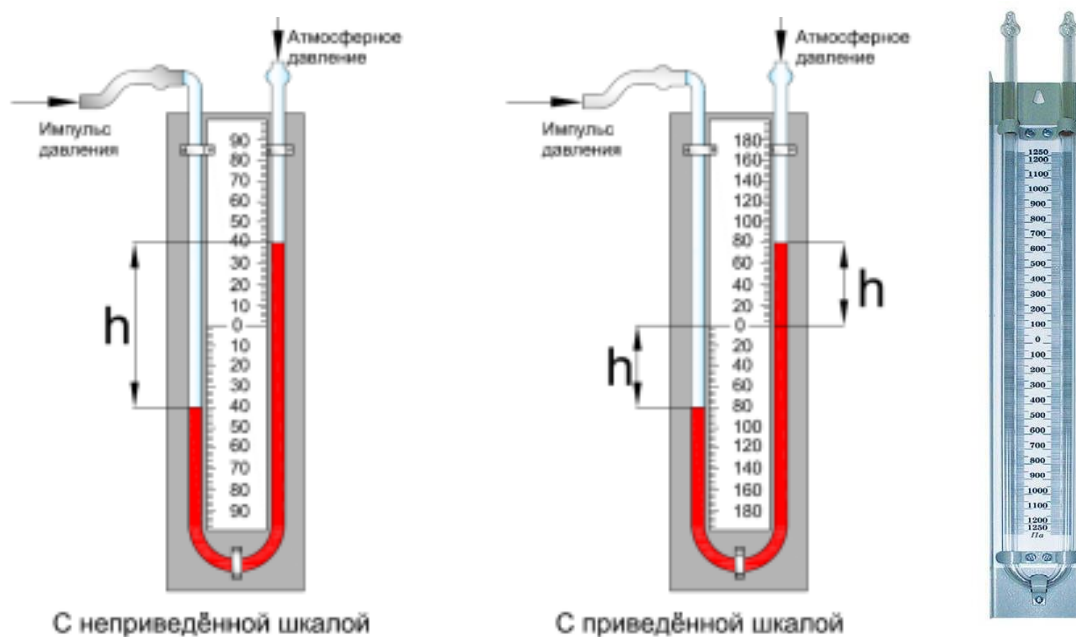


Рис. 52. Схема U-образного (двухтрубного) манометра

Приборы U-образные (двухтрубные) и чашечные (однотрубные) относятся к группе жидкостных приборов с **видимым уровнем**. Они применяются в качестве манометров для измерения избыточного давления воздуха и неагрессивных газов до 700 мм вод. ст. (7000 Па) и 735 мм рт. ст. (0,1 МПа), тягомеров для измерения разрежения газовых сред до 700 мм вод. ст. (7000 Па), вакуумметров для измерения вакуума до 760 мм рт. ст. (0,101 МПа) и др. (Теплотехнические измерения и приборы. URL: <http://inethub.olvi.net.ua>).

На рис. 52 схема U-образного (двухтрубного) манометра. Он состоит из U-образной стеклянной трубки, заполненной примерно до половины своей высоты рабочей жидкостью, и шкалы, позволяющей произвести отсчет уровней в обоих коленях. Измеряемое разрежение или разность давлений уравнивается и измеряется столбом h рабочей жидкости, определяемым, как сумма столбов h_1 и h_2 в своих коленях. В качестве рабочей жидкости обычно применяют ртуть или воду. Внутренний диаметр стеклянной трубки для изготовления U-образного прибора должен быть не менее 8–10 мм и по возможности одинаков по всей длине. При малом диаметре трубки капиллярные

свойства воды не позволяют применять их в качестве рабочей жидкости. В этом случае рекомендуется применять спирт.

При применении U-образный манометр должен устанавливаться вертикально по отвесу.

Для измерения избыточного давления в объекте правое колено трубки прибора соединяют с объектом, а левое оставляют открытым. При измерении разности давлений большее из них подводится к правому, а меньшее – к левому концу трубки (Теплотехнические измерения и приборы. URL: <http://inethub.olvi.net.ua>). Обычно результат измеряют в миллиметрах водяного или ртутного столба.

Для перевода значения давления, выраженного в Па, в значение, выраженное в кг/м^2 , необходимо полученный результат умножить на 0,102.

Для увеличения точности отсчета высоты столба рабочей жидкости U-образные приборы повышенной точности и образцовые снабжают зеркальной шкалой. Для приборов такого типа пределы допускаемой основной погрешности показаний не превышают ± 1 мм столба рабочей жидкости.

Грузопоршневой манометр (рис. 53) – это манометр, принцип действия которого основан на уравнивании измеряемого давления давлением, создаваемым весом поршня с грузоприемным устройством, и грузов с учетом сил жидкостного трения.

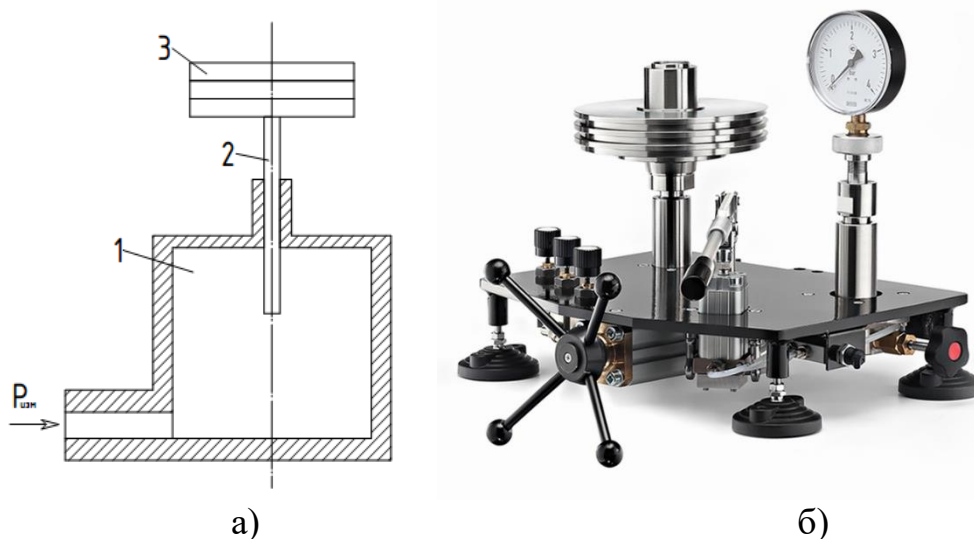


Рис. 53. Манометр грузопоршневой: а) схема: 1– камера; 2 – шток; 3 – грузы; б) общий вид

Устройство грузопоршневого манометра, работа которого основана на вытеснении стороннего штока измеряемым давлением и уравнивании положения этого штока дополнительными калиброванными грузами. На рис. 53 показана схема такого прибора. Измеряемая среда давлением $P_{\text{изм}}$ подается в замкнутую камеру 1, заполненную жидкостью, и выталкивает шток 2. При оптимальном подборе массы штока с грузами его выталкивание осуществляется

на величину, удобную для контроля и пропорциональную измеряемому давлению.

При калиброванной площади торца штока масса грузов, возвращающих этот шток в первоначальное положение, является мерой значения измеряемого давления.

Грузопоршневые манометры применяются как устройства для поверки механических контрольных и образцовых манометров среднего и высокого давления. Давление в них определяется по калиброванным грузам, помещаемым на поршне. В качестве рабочей жидкости применяют керосин, трансформаторное или касторовое масло. Класс точности грузопоршневых манометров 0,05 и 0,02 %.

Деформационный манометр – это манометр, принцип действия которого основан на зависимости деформации чувствительного элемента или развиваемой им силы от измеряемого давления. Эта деформация в виде линейных или угловых перемещений передается регистрирующему устройству или преобразуется в электрический (пневматический) сигнал для дистанционной передачи (URL: https://eti.su/articles/izmeritelnaya-tehnika/izmeritelnaya-tehnika_513.html).

В качестве чувствительных элементов используют одновитковые трубчатые пружины, многовитковые трубчатые пружины, упругие мембраны, сильфонные и пружинно-сильфонные. Для изготовления мембран, сильфонов и трубчатых пружин применяются бронза, латунь, хромоникелевые сплавы, отличающиеся достаточно высокой упругостью, антикоррозийностью, малой зависимостью параметров от изменения температуры.

Мембранный манометр – это деформационный манометр, в котором чувствительным элементом является мембрана или мембранная коробка. Мембранные приборы применяются для измерения небольших давлений (до 40кПа) нейтральных газовых средств (URL: <https://jumas.ru/information/kniga-pribory-davleniya/manometry-na-osnove-membran-membrannyh-korobok-silfonov-pro-yumas/>).

Манометры с пластинчатой пружиной (рис. 54). Чувствительным элементом является тонкая гофрированная мембрана, деформирующаяся под действием давления среды. Прогиб пластины, пропорциональный измеряемому давлению, приводит в действие стрелочный механизм. Удобство этого типа манометров связано с легкостью промывки, что необходимо при измерении давления вязких сред. Повышенную стойкость к коррозии обеспечивают возможные специальные покрытия пластины.

Диапазон давлений от 0..16 мбар до 0..40 бар. Класс точности от 0,6 до 2,5 (URL: <https://www.altlok.ru/uploads/catalogs/manometr-rus.pdf>).

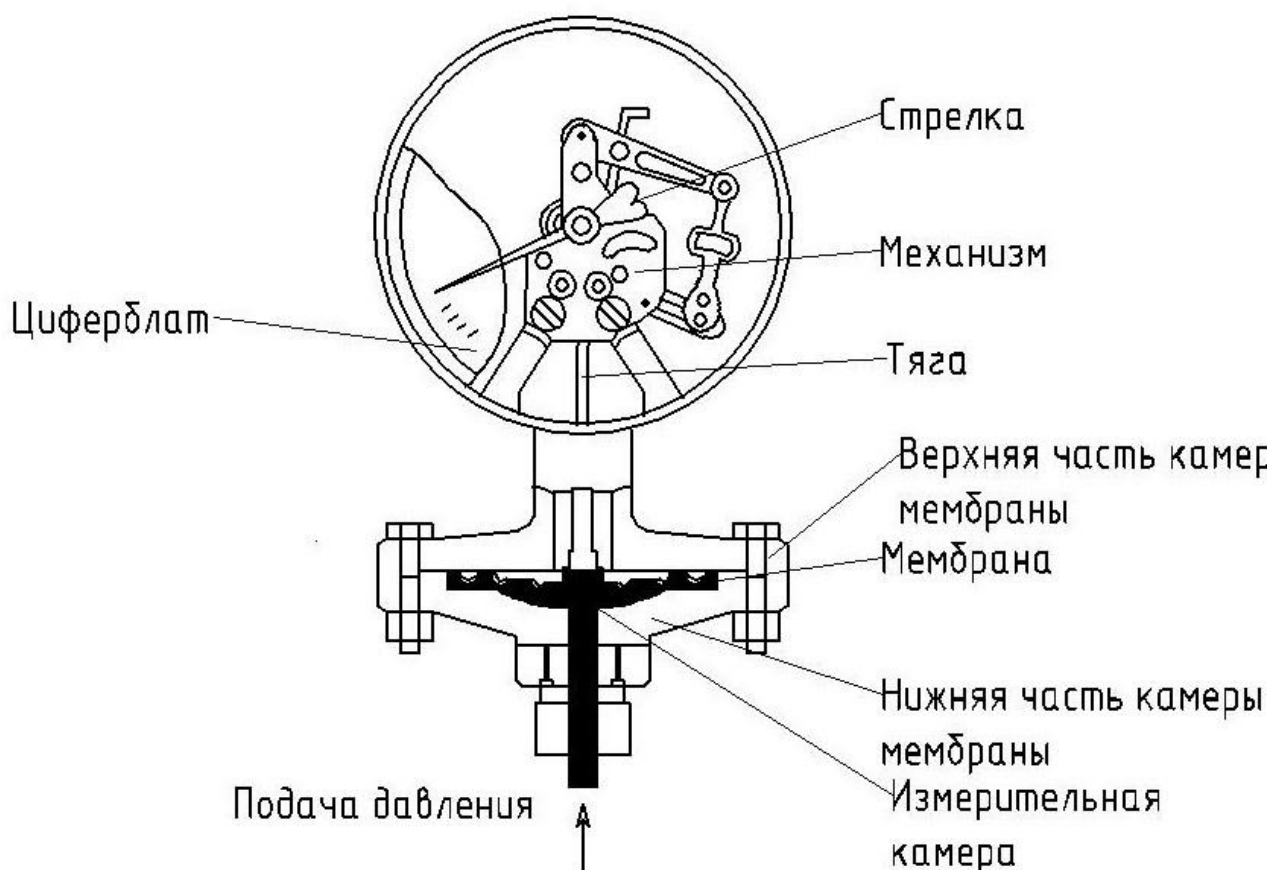


Рис. 54. Манометр с пластинчатой пружиной

Сильфонный манометр (рис. 55) – деформационный манометр, в котором чувствительным элементом является сильфон.

Сильфон – это тонкостенная трубка с поперечными кольцевыми гофрами на боковой стенке. Жесткость сильфона зависит от материала, наружного и внутреннего диаметров, толщины стенки заготовки, радиуса закругления гофр r и угла их уплотнения α , числа гофр. Сильфоны бывают цельнотянутыми и сварными. Благодаря значительному прогрессу в технологии изготовления сильфонов, они получили широкое распространение в манометрах и дифманометрах с силовой компенсацией (Теплотехнические измерения и приборы: учебник для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки «Теплоэнергетика». URL: <http://dlib.rsl.ru>).

Сильфонные приборы предназначены для измерения избыточного и вакуумметрического давления неагрессивных газов как манометры, вакуумметры и как мановакуумметры

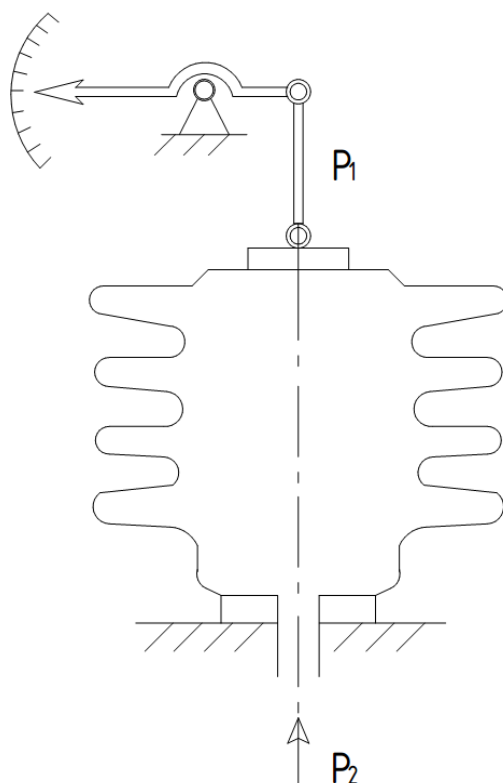


Рис. 55. Сильфонный манометр

Трубчато-пружинный манометр – это деформационный манометр, в котором чувствительным элементом является трубчатая пружина.

Принцип действия большинства манометров основан на деформации под действием измеряемого параметра трубчатой пружины Бурдона. Деформация этой пружины передается на отсчетное устройство (шкалу). Трубчато-пружинные приборы принадлежат к числу наиболее распространенных манометров, вакуумметров и мановакуумметров (URL: <https://jumas.ru/information/kniga-manometry/2.2.1.php>).

Трубчатая пружина представляет собой тонкостенную, согнутую по дуге окружности, трубку (одно- или многовитковую) с запаянным одним концом, которая изготавливается из медных сплавов или нержавеющей стали. При увеличении или уменьшении давления внутри трубки пружина раскручивается или скручивается на определенный угол.

Манометры рассмотренного типа выпускаются для верхних пределов измерения 60...160 кПа. Вакуумметры выпускаются со шкалой 0...100 кПа. Мановакуумметры имеют пределы измерений: от -100кПа до +(60 кПа...2,4 МПа). Класс точности для рабочих манометров 0,6...4, для образцовых – 0,16; 0,25; 0,4.

Манометры с одновитковой пружиной (рис. 56) – это приборы, предназначенные для измерения давления и разряжения неагрессивных, некристаллизующихся жидкостей, газа и пара до 10 МПа включительно. В качестве чувствительного элемента используется одновитковая пружина. Такие приборы могут быть использованы в широком диапазоне температур при

эксплуатации и имеют высокую степень защиты от пыли и воды (URL: <https://jumas.ru/information/kniga-manometry/2.2.1.php>).

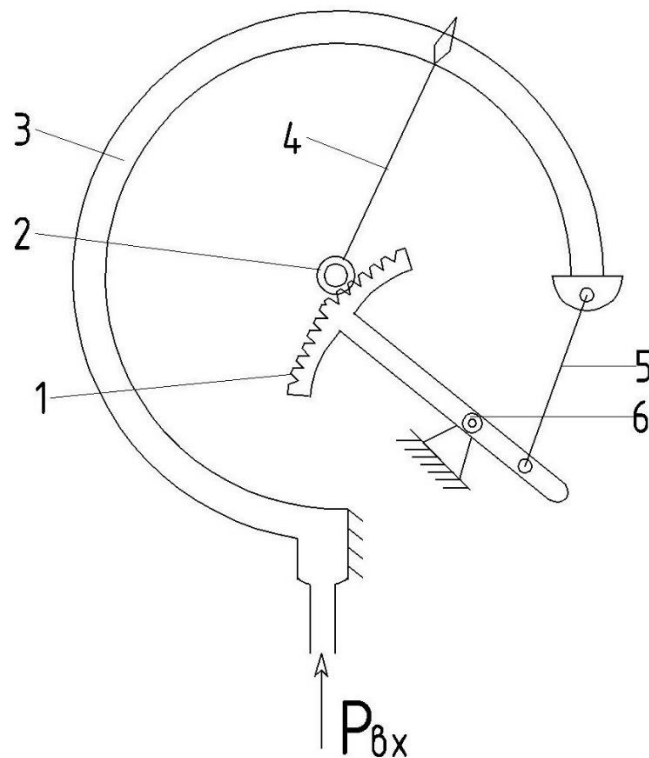


Рис. 56. Кинематическая структурная схема трубчато-пружинного манометра

На рис. 56 приведена кинематическая схема данного типа манометров. При изменении давления перемещение конца пружины 3 через тягу 5 передается сектору 1, который вращается на оси 6. Угловое перемещение сектора с помощью зубчатого зацепления вызывает вращение зубчатого колеса (трубки 2), на оси которого укреплен стрелка отсчетного устройства 3 (Учебное пособие по предмету Автоматизация технологических процессов URL: <https://infourok.ru>). Вид такого манометра снаружи и изнутри приведен на рис. 57.



Рис. 57. Вид трубчато-пружинного манометра снаружи и изнутри

Манометры с многовитковой трубчатой пружиной (рис. 58) используют для измерения избыточного давления до 16 МПа газов, жидкостей и газожидкостных сред (URL: https://www.npo-manometr.ru/products/manometry_tochnykh_izmereniy_i_obraztsovyeh/manometr_mti_1216_1217_1218_1232_1246/).

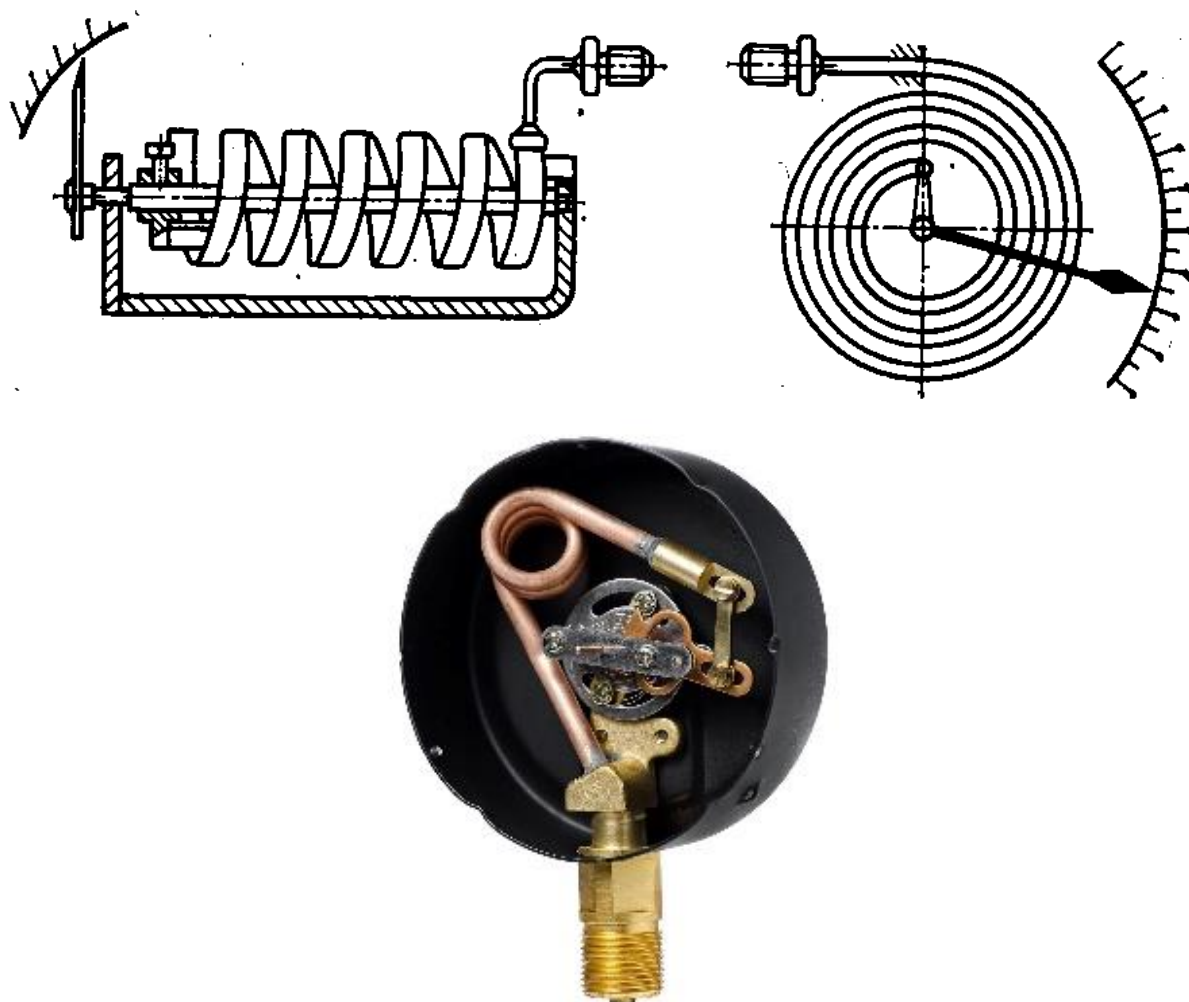


Рис. 58. Манометры с многовитковой трубчатой пружиной

Манометр с вялой (неметаллической) мембраной (рис. 59) – деформационный манометр, в котором измеряемое давление воспринимается вялой мембраной и преобразуется в силу, уравновешиваемую дополнительным устройством.

Обеспечение стабильности эффективной площади и жесткости упругих элементов в еще более широком диапазоне перемещений достигается при использовании неметаллических вялых (мягких) мембран в сочетании с тарированными пружинами. Неметаллические мембраны не воспринимают изгибающих и сжимающих усилий и работают практически лишь на растяжение.

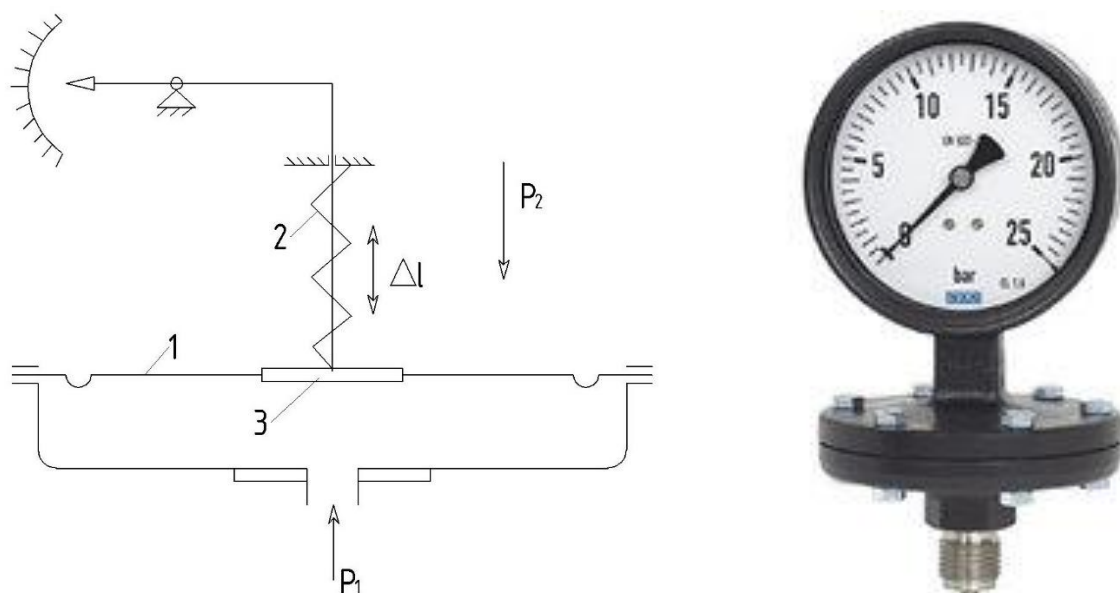


Рис. 59. Манометр с вялой (неметаллической) мембраной

Электрический манометр – это манометр, принцип действия которого основан на зависимости электрических параметров преобразователя давления от измеряемого давления. Электрические манометры получили распространение не только в лабораторной практике, но и в промышленных условиях для технических измерений. Цифровые манометры предназначены для непрерывного преобразования значения избыточного давления и (или) вакуумметрического давления неагрессивных сред в электрический унифицированный выходной сигнал с отображением информации о давлении на цифровом табло, а также для управления внешними электрическими цепями.

Пьезоэлектрический манометр – *Электрический манометр*, принцип действия которого основан на зависимости электрического заряда пьезоэлемента от измеряемого давления. *Пьезоэлектрические* манометры применяют при измерении пульсирующего с высокой частотой давления в механизмах с допустимой нагрузкой на чувствительный элемент до $8 \cdot 10^3$ ГПа. Чувствительным элементом в пьезоэлектрических манометрах, преобразующим механические напряжения в колебания электрического тока, являются пластины цилиндрической или прямоугольной формы толщиной в несколько миллиметров из кварца, титаната бария или керамики типа ЦТС (цирконат-титанат свинца) (URL: <https://www.ngpedia.ru/id133279p3.html>).

Принцип действия пьезоэлектрических манометров этого типа основан на пьезоэлектрическом эффекте, сущность которого состоит в возникновении электрических зарядов на поверхности сжатой кварцевой пластины, которая вырезается перпендикулярно электрической оси кристаллов кварца. Схема пьезоэлектрического манометра представлена на рис. 60.

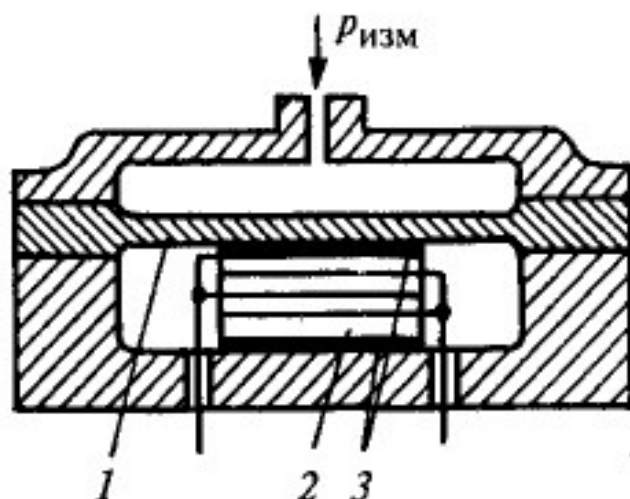


Рис. 60. Схема пьезоэлектрического манометра: 1 – мембрана; 2 – кварцевые пластины; 3 – металлизированные плоскости

Измеряемое давление с помощью мембраны 1 преобразуется в усилие, сжимающее кварцевые пластины 2. Электрический заряд, возникающий на металлизированных плоскостях 3 под действием усилия F со стороны мембраны, определяется выражением $Q = kF = kSp$, где p – давление, действующее на металлическую мембрану 1 с эффективной площадью S ; k – пьезоэлектрическая постоянная, Кл/Н.

Кварц в отличие от других сегнетоэлектриков, обладающих пьезоэффектом, является механически прочным и имеет высокую жесткость, что исключает влияние упругой характеристики мембраны 1 на коэффициент передачи пьезоэлектрического преобразователя. Частота собственных колебаний преобразователя достигает десятков килогерц, вследствие чего они применяются при испытаниях двигателей и других технических объектов, характеризующихся высокочастотными изменениями давления. Пьезоэлектрическая постоянная кварца, составляющая около $2 \cdot 10^{-12}$ Кл/Н, отличается стабильностью и слабой зависимостью от температуры, что позволяет использовать пьезопреобразователи для измерения давления высокотемпературных сред. Из-за утечки заряда пьезоэлектрические преобразователи не используются для измерения статических давлений. В целях повышения чувствительности несколько кварцевых пластин включаются параллельно. Верхний предел измерения давления у этих приборов достигает 100 МПа (1000 кгс/см^2).

Сигнализатор давления – это средство контроля, начинающее или прекращающее выдавать выходной сигнал при достижении заданного давления.

Контрольные вопросы

1. Что такое давление?
2. Что такое абсолютное давление?

3. Что такое избыточное давление?
4. Что такое вакуум?
5. Что такое вакуумметрическое давление?
6. Какие единица измерения давления вы знаете?
7. Какая единица рекомендована для измерения давления?
8. Что такое полное давление движущейся среды?
9. Какие виды манометров по принципу действия вы знаете?
10. Как работает U-образный манометр?
11. Как работает грузопоршневой манометр?
12. Как работает трубчато-пружинный манометр?

2.2.5. Физико-химические измерения: контроль состава веществ, материалов, изделий и др.

Газоанализаторы

Газоанализатор – измерительный прибор для определения качественного или количественного состава смесей газов. Существуют газоанализаторы ручного действия и автоматические. Среди первых наиболее распространены такие *абсорбционные* газоанализаторы, в которых компоненты газовой смеси последовательно поглощаются различными *реагентами*. Автоматические газоанализаторы непрерывно измеряют какую-либо *физическую* или физико-химическую характеристику газовой смеси или ее отдельных компонентов (Газоанализатор. URL: <https://ru.wikipedia.org>).

По принципу действия автоматические газоанализаторы могут быть разделены на три группы:

1. Приборы, основанные на физических методах анализа, включающих вспомогательные химические реакции. При помощи таких газоанализаторов, называемых объемно-манометрическими или химическими, определяют изменение объема или давления газовой смеси в результате химических реакций ее отдельных компонентов.

2. Приборы, основанные на физических методах анализа, включающих вспомогательные физико-химические процессы (термохимические, электрохимические, фотоионизационные, фотоколориметрические, хроматографические и др.). Термохимические, основанные на измерении теплового эффекта реакции каталитического окисления (горения) газа, применяют, главным образом, для определения концентраций горючих газов (например, опасных концентраций окиси углерода в воздухе). Электрохимические позволяют определять концентрацию газа в смеси по значению электрической проводимости раствора, поглотившего этот газ.

Фотоионизационные, основанные на измерении силы тока, вызванного ионизацией молекул газов и паров фотонами, излучаемыми источником вакуумного ультрафиолетового (ВУФ) излучения – ВУФ-лампы.

Фотоколориметрические, основанные на изменении цвета определенных веществ при их реакции с анализируемым компонентом газовой смеси, применяют в основном для измерения микроконцентраций токсичных примесей в газовых смесях – сероводорода, окислов азота и др. Хроматографические наиболее широко используют для анализа смесей газообразных углеводородов.

3. Приборы, основанные на чисто физических методах анализа (термокондуктометрические, денсиметрические, магнитные, оптические и др.). Термокондуктометрические, основанные на измерении теплопроводности газов, позволяют анализировать двухкомпонентные смеси (или многокомпонентные при условии изменения концентрации только одного компонента). При помощи денсиметрических газоанализаторов, основанных на измерении плотности газовой смеси, определяют содержание углекислого газа, плотность которого в 1,5 раза превышает плотность чистого воздуха. Магнитные газоанализаторы применяют, главным образом, для определения концентрации кислорода, обладающего большой магнитной восприимчивостью. Оптические газоанализаторы основаны на измерении оптической плотности, спектров поглощения или спектров испускания газовой смеси (Газоанализатор. URL: <https://ru.wikipedia.org>).

На рис. 61 представлен автоматический промышленный газоанализатор второй группы.

Автоматический мультигазовый щуповой течеискатель Ecotec E3000 от Inficon представляет собой устройство для проверки на герметичность холодильных машин, морозильных камер, систем кондиционирования автомобилей и подобных устройств. Необнаруженные течи могут повлечь серьезные затраты, связанные с гарантией или отказом работы.

Мультигазовый щуповой течеискатель Ecotec E3000 специально спроектирован для работы в производственной среде. Встраиваемая эталонная течь ECO-Check позволяет проводить калибровку непосредственно на производственной линии. Режим I-Guide (Режим подсказок оператору) обеспечит правильность проведения теста различных элементов. Параметры работы данного газоанализатора представлены в табл. 8.

Таблица 8

Наименование характеристики	Величина
Мин. детектируемая течь	
Гелий	10^{-6} mbarl/s
R134a	0.05 г/год
R600a	0.05 г/год
Диапазон измерений	0.05–999.99 г/год
Время отклика с щупом	0.8 с
Макс количество одновременно детектируемых газов	4
Ед измерения течи	г/год, унц/год, мбар·л/с, ppm, Па·м ³ /с



Рис. 61. Мультигазовый щуповой течеискатель Ecotec E3000

На рис. 62 представлен портативный газоанализатор Микросенс для измерения концентраций горючих газов, кислорода (O_2), монооксида углерода (CO), сероводорода (H_2S) в воздухе рабочей зоны.



Рис. 62. Газоанализатор портативный

Прибор может применяться в угольной, нефтяной, газовой, энергетической промышленности и т. д. Принцип измерений газоанализатора Микросенс: по каналу метана (CH_4) и диоксида углерода (CO_2) – оптический; по каналу токсичных газов (H_2 , H_2S , CO , Cl_2 , NH_3 , SO_2 , NO , NO_2) и кислорода (O_2) – электрохимический.

Функции газоанализатора Микросенс:

- непрерывное измерение и цифровая индикация контролируемых газовых компонентов;
- подача световой и звуковой сигнализации при достижении концентрацией контролируемых газов заданного (порогового) уровня;
- запись и последующее отображение экстремальных значений концентраций за период после включения;
- функция «черного ящика» – запись результатов измерений в энергонезависимую память;
- передача результатов измерений на ПК.

Метрологические характеристики газоанализатора Микросенс (O_2 - CO - H_2S - CH_4) представлены в табл. 9.

Таблица 9

Определяемый компонент	Диапазон показаний	Пределы допускаемой основной погрешности		Цена деления наименьшего разряда дисплея
		абсолютной	относительной	
Кислород (O_2)	От 0 до 30 %	$\pm 0,5$ %	-	0,1 %
Оксид углерода (CO)	От 0 до 300 млн^{-1}	± 4 млн^{-1} -	- ± 10 %	1 млн^{-1}
	От 0 до 500 млн^{-1}	± 4 млн^{-1} -	- ± 10 %	1 млн^{-1}
Сероводород (H_2S)	От 0 до 100 млн^{-1}	$\pm 1,5$ млн^{-1} -	- ± 20 %	0,1 млн^{-1}
Метан (CH_4)	От 0 до 100 %	$\pm 0,1$ % -	- ± 5 %	0,01 %
	От 0 до 100 % НКПР (от 0 до 4,4 % об. д.)	± 3 % НКПР -	- ± 5 %	0,01 %

Технические характеристики портативного газоанализатора Микросенс: время работы прибора от аккумуляторной батареи (при 25 °C) – не менее, 100 ч; межповерочный интервал 12 мес.; диапазон температуры окружающей среды от минус 40 до 60 °C (URL: https://www.gasdetecto.ru/files/330/_microsensm3_re.pdf).

Стационарный газоанализатор «Сектор-2» (рис. 63) предназначен для непрерывного автоматического измерения взрывоопасных концентраций

метана (CH_4), пропана (C_3H_8), бутана (C_4H_{10}), пентана (C_5H_{12}) или гексана (C_6H_{14}) в воздухе рабочей зоны.

Газоанализатор предназначен для работы в качестве первичного измерительного преобразователя (ПИП) в составе автоматизированных газоаналитических систем, допускающих подключение ПИП к блокам управления, питания и сигнализации посредством двухпроводной токовой петли (4–20) мА. Оптический принцип измерений.

Имеет взрывозащищенное исполнение и соответствует требованиям Технического регламента Таможенного союза ТР ТС 012/2011 [29].

Оснащен цифровым интерфейсом, предназначенным для подключения внешнего контрольного пульта, с помощью которого осуществляется техническое обслуживание, корректировка показаний и поверка прибора. Средний срок службы – не менее 10 лет.



Рис. 63. Стационарный газоанализатор

Плотномеры

Плотность является одной из основных физических величин, характеризующих свойство жидких сред (топливо, электролиты и др.).

Плотностью вещества называют величину, определяемую отношением массы вещества к занимаемому им объему. СИ плотности называют плотномерами (ареометры). Для измерений плотности жидкостей применяют

поплавковые, весовые, гидростатические (пьезометрические), вибрационные и радиоизотопные плотномеры (Информационные технологии систем управления технологическими процессами. URL: <http://inethub.olvi.net.ua>).

Поплавковые плотномеры (ареометры) широко применяют в практической деятельности для измерений плотности жидкостей. Принцип их действия основан на измерении выталкивающей силы, действующей на поплавков, частично или полностью погруженный в анализируемое вещество. В зависимости от типа ПП плотномер может иметь электрический или пневматический выходной сигнал.

Плотномеры с частично погруженным поплавком обладают высокой чувствительностью, что позволяет измерять плотность в узком диапазоне ($0,005\text{--}0,01\text{ г/см}^3$) с погрешностью $1,5\text{--}3\%$ от диапазона измерений. Плотномеры с полностью погруженным поплавком позволяют измерять плотность жидкостей от $0,5\text{--}1,2\text{ г/см}^3$ в любой части указанного интервала. Температура анализируемой жидкости может составлять от минус 5 до $11\text{ }^{\circ}\text{C}$, класс точности приборов 1.

Весовые (пикнометрические) плотномеры применяют для измерений плотности вещества в потоке. В таких плотномерах жидкость протекает по петлеобразному участку трубы, соединенному с основным трубопроводом гибкими и резиновыми или металлическими патрубками (сильфонами). При изменении плотности жидкости соответственно изменяется масса петлеобразной трубы. Изменение массы с помощью электросилового или пневмосилового преобразователя реформируется в унифицированный сигнал, подаваемый во вторичный прибор. Плотномеры данной конструкции обычно имеют устройства для автоматического введения поправки в зависимости от температуры анализируемой жидкости. Весовым преобразователям свойственна высокая чувствительность и точность измерений. Они позволяют измерять плотность $0,5\text{--}2,5\text{ г/см}^3$. При этом может быть установлен диапазон измерений $0,05\text{--}0,3\text{ г/см}^3$ в любой части указанного интервала. Максимальная температура измеряемой жидкости $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Класс точности 1; 1,5 (Информационные технологии систем управления технологическими процессами. URL: <http://inethub.olvi.net.ua>).

Гидростатические (пьезометрические) плотномеры используют для измерений плотности жидкости непосредственно в технологических аппаратах. Действие гидростатического плотномера основано на зависимости давления столба жидкости (газа) постоянной высоты от ее плотности. Серийно выпускаемые приборы имеют диапазон измерений $0,04\text{--}0,35$ и $0,08\text{--}0,5\text{ г/см}^3$, основная погрешность $1,5\text{--}2,0\%$ диапазона измерений.

Вибрационные плотномеры основаны на зависимости параметров упругих колебаний резонатора от плотности анализируемого вещества. Резонаторы выполняют в виде трубы, пластины, стержня, струны, камертона и т.п. Конструктивно различают проточные и погруженные вибрационные плотномеры. В первых анализируемое вещество протекает через внутреннюю полость резонатора,

во вторых – резонатор размещается в потоке анализируемого вещества. Вибрационные плотномеры применяются для измерений плотностей жидкостей 600–1000 кг/м³ с абсолютной погрешностью $\pm 1,5$ кг/м³.

Ареометр

Ареометр (рис. 64) – обычно представляет собой стеклянную трубку, нижняя часть которой при калибровке заполняется дробью для достижения необходимой массы. В верхней узкой части находится шкала, которая проградуирована в значениях плотности раствора или концентрации растворенного вещества. Плотность раствора равняется отношению массы ареометра к объему, на который он погружается в жидкость. Соответственно, различают ареометры постоянного объема и ареометры постоянной массы (Исследование основных способов измерения плотности жидкости. URL: <http://elibrary.ru>).

Для измерения плотности жидкости ареометром постоянной массы сухой и чистый ареометр помещают в сосуд с этой жидкостью так, чтобы он свободно плавал в нем. Значения плотности считывают по шкале ареометра, по нижнему краю мениска.

Для измерения ареометром постоянного объема изменяют его массу, достигая его погружения до определенной метки. Плотность определяется по массе груза (например, гирек) и объему вытесненной жидкости.



Рис. 64. Ареометры

Для практического применения ареометр градуируют в концентрации растворенного вещества, например:

- спиртомер – в процентах алкоголя для измерения крепости раствора;
- лактометр – в процентах жира для определения качества молока;
- солемер – для измерения солености раствора;
- сахаромер – при определении концентрации растворенного сахара.

Рефрактометр

Рефрактометр (рис. 65) – прибор, измеряющий показатель преломления света в среде. Рефрактометрия, выполняющаяся с помощью рефрактометров, является одним из распространенных методов идентификации химических соединений, количественного и структурного анализа, определения физико-химических параметров веществ (URL: https://www.astena.ru/st_refr.html).

Работа рефрактометра основана на измерении показателей преломления света в различных средах. Если плотность субстанций возрастает, ее индекс рефракции вырастает пропорционально (например, когда сахар растворяют в воде). Устройство рефрактометра основано на призме. Сегодня существует несколько видов таких приборов: цифровые; ручные; лабораторные; стационарные промышленные.



Рис. 65. Рефрактометр

На линзу падает луч, который преломляется под определенным углом. Угол преломления света в линзе, на которую уже нанесено вещество (например, СОЖ) зависит от плотности исследуемого веществ. Свет, преломляясь, попадает на систему линз и отображается на шкале. Коэффициентом преломления называют соотношения между углом входа луча и углом преломления в среде.

Контрольные вопросы

1. Что такое газоанализатор?
2. Какие типы газоанализаторов вы знаете?
3. Чем отличается портативный газоанализатор от стационарного?
4. Что такое плотность вещества. Единицы измерения.
5. Какие виды плотномеров вы знаете?
6. Что такое ареометр и как он работает?
7. Что такое рефрактометр и как он работает?

2.2.6. Теплофизические и температурные измерения

Основные сведения

Температура является одним из важнейших параметров, характеризующих многие технологические процессы. Диапазон изменения температур, используемых в промышленности, очень широк и охватывает интервал от минус 200 до 1200 °С и выше (Учебно-методический комплекс дисциплины «Метрология» URL: <http://referatdb.ru>).

Для измерения температуры применяется большое число средств измерения или технологических средств, называемых *термометрами*, с помощью которых сигнал температурной измерительной информации преобразуется в вид, удобный для непосредственного восприятия наблюдателем, автоматической обработки, передачи и использования в автоматических системах регулирования и управления. В промышленной термометрии применяются два основных метода измерений: *контактный и бесконтактный*.

При измерении контактным методом чувствительный элемент термометра находится в непосредственном контакте (соприкосновении) с измеряемой средой. Бесконтактными методами температура определяется по тепловому электромагнитному излучению нагретых тел.

Широко распространенными средствами измерения температуры, основанными на использовании контактного метода, являются термометры расширения, термоэлектрические термометры и термометры сопротивления. Кроме того, известны также термошумовые, пьезокварцевые, акустические, магнитные и некоторые другие виды термометров, которые пока не получили широкого применения в промышленной термометрии. Выбор того или иного технического средства для измерения температуры зависит от многих факторов, связанных с диапазоном изменения температуры, точностью измерений, составом и свойствами измеряемой среды, дистанционностью измерения и т. д. Бесконтактные СИ температуры основаны на электромагнитных, ультразвуковых и иных принципах.

Температура относится к таким физическим величинам, которые не поддаются непосредственному измерению. Поэтому при определении ее всегда преобразуют в другую физическую величину, легко поддающуюся измерению. При этом необходимо располагать уравнением, связывающим температуру с этой физической величиной. Все это означает необходимость введения температурной шкалы, которая представляет собой непрерывную совокупность чисел, линейно связанных с численными значениями какого-либо физического свойства тела, представляющего собой однозначную и монотонную функцию температуры. *Температурная шкала* – это ряд отметок внутри температурного интервала, ограниченного двумя легко воспроизводимыми постоянными (основными или опорными) точками. Следовательно,

$$\text{градус} = (t'' - t')/n, \quad (8)$$

где t' и t'' – две постоянные, легко воспроизводимые температуры; n – целое число, на которое разбивается температурный потенциал ($t'' - t'$).

Подобный подход предусматривает произвольный выбор шкалы температур. Вместе с тем очевидна необходимость установления единства понятия «градус» и обеспечения его определения с максимальной точностью (Учебно-методический комплекс дисциплины «Метрология». URL: <http://referatdb.ru>).

В настоящее время установлены практические температурные шкалы для различных диапазонов измерения температур и методы их осуществления в соответствии с ГОСТ 8.157-75 «Шкалы температурные практические» [27]. Настоящий стандарт устанавливает практические температурные шкалы, предназначенные для обеспечения единства измерений температуры в диапазоне от 0,01 до 100000 К, и методы их осуществления.

Единицей температуры термодинамической температурной шкалы согласно этому стандарту является кельвин (К), единицей температуры по практическим температурным шкалам – также кельвин (К) и градус Цельсия ($^{\circ}\text{C}$), связанные следующим соотношением:

$$t = T - T_0, \quad (9)$$

где t – температура, $^{\circ}\text{C}$; T – термодинамическая температура, К; $T_0 = 273,15$ К.

Градус Цельсия равен кельвину. Температурные разности выражаются в кельвинах или градусах Цельсия.

В данной работе рассмотрим термометры, применяемые в лабораторных и промышленных условиях.

Существует несколько видов термометров: жидкостные, механические, газовые, электрические, оптические и др.

Жидкостные термометры

Принцип действия такого прибора основан на эффекте расширения или сжатия жидкости, которая заполняет колбу и изменяет свой объем при колебании собственной температуры. Обычно в него заливают ртуть или спирт, которые реагируют на минимальное изменение тепла в окружающей среде.

Термометры стеклянные и жидкостные (рис. 66) применяются для измерения температур в области от минус 200 до 750 $^{\circ}\text{C}$. Несмотря на то, что кроме стеклянных жидкостных термометров имеется ряд других приборов для измерения температур, удовлетворяющих требованиям современной техники контроля технологических процессов, все же они получили большее распространение как в лабораторной, так и промышленной практике вследствие простоты обращения, достаточно высокой точности измерения и низкой стоимости (URL: <http://avto.oglib.ru>).

Принцип действия стеклянных жидкостных термометров основан на тепловом расширении термометрической жидкости, заключенной в термометре.

При этом, очевидно, показания жидкостного термометра зависят не только от изменения объема термометрической жидкости, но также и от изменения объема стеклянного резервуара, в котором находится эта жидкость. Таким образом, наблюдаемое видимое изменение объема жидкости преуменьшено на размер, соответственно равный увеличению объема резервуара (и частично капилляра) (Термометры, основанные на расширении и изменении давления рабочего вещества. URL: <https://studbooks.net>).



Рис. 66. Жидкостные термометры

Для заполнения жидкостных термометров применяется ртуть, толуол, этиловый спирт, керосин, петролейный эфир, пентан и т. д. Область их применения приведена в табл. 10.

Из жидкостных термометров наибольшее распространение получили ртутные (несмотря на вредные экологические свойства). Они обладают рядом преимуществ благодаря существенным достоинствам ртути, которая не смачивает стекла, сравнительно легко получается в химически чистом виде (Теплотехнические измерения. URL: <https://knowledge.allbest.ru>). Следует также отметить, давление насыщенных паров ртути при температуре, превышающей 356,73 °C, невелико по сравнению с давлением насыщенных паров других жидкостей. Это дает возможность относительно небольшим увеличением давления над ртутью в капилляре заметно повысить ее температуру кипения и вместе с тем расширить температурный интервал применения ртутных термометров.

Таблица 10

№ п/п	Жидкость	Возможные пределы измерения, °С	
		нижний	верхний
1	Ртуть	-35	750
2	Толуол	-90	200
3	Этиловый спирт	-80	70
4	Керосин	-60	300
5	Петролейный эфир	-120	25
6	Пентан	-200	20

К числу недостатков ртути с точки зрения термометрии следует отнести сравнительно малый коэффициент расширения. Важно отметить, что в рамках международной Минаматской конвенции с 2020 г. запрещены градусники с ртутью для использования в быту и прекращено производство ртутных медицинских термометров. При измерении температуры термометрами, заполненными органическими жидкостями, необходимо иметь в виду, что они смачивают стекло, а вследствие этого понижается точность отсчета показаний.

Стеклянные жидкостные термометры (рис. 67), применяемые в технике, бывают следующих разновидностей:

1. Термометры, применяющиеся без введения поправок к их показаниям (термометры широкого применения) (URL: <http://avto.oglib.ru>):

- а) ртутные термометры (от минус 35 до 600 °С);
- б) жидкостные термометры с органической жидкостью.

2. Термометры, к показаниям которых вводятся поправки согласно свидетельству:

- а) ртутные термометры повышенной точности (от минус 35 до 600 °С);
- б) ртутные термометры для точных измерений (от 0 до 500 °С);
- в) жидкостные термометры с органическим наполнителем (от минус 80 до 100 °С).

Конструктивные формы стеклянных жидкостных термометров разнообразны. На рис. 86 представлены жидкостные стеклянные термометры. Наиболее широко применяются два основных типа конструкции: палочные и с вложенной шкалой.



Рис. 67. Жидкостные стеклянные термометры

Палочные термометры имеют массивный (толстостенный) капилляр, почти равный диаметру резервуара. Шкала у этих термометров наносится непосредственно на внешней поверхности капилляра (Термометры, основанные на расширении и изменении давления рабочего вещества. URL: <https://studbooks.net>).

Характерной особенностью второй конструкции является то, что шкала сделана не на капилляре, а на прямоугольной пластине из стекла молочного цвета, помещенной позади капиллярной трубки, припаянной к резервуару цилиндрической формы. Кроме того, к резервуару припаяна стеклянная оболочка, в которой и находится как капилляр, так и шкальная пластина.

Термометры с вложенной шкалой обладают большей инерционностью, чем палочные, но они более удобны для наблюдения при измерении температур в лабораторных и производственных условиях.

У ртутных термометров с пределом измерения выше 200°C пространство над ртутным столбом в капилляре заполняется сухим газом (например, азотом) под давлением. При этом давление газа должно быть выше, чем больше верхний предел измерения, что обуславливается необходимостью исключить парообразование ртути в резервуаре при высоких температурах. В ртутных термометрах, предназначенных для измерения температуры до 500°C , давление газа достигается свыше 2 МПа (Термометры, основанные на расширении и изменении давления рабочего вещества. URL: <https://studbooks.net>). Термометры ртутные, предназначенные для точных измерений, верхними пределами измерения до 105°C изготавливают вакуумными, а выше 105°C – газонаполненными.

В зависимости от метода градуировки и применения стеклянные жидкостные термометры делятся на две группы (URL: <http://avto.oglib.ru>):

- а) термометры, градуируемые и применяемые при полном погружении;
- б) термометры, градуируемые и применяемые при неполном погружении.

Дилатометрические термометры

Дилатометрические термометры (рис. 68) относят к механическим. Действие термометров основано на тепловом расширении твердых тел. Стержень из инвара 1 одним концом укреплен на дне закрытой трубки 2 из латуни, другой его конец может перемещаться в зависимости от удлинения латунной трубки и воздействовать на показывающий механизм 3.

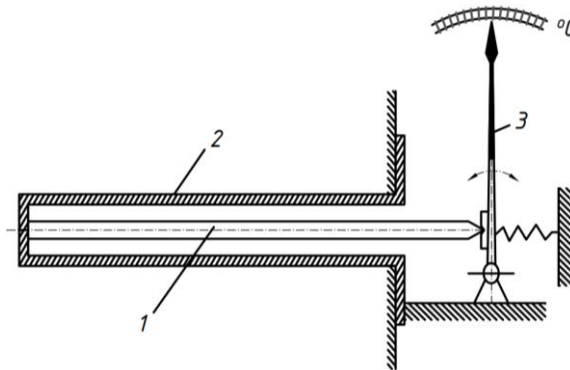


Рис. 68. Стержневой дилатометрический термометр

Биметаллические термометры

Действие биметаллических термометров, также как и дилатометрических, основано на использовании теплового расширения твердых тел.

Биметаллические термометры (рис. 69) имеют чувствительный элемент в виде спиральной или плоской пружины, состоящей из двух пластин из разных металлов, сваренных по всей длине (Автоматизация технологических процессов. URL: <https://infourok.ru>). Внутренняя пластина имеет больший коэффициент линейного расширения, чем внешняя, поэтому при нагреве такая пружина раскручивается, при этом стрелка перемещается. Дилатометрическими и биметаллическими термометрами измеряется температура в пределах от минус 150 до 700 °C (погрешность 1–2,5 %). Они широко применяются в холодильных установках, бытовых холодильниках, кондиционерах и т. п. Такие термометры характеризуются высокой точностью, они надежны и просты в эксплуатации.

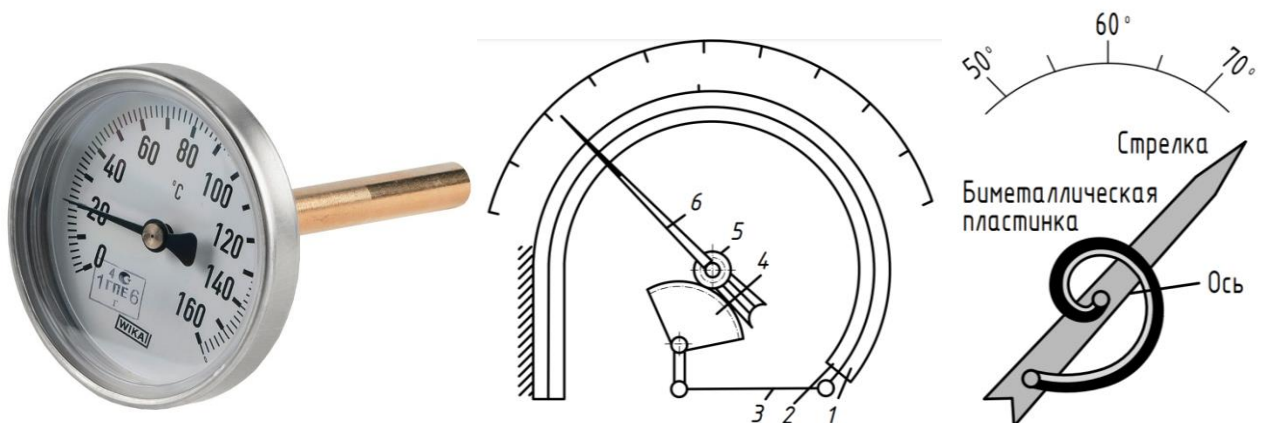


Рис. 69. Биметаллический термометр со спиральной пружиной

Манометрические термометры

Принцип действия этих термометров основан на использовании зависимости давления вещества при постоянном объеме от температуры. Манометрический термометр предназначен для измерения температуры на определенной дистанции. Такой прибор позволяет фиксировать температуру различных жидкостей, паров и газов.

В зависимости от заполнителя (рабочего вещества) эти термометры подразделяются на газовые, жидкостные и конденсационные, имеющие аналогичное устройство. Прибор (рис. 70) состоит из термобаллона 1, капиллярной трубки 2, защищенной металлическим рукавом, и манометрической части, заключенной в специальном корпусе. Вся внутренняя полость системы прибора заполняется рабочим веществом. При нагреве термобаллона увеличивается объем жидкости или повышается давление рабочего вещества. Эти изменения воспринимаются внутри замкнутой термосистемы манометрической трубкой 6, которая через передаточный механизм, состоящий из тяги 3 и сектора, воздействует через зубчатое колесо (трубку) 7 на стрелку прибора 4 (Автоматизация технологических процессов URL: <https://infourok.ru>). Газовый тип термометра работает по тому же принципу, что и жидкостное устройство, только в качестве рабочего вещества в нем используют какой-либо инертный газ.

Диапазон измерения температур с помощью манометрических термометров от минус 120 до 600 °С, а при использовании газовых термометров диапазон его измерений колеблется от минус 271 до 1000 °С. Класс точности 1–2,5. Приборы имеют простое устройство, дешевы и надежны. Используются они практически во всех отраслях пищевой промышленности как для технологического контроля, так и для автоматического регулирования. В некоторых конструкциях приборов вместо манометрической трубки в качестве воспринимающего элемента используются сильфоны. Основным недостатком манометрических термометров является большая тепловая инерционность, достигающая минуты и более.

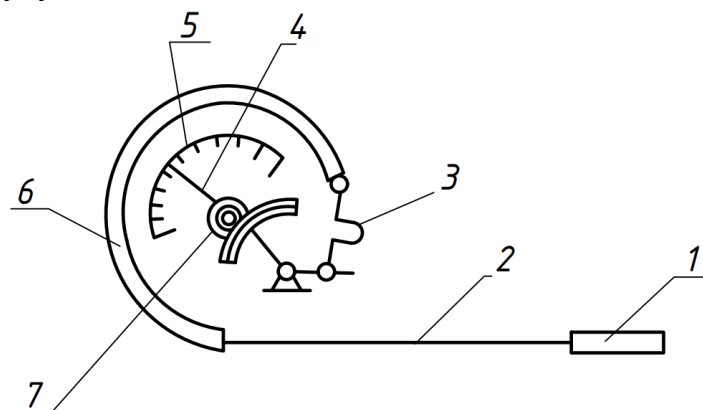


Рис. 70. Манометрический термометр

Пирометры

Раздел температурных измерений, который изучает методы и средства измерений температуры вещества по их электромагнитному (тепловому) излучению, называют *пирометрией*. Соответственно, пирометрия – это совокупность, или сумма, способов и методов получения информации о температуре нагретых тел на расстоянии (Классификация пирометров. URL: <https://revolution.allbest.ru>).

Пирометр – это бесконтактный прибор, способный измерять, причем с точностью до нескольких десятых долей градуса, уровень тепла в широчайшем диапазоне – от 100 до 3000 град.

В основе работы пирометра лежит принцип восприятия электромагнитных лучей (энергии), излучаемых любым материальным телом, причем интенсивность и спектр излучения данной энергии имеет прямую зависимость от температуры этого материального тела.

В пирометрии в основном используется оптическая область спектра, в которую входят ультрафиолетовое, видимое и инфракрасное излучения, и в меньшей степени используется область радиочастот.

Основных методов в пирометрии всего два:

- радиационный;
- оптический.

Радиационный метод пирометрии основан на зависимости яркости и интенсивности энергетического излучения от температуры материального тела в некотором ограниченном волновом диапазоне – обычно в инфракрасном. Именно поэтому приборы, использующие такой метод, называются инфракрасными пирометрами (или инфракрасными радиометрами, или термометрами). Чаще всего на практике мы встречаемся с инфракрасными пирометрами.

В радиационных пирометрах (рис. 71) используется тепловое действие полного излучения нагретого тела, включая как видимое, так и не видимое излучение. В связи с этим радиационные пирометры называются также пирометрами полного излучения (Классификация пирометров. URL: <https://revolution.allbest.ru>).

Принцип действия инфракрасного (ИК) пирометра достаточно прост: поскольку существует пропорциональная зависимость между яркостью излучения предмета и его температурой, то измерив яркость и пересчитав ее, можно получить достоверное значение температуры. То есть основным и главным элементом пирометра, работающего радиационным методом, является специальный датчик, который преобразует яркость тепловой энергии ИК-диапазона в электрический сигнал. Здесь яркость теплового луча фиксируется оптической системой, обрабатывается датчиком. Электрический сигнал с датчика поступает в блок обработки информации, после чего результат измерения выводится на дисплей (Классификация пирометров. URL: <https://revolution.allbest.ru>).

Оптический метод пирометрии – основан на зависимости спектра излучения от температуры минимум в двух диапазонах: инфракрасного излучения и видимого спектра. То есть для данного метода использован принцип зависимости цвета излучения от температуры объекта.

Например, тела, нагретые до температуры 700–800 °С – обладают темно-оранжевым свечением. Для тел, температура которых составляет около 1000 °С, характерен ярко-оранжевый цвет излучения. Тела, температурой в 2000 °С – испускают ярко-желтое, а температурой 2500 °С – почти белое свечение.

На рис. 72 изображен оптический пирометр с выносным датчиком температуры. Иногда такие пирометры называют стационарными, так как датчик жестко крепится к станку и всегда направлен в одно и то же место, например, на сверло в позиции без подачи, когда происходит загрузка – выгрузка заготовки.



Рис. 71. Пирометр

Стационарные пирометры предназначены для измерения температуры в промышленности, гарантируют безотказность протекания технологических процессов и характеризуются высокой точностью, надежностью и качеством измерений.

Стационарные пирометры могут оборудоваться дополнительными источниками питания, средствами передачи информации на компьютер и другими внешними устройствами.



Рис. 72. Оптический пирометр с выносным датчиком Raytek (стационарный пирометр)

Электрические термометры

Работа такого измерительного прибора (рис. 73) связана с зависимостью сопротивления используемого проводника от температуры. Известно, что сопротивление любых металлов линейно зависит от уровня их тепла. Более точные измерения можно получить, если заменить металлические проводники полупроводниками. Однако полупроводники в таких приборах практически не используют, поскольку зависимость между характеристиками полупроводника и уровня тепла нельзя выразить линейно и практически невозможно проградуировать приборную шкалу.

В роли проводника обычно выступает медь, показывающая изменения температур от минус 50 до 180 °С. Если взять другой рабочий металл, например, платину, то температурный диапазон ее значительно расширится и составит от минус 200 до 750 °С. Такие электрические тепловые датчики используют в лабораториях, на экспериментальных стендах или на производстве.

В промышленном применении к основному устройству подсоединен провод с наконечником, напоминающим спицу. Погружая щуп, например, в сыпучие или жидкие вещества, определяется температурное значение внутри исследуемой области. Широко применяются для проверки зерна, бетона и других веществ, требующих определенных температурных условий во время хранения.



Рис. 73. Электрический термометр

Термоэлектрические термометры

Термоэлектрический метод измерения температур основан на строгой зависимости термоэлектродвижущей силы (термоЭДС) термоэлектрического термометра от температуры (Теплотехнические измерения и приборы: учебник для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки «Теплоэнергетика». – Москва, 2007. URL: <http://dlib.rsl.ru>).

Применение этих явлений к измерению температур основано на существовании определенной зависимости между термоЭДС, устанавливающейся в цепи, составленной из разнородных проводников, и температурами мест их соединения.

Если взять цепь (рис. 74), составленную из двух различных термоэлектрических однородных по длине проводников А и В (например, меди и платины), то при подогреве спая 1 в цепи появляется ток, который в более нагретом спая 1 направлен от платины В к меди А, а в холодном спая 2 – от меди А к платине В. При подогреве цепи спая 2 ток получает обратное направление. Такие токи называют *термоэлектрическими*.

Электродвижущая сила, обусловленная неодинаковыми температурами мест соединения 1 и 2, называется *термоэлектродвижущей силой*, а создающий ее преобразователь – термоэлектрическим первичным преобразователем или упрощенно – *термопара*.

Термоэлектрические термометры (рис. 75) широко применяются для измерения температур до 2500°C в различных областях техники и в научных исследованиях (URL: <http://avto.oglib.ru>). В области высоких температур (выше $1300\text{--}1600^{\circ}\text{C}$) термоэлектрические термометры находят применение, главным образом, для кратковременных измерений; для длительного же измерения высоких температур они применяются только в отдельных особых случаях. Следует иметь в виду, что с ростом температуры возрастает влияние агрессивных свойств среды, что сокращает продолжительность работы термометров.

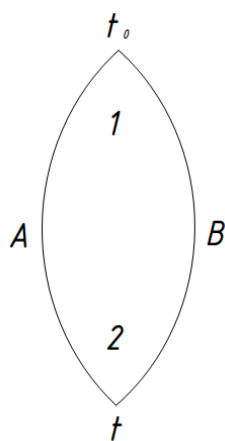


Рис. 74. Схема цепи термоэлектрического термометра



Рис. 75. Термоэлектрический термометр

К числу достоинств термоэлектрических термометров следует отнести достаточно высокую степень точности, возможность централизации контроля температуры путем присоединения нескольких термоэлектрических термометров через переключатель к одному измерительному прибору, возможность автоматической записи измеряемой температуры с помощью самопишущего прибора, дистанционный температурный контроль и др.

Стандартные рабочие термоэлектрические термометры с металлическими электродами представлены в табл.11 (URL: <http://avto.oglib.ru>).

Под длительным применением термоэлектрического термометра понимается работа его в течение нескольких сотен часов, при этом изменения его первоначальной градуировки не должны превышать 1 %.

Под кратковременным применением термоэлектрического термометра понимается работа его в течение нескольких десятков часов, изменения первоначальной градуировки не должны превышать 1 %.

Для измерения высоких температур до 3000–3500 °С рекомендуют в качестве перспективных термоэлектрические термометры с электродами ZrC–NbC и NbC–HfC. Имеются также возможности создания высокотемпературных термоэлектрических термометров с повышенной чувствительностью и стабильностью с термоэлектродами из керамики в комбинации с тугоплавким сплавом (URL: <http://avto.oglib.ru>).

Таблица 11

Обозначения типов термоэлектрических термометров	Наименование материалов термоэлектродов	Диапазон измерений при длительном применении, °С	Допускаемый предел измерений при кратковременном применении, °С
ТПП	Платинородий (10 % родия) – платина	0–1400	1600
ТПР	Платинородий (30 % родия) – платинородий (6 % родия)	300–1600	1800
ТВР	Вольфрамрений (5 % рения) – вольфрамрений (20 % рения)	0–2200	2500
ТХА	Хромель-алюмель	-200–1000	1300
ТХК	Хромель-копель	-200–600	800

Длина погружаемой (монтажной) части 1 термоэлектрического термометра (рис. 76) в среду, температуру которой измеряют, выполняется различной для каждой среды (URL: <http://avto.oglib.ru>).

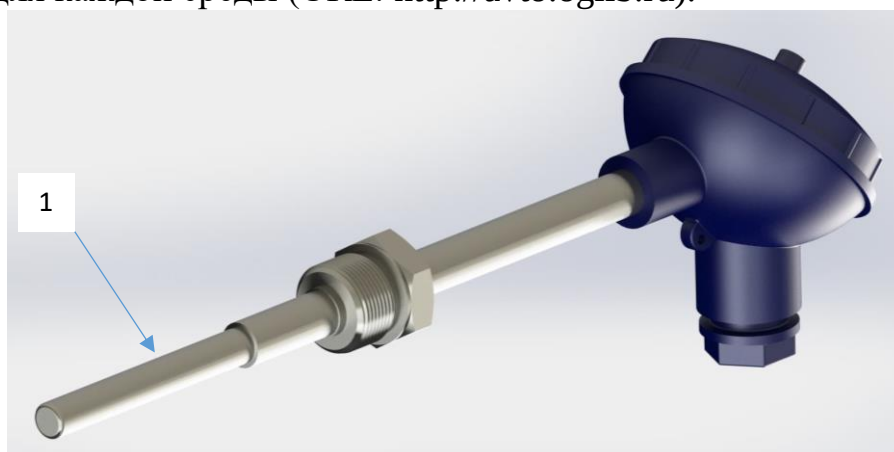


Рис. 76. Термоэлектрический термометр

Тепловизор

Тепловизор – тепловизионный измерительный прибор (рис. 77) – оптико-электронный прибор, предназначенный для бесконтактного (дистанционного) наблюдения, измерения и регистрации пространственного/пространственно-временного распределения радиационной температуры объектов, находящихся в поле зрения прибора, путем формирования временной последовательности термограмм и определения температуры поверхности объекта по известным коэффициентам излучения и параметрам съемки (температура окружающей среды, пропускание атмосферы, дистанция наблюдения и т. п.) (URL: https://isu.ifmo.ru/pls/apex/f?p=2109:0:0:DWNLД_F:NO::FILE,FDIS:A649AC34E DBD2157856CCAAAD8C59574,M).



Рис. 77. Тепловизор

Диапазон измеряемых температур (не калибруется ниже минус 10 °С) от минус 20 до 600 °С. Погрешность измерения температуры ± 2 °С или 2 % (при температуре 25 °С, выбирается большее значение).

Контрольные вопросы

1. Какие методы измерений температуры существуют?
2. Какие существуют шкалы температур?
3. Как работают жидкостные термометры?
4. Как работают dilatометрические термометры?
5. Как работают биметаллические термометры?
6. Как работают манометрические термометры?
7. Каков принцип работы пирометра?
8. На чем основан термоэлектрический метод измерения температур?
9. Каков принцип работы тепловизора?

2.2.7. Измерение частоты и времени

Реле времени

Реле времени (рис. 78) предназначены для осуществления заданной последовательности включения и выключения различных устройств, элементов схем, подачи сигнализации (Реле времени: виды, принцип работы, с регулировкой включения и отключения. URL: <https://odinelectric.ru>). При помощи устройств временного управления формируются заданные задержки

коммутации и управления. Большая часть конструкций устройств управления временем предусматривает регулировку длительности интервала включения или отключения. В зависимости от конструктивного исполнения реле времени регулировка может осуществляться механическим, электронным или программным способом.



Рис. 78. Электронное реле времени

Общий принцип работы реле времени заключается в формировании временной задержки на включение, выключение или переключение управляющих групп контактов. Реализация задержки зависит от конструктивных особенностей устройства. Общие различия в реле разных типов состоят в коммутации исполнительной части. По этому признаку различают две группы устройств реле:

- с задержкой выключения;
- с задержкой включения.

Многие реле позволяют осуществлять смену типа коммутации или имеют оба варианта.

В циклических устройствах перечисленная последовательность повторяется многократно.

Запуск отсчета выполняется вручную или автоматически непосредственным замыканием контактов подачи питания или через электромагнит, воздействующий на механизм.

Реле времени с задержкой включения работает аналогично (Реле времени: виды, принцип работы, с регулировкой включения и отключения. URL: <https://odinelectric.ru>).

Тахометр

Работа *тахометра* (рис. 79) состоит в том, что он отмечает числа импульсов, которые исходят от управляющих устройств, порядок их последовательности и пауз между самими импульсами. Для более простого понимания эти данные переводятся в секунды, метры, минуты, часы и т. п. Также здесь есть функция обнуления данных. Существует два типа тахометров – аналоговый и цифровой. Аналоговый тахометр наиболее популярный среди автолюбителей, он показывает данные за счет стрелки, которая двигается по циферблату, цифровой создан в виде цифрового табло, на котором высвечивается вся нужная информация.



Рис. 79. Тахометр

2.2.8. Измерение электрических и магнитных величин

Вольтметр (рис. 80, а) – электроизмерительный прибор для определения напряжения или ЭДС в электрических цепях (Техническое обслуживание средств вычислительной техники. URL: <http://studentlibrary.ru>). Подключается параллельно нагрузке или источнику электрической энергии. Идеальный вольтметр должен обладать бесконечно большим внутренним сопротивлением. Поэтому, чем выше внутреннее сопротивление в реальном вольтметре, тем меньше влияния оказывает прибор на измеряемый объект и, следовательно, тем выше точность и разнообразнее области применения.

Амперметр (рис. 80, б) – прибор для измерения силы тока в амперах. Шкалу амперметров градуируют в микроамперах, миллиамперах, амперах или килоамперах в соответствии с пределами измерения прибора.

В электрическую цепь амперметр включается последовательно с тем участком электрической цепи, силу тока в котором измеряют. Поэтому, чем ниже внутреннее сопротивление амперметра (в идеале – 0), тем меньше будет влияние прибора на исследуемый объект, и тем выше будет точность измерения (Техническое обслуживание средств вычислительной техники. URL: <http://studentlibrary.ru>). Для увеличения предела измерений амперметр

снабжается шунтом (для цепей постоянного и переменного тока), трансформатором тока (только для цепей переменного тока) или магнитным усилителем (для цепей постоянного тока). Очень опасно пытаться использовать амперметр в качестве вольтметра (подключать его непосредственно к источнику питания): это приведет к короткому замыканию. В технике используются амперметры с разной ценой деления в зависимости от назначения

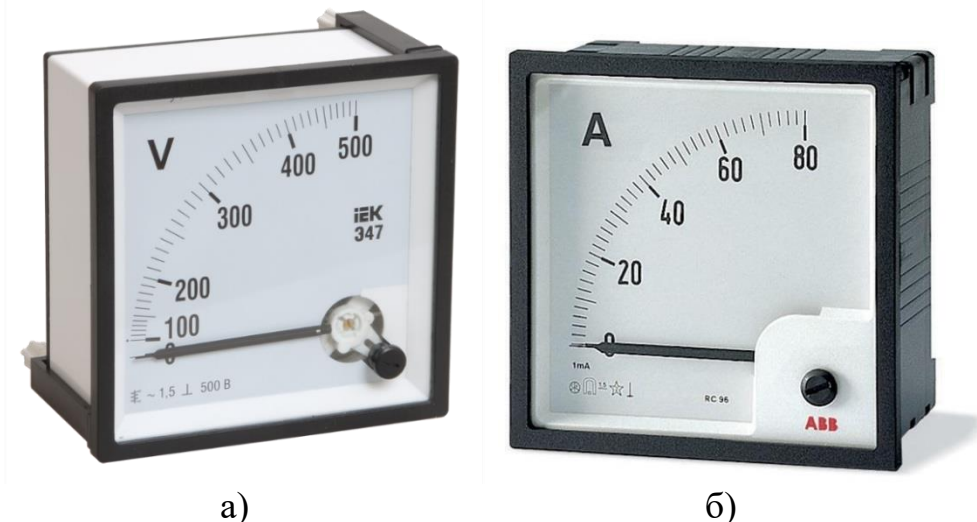


Рис. 80. Электроизмерительные приборы: а) вольтметр; б) амперметр

Амперметр подключается последовательно, с тем участком электроцепи, где предполагается измерять ток. Так как ток, который он измеряет, зависит от сопротивления элементов цепи, то сопротивление амперметра должно быть максимально низким (очень маленьким). Это позволяет уменьшить влияние устройства для измерения тока на измеряемую цепь и повысить их точность. Шкалу прибора градуируют в мкА, мА, А и кА и в зависимости от требуемой точности и пределов измерения выбирают подходящий прибор. Увеличения измеряемой силы тока добиваются путем включения в цепь шунтов, трансформаторов тока, магнитных усилителей. Это позволяет повысить предел измеряемой величины тока.

Кондуктометр

Основное предназначение *кондуктометров* (рис. 81) – это измерение удельного сопротивления или электропроводимости растворов, конденсата или пара, анализ свойств и качеств воды и пригодности ее для использования в той или иной сфере. Кондуктометр используется от бассейнов до водоочистки и водоподготовки на очистных сооружениях (URL: <https://modcon.ru/project/conductivity-resistivity-sensors/>).

Многие кондуктометры имеют термокомпенсацию – корректировку, необходимую для расчета электрического сопротивления при 25 °С. Диапазон измерений: 10–1990 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Цена деления: 10 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Погрешность: $\pm 2\%$. Температурная автокомпенсация: 5–50 °С.



Рис. 81. Кондуктометр (ЕС-метр) Milwaukee CD601

2.2.9. Измерения акустических величин в различных средах (воздушной, твердой, жидкой)

Шумомер (рис. 82) – это электронный прибор, предназначенный для измерения уровня громкости в децибелах.



Рис. 82. Шумомер

Показания шумомеров должны выражаться в децибелах относительно опорного звукового давления 20 мкПа ($2 \cdot 10^{-5}$ Па) (URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4294852/4294852161.htm>).

Частотный диапазон измерений должен быть:

от 20 до 12500 Гц – для шумомеров 0-го и 1-го классов;

от 20 до 8000 Гц – для шумомеров 2-го класса;

от 31,5 до 8000 Гц – для шумомеров 3-го класса.

Микрофон шумомера – ненаправленный приемник звукового давления нулевого порядка.

2.2.10. Оптические и оптико-физические измерения

Для измерения уровня светового излучения и фактической освещенности окружающего пространства используют *люксметр* (рис. 83) – специализированный электронный прибор.

Главное назначение прибора – производство замеров уровня освещенности в требуемой точке пространства. Уровень освещенности измеряется в люксах, а шкала излучения имеет диапазон от десятой части до нескольких сотен тысяч.

При этом 1 люкс соответствует освещенности в 1 люмен на площади в 1 м². Соответственно единица измерения люксметра – люксы, а люмены указывают на интенсивность светового потока (URL: <https://instrumentn.ru/izmeritelnye-pribory/lyuksmetr-vidy-i-vybor>).



Рис. 83. Люксометр

Контрольные вопросы

1. Для чего предназначено реле времени?
2. Какие средства измерения электрических и магнитных величин вы знаете?
3. Для каких измерений необходим кондуктомер?
4. Для чего предназначен шумомер?
5. В каких единицах измеряется уровень шума?
6. В каких единицах измеряется уровень освещенности?

3. ВЫБОР СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ И РАБОТА С НИМИ

3.1. Классы точности средств измерений

Классы точности средств измерений устанавливает ГОСТ 8.401.

Класс точности согласно РМГ-29-2013 – обобщенная характеристика данного типа средств измерений, как правило, отражающая их уровень точности и выражаемая точностными характеристиками средств измерений. Класс точности обычно обозначается числом или символом, принятым по соглашению. Класс точности дает возможность судить о значениях инструментальных погрешностей или инструментальных неопределенностей средств измерений данного типа при выполнении измерений [1]. Необходимо подчеркнуть, что класс точности является обобщенной характеристикой СИ. Значение его позволяет определить не точность конкретного измерения, а лишь указать пределы, в которых находится значение измеряемой величины.

ГОСТ 8.401 устанавливает общие положения деления средств измерений на классы точности, способы нормирования метрологических характеристик, комплекс требований к которым зависит от класса точности средств измерений, и обозначения классов точности. Стандарт не устанавливает классы точности средств измерений, для которых в стандартах предусмотрены нормы отдельно для систематической и случайной составляющих погрешности, а также нормирование номинальных функций влияния, если средства измерений предназначены для применения без введения поправок с целью исключения дополнительных погрешностей с учетом номинальных функций влияния. Стандарт не устанавливает также классы точности средств измерений, при применении которых в соответствии с их назначением необходимо для оценки погрешности измерений учитывать динамические характеристики.

Классы точности следует устанавливать в стандартах или технических условиях, содержащих технические требования к средствам измерений, подразделяемым по точности. Необходимость подразделения средств измерений по точности определяют при разработке этой документации.

Классы точности средств измерений конкретного вида следует устанавливать в стандартах общих технических требований (технических требований) или общих технических условий (технических условий).

Классы точности средств измерений конкретного типа следует выбирать из ряда классов точности для средств измерений конкретного вида, регламентированного в стандартах, и устанавливать в стандартах технических требований (условий) или в технической документации, утвержденной в установленном порядке.

В стандартах или технических условиях, устанавливающих класс точности средств измерений конкретного типа, следует давать ссылку на стандарт, которым установлен ряд классов точности на средства измерений данного вида.

Для каждого класса точности в стандартах на средства измерений конкретного вида устанавливают конкретные требования к метрологическим характеристикам в совокупности отражающие уровень точности средств измерений этого класса. Для малоизменяющихся метрологических характеристик допускается устанавливать требования, единые для двух и более классов точности.

Независимо от классов точности нормируют метрологические характеристики, требования к которым целесообразно устанавливать едиными для средств измерений всех классов точности, например, входные или выходные сопротивления.

Совокупности нормируемых метрологических характеристик должны быть составлены из характеристик, предусмотренных ГОСТ 8.009 [44].

Примеры составления совокупности нормируемых метрологических характеристик, требования к которым устанавливают в зависимости от классов точности средств измерений:

– для вольтметров по ГОСТ 8711-93 [45]:

- предел допускаемой основной погрешности и соответствующие нормальные условия;

- пределы допускаемых дополнительных погрешностей и соответствующие рабочие области влияющих величин;

- пределы допускаемой вариации показаний, невозвращение указателя к нулевой отметке;

– для плоскопараллельных концевых мер длины по ГОСТ 9038-90 [46]:

- пределы допускаемых отклонений от номинальной длины и плоскопараллельности, притираемость;

- пределы допускаемого изменения длины в течение года.

Средствам измерений с двумя или более диапазонами измерений одной и той же физической величины допускается присваивать два или более класса точности.

Средствам измерений, предназначенным для измерений двух или более физических величин, допускается присваивать различные классы точности для каждой измеряемой величины.

Примеры, поясняющие требования отдельных пунктов ГОСТ 8.401:

– электроизмерительному прибору, предназначенному для измерений силы постоянного тока в диапазонах 0–10, 0–20 и 0–50 А, могут быть для отдельных диапазонов присвоены различные классы точности;

– электроизмерительному прибору, предназначенному для измерений электрического напряжения и сопротивления, могут быть присвоены два класса точности: один как вольтметру, другой – как омметру;

– класс точности для концевых мер длины может быть присвоен при выпуске мер из производства или изменен в процессе эксплуатации, если в результате последней отклонение длины меры от номинального значения

превысило предел допускаемых отклонений для класса точности, присвоенного ранее.

С целью ограничения номенклатуры средств измерений по точности для средств измерений конкретного вида следует устанавливать ограниченное число классов точности, определяемое технико-экономическими обоснованиями.

Средства измерений должны удовлетворять требованиям к метрологическим характеристикам, установленным для присвоенного им класса точности, как при выпуске их из производства, так и в процессе эксплуатации.

Классы точности цифровых измерительных приборов со встроенными вычислительными устройствами для дополнительной обработки результатов измерений следует устанавливать без учета режима обработки.

Классы точности следует присваивать средствам измерений при их разработке с учетом результатов государственных приемочных испытаний. Если в стандарте или технических условиях, регламентирующих технические требования к средствам измерений конкретного типа, установлено несколько классов точности, то допускается присваивать класс точности при выпуске из производства, а также понижать класс точности по результатам поверки в порядке, предусмотренном документацией, регламентирующей поверку средств измерений. При этом класс точности набора мер определяется классом точности меры с наибольшей погрешностью.

Требования следует устанавливать к каждой нормируемой характеристике отдельно.

Пределы допускаемых основной и дополнительных погрешностей следует выражать в форме приведенных, относительных или абсолютных погрешностей в зависимости от характера изменения погрешностей в пределах диапазона измерений, а также от условий применения и назначения средств измерений конкретного вида.

Формы выражения пределов допускаемых погрешностей

Пределы допускаемых погрешностей выражают в зависимости от характера изменения (в пределах диапазона изменений входного (выходного) сигнала) границ абсолютных погрешностей средств измерений конкретного вида, которые оценивают на основании принципа действия, свойств средств измерений, а также их назначения:

- в форме приведенных погрешностей – если указанные границы можно полагать практически неизменными. Например, пределы допускаемых погрешностей показывающих амперметров выражают в форме приведенных погрешностей, так как границы погрешностей средств измерений данного вида практически неизменны в пределах диапазона измерений;

- в форме относительных погрешностей – если указанные границы нельзя полагать постоянными.

Пределы допускаемых погрешностей выражают в форме абсолютных погрешностей (т. е. в единицах измеряемой величины или в делениях шкалы

средств измерений), если погрешность результатов измерений в данной области измерений принято выражать в единицах измеряемой величины или в делениях шкалы. Например, пределы допускаемых погрешностей мер массы (длины) выражают в форме абсолютных погрешностей, так как погрешности результатов измерений массы (длины) принято выражать в единицах массы (длины).

Способы установления пределов допускаемых погрешностей

Пределы допускаемых погрешностей, выраженные в форме абсолютных (относительных) погрешностей, устанавливают одним из следующих способов в зависимости от характера изменения (в пределах диапазона измерений входного (выходного) сигнала) границ погрешностей средств измерений конкретного вида:

- по формуле (10) настоящего стандарта – если границы абсолютных погрешностей можно полагать практически неизменными;
- по формуле (13) настоящего стандарта – если границы относительных погрешностей можно полагать практически неизменными;
- по формуле (11) или (14) настоящего стандарта – если границы абсолютных погрешностей можно полагать изменяющимися практически линейно;
- в виде функции, графика или таблицы – если границы погрешностей необходимо принять изменяющимися нелинейно.

Пределы допускаемой дополнительной погрешности допускается выражать в форме, отличной от формы выражения пределов допускаемой основной погрешности.

Выражение пределов допускаемой погрешности в форме приведенных и относительных погрешностей является предпочтительным, так как они позволяют выражать пределы допускаемой погрешности числом, которое остается одним и тем же (числами, которые остаются одними и теми же) для средств измерений одного уровня точности, но с различными верхними пределами измерений.

Пределы допускаемой основной погрешности устанавливают в последовательности, приведенной ниже.

Пределы допускаемой абсолютной основной погрешности устанавливают по формуле

$$\Delta = \pm a \quad (10)$$

или

$$\Delta = \pm(a + bx), \quad (11)$$

где Δ – пределы допускаемой абсолютной основной погрешности, выраженной в единицах измеряемой величины на входе (выходе) или условно в делениях шкалы; x – значение измеряемой величины на входе (выходе) средств измерений или число делений, отсчитанных по шкале; a , b – положительные числа, не зависящие от x .

В обоснованных случаях пределы допускаемой абсолютной погрешности устанавливают по более сложной формуле или в виде графика либо таблицы.

При применении формулы (10) или (11) для средств измерений, используемых с отсчитыванием интервалов между произвольно выбираемыми отметками шкалы, допускается указывать, что погрешность каждого отдельного средства измерений не должна превышать установленной нормы, оставаясь только положительной или только отрицательной.

Пределы допускаемой приведенной основной погрешности следует устанавливать по формуле

$$\gamma = \frac{\Delta}{X_N} = \pm p, \quad (12)$$

где γ – пределы допускаемой приведенной основной погрешности, %; Δ – пределы допускаемой абсолютной основной погрешности, устанавливаемой по формуле (1); X_N – нормирующее значение, выраженное в тех же единицах, что и Δ ; p – отвлеченное положительное число, выбираемое из ряда $1 \cdot 10^n$; $1,5 \cdot 10^n$; $(1,6 \cdot 10^n)$; $2 \cdot 10^n$; $2,5 \cdot 10^n$; $(3 \cdot 10^n)$; $4 \cdot 10^n$; $5 \cdot 10^n$; $6 \cdot 10^n$; ($n=1, 0, -1, -2$ и т. д.).

Значения, указанные в скобках, не устанавливают для вновь разрабатываемых средств измерений. При одном и том же показателе степени n допускается устанавливать не более пяти различных пределов допускаемой основной погрешности для средств измерений конкретного вида.

Нормирующее значение X_N для средств измерений с равномерной, практически равномерной или степенной шкалой, а также для измерительных преобразователей, если нулевое значение входного (выходного) сигнала находится на краю или вне диапазона измерений, следует устанавливать равным большему из пределов измерений или равным большему из модулей пределов измерений, если нулевое значение находится внутри диапазона измерений.

Практически равномерная шкала – шкала, длина делений которой отличается друг от друга не более чем на 30 % и имеет постоянную цену делений.

Существенно неравномерная шкала – шкала с сужающимися делениями, для которой значение выходного сигнала, соответствующее полусумме верхнего и нижнего пределов диапазона изменений входного (выходного) сигнала, находится в интервале между 65 и 100 % длины шкалы, соответствующей диапазону изменений входного (выходного) сигнала.

Степенная шкала – шкала с расширяющимися или сужающимися делениями, отличная от шкал, указанных выше.

Для средств измерений физической величины, для которых принята шкала с условным нулем, нормирующее значение устанавливают равным модулю разности пределов измерений.

Для средств измерений с установленным номинальным значением нормирующее значение устанавливают равным этому номинальному значению.

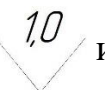
Для измерительных приборов с существенно неравномерной шкалой нормирующее значение устанавливают равным всей длине шкалы или ее части, соответствующей диапазону измерений. В этом случае пределы абсолютной погрешности выражают, как и длину шкалы, в единицах длины.

В некоторых случаях, указания по выбору нормирующего значения должны быть приведены в стандартах на средства измерений конкретного вида.

Пример. Указатель отсчетного устройства вольтметра класса точности 0,5 с диапазоном измерения 0–500 В показывает 230 В. Чему равно измеряемое напряжение?

Решение: для указанного прибора измеряемое напряжение не может отличаться от того, что показывает указатель, более чем на соответствующее число процентов от верхнего предела измерений, т. е. $\pm 2,5$ В (0,5 % от 500 В). Следовательно, измеряемое напряжение находится в диапазоне $227,5 \leq U \leq 232,5$ В.

Обозначение классов точности цифрами того же ряда предпочтительных чисел может сопровождаться применением дополнительных условных знаков.

Так, например, отметка снизу    и т. п. означает, что у

измерительных приборов этого типа с неравномерной шкалой значение измеряемой величины не может отличаться от того, что показывает указатель отсчетного устройства, больше чем на указанное число процентов от всей длины шкалы или её части, соответствующей диапазону измерений.

Пределы допускаемой относительной основной погрешности устанавливают по формуле:

$$\delta = \frac{\Delta}{x} = \pm q, \quad (13)$$

если Δ установлено по формуле (1), или по формуле:

$$\delta = \frac{\Delta}{x} = \pm \left[c + d \left(\left| \frac{x_k}{x} \right| - 1 \right) \right], \quad (14)$$

где δ – пределы допускаемой относительной основной погрешности, %; Δ , x – см. ф. (11); q – отвлеченное положительное число, выбираемое из ряда, приведенного в ф. (12); X_k – больший (по модулю) из пределов измерений; c , d – положительные числа, выбираемые из ряда, приведенного в ф. (13) $c = b + d$; $d = \frac{a}{|X_k|}$; a , b – см. ф. (11).

Заклучение чисел в окружность (например,     и т. д.) означает, что проценты исчисляются непосредственно от того значения, которое показывает указатель (согласно 13).

Пример. Указатель отсчетного устройства вольтметра класса точности  с диапазоном измерения 0–500 В показывает 230 В. Чему равно измеряемое напряжение?

Решение: для указанного прибора измеряемое напряжение не может отличаться от того, что показывает указатель, более чем на соответствующее число процентов от того значения, которое показывает указатель, т. е. на $\pm 2,3$ В (1,0 % от 230 В). Следовательно, измеряемое напряжение находится в диапазоне $227,7 \text{ В} \leq U \leq 232,3 \text{ В}$.

Когда обозначение класса точности дается в виде дроби, например, 0,02/0,01 – это означает, что измеряемая величина не может отличаться от значения X , показанного указателем, больше чем на $\pm \left[c + d \left(\left| \frac{x_k}{x} \right| - 1 \right) \right] \%$, где c и d – соответственно числитель и знаменатель в обозначении класса точности, а X_k – больший (по модулю) из пределов измерений (см. формулу (15)).

Пример: указатель отсчетного устройства ампервольтметра класса точности 1/0,5 со шкалой измерения от минус 250 до +250 показывает 125 A/V. Чему равно измеряемое напряжение?

Решение: измеряемое напряжение отличается от того, что показывает указатель, не больше чем на 1,5 % ($\delta = \pm \left[1 + 0,5 \left(\left| \frac{250}{125} \right| - 1 \right) \right] \%$). 1,5 % от 125 В составляет $1,875 \approx 1,9$ В.

Таким образом, измеряемое напряжение находится в диапазоне $123,1 \text{ В} \leq U \leq 126,9 \text{ В}$.

В обоснованных случаях пределы допускаемой относительной основной погрешности устанавливают по более сложной формуле или в виде графика либо таблицы.

В стандартах или технических условиях на средства измерений должно быть установлено минимальное значение x , равное x_0 , начиная от которого применим принятый способ выражения пределов допускаемой относительной погрешности. Соотношение между числами c и d следует устанавливать в стандартах на средства измерений конкретного вида.

Пределы допускаемых дополнительных погрешностей устанавливают:

- в виде постоянного значения для всей рабочей области влияющей на величины или в виде постоянных значений по интервалам рабочей области влияющей величины;
- путем указания отношения предела допускаемой дополнительной погрешности, соответствующего регламентированному интервалу влияющей величины, к этому интервалу;
- путем указания зависимости предела допускаемой дополнительной погрешности от влияющей величины (предельной функции влияния);
- путем указания функциональной зависимости пределов допускаемых отклонений от номинальной функции влияния.

Пределы допускаемой дополнительной погрешности, как правило, устанавливают в виде дольного (кратного) значения предела допускаемой основной погрешности.

Для различных условий эксплуатации средств измерений в рамках одного и того же класса точности допускается устанавливать различные рабочие области влияющих величин.

Предел допускаемой вариации выходного сигнала следует устанавливать в виде дольного (кратного) значения предела допускаемой основной погрешности или в делениях шкалы. Пределы допускаемой нестабильности, как

правило, устанавливают в виде доли предела допускаемой основной погрешности.

Способы выражения метрологических характеристик, не указанных выше, должны быть приведены в стандартах, устанавливающих классы точности средств измерений конкретного вида.

Пределы допускаемых погрешностей должны быть выражены не более чем двумя значащими цифрами, причем погрешность округления при вычислении пределов должна быть не более 5 %.

Обозначение классов точности средств измерений в документации

Для средств измерений, пределы допускаемой основной погрешности которых принято выражать в форме абсолютных или относительных погрешностей, причем последние установлены в виде графика, таблицы или формулы, не приведенной в формулах (13) и (14), классы точности следует обозначать в документации прописными (заглавными, большими) буквами латинского алфавита или римскими цифрами.

В необходимых случаях к обозначению класса точности буквами латинского алфавита допускается добавлять индексы в виде арабской цифры. Классам точности, которым соответствует меньшие пределы допускаемых погрешностей, должны соответствовать буквы, находящиеся ближе к началу алфавита, или цифры, означающие меньшие числа.

Для средств измерений, пределы допускаемой основной погрешности которых принято выражать в форме приведенной погрешности или относительной погрешности в соответствии с формулой (13), классы точности в документации следует обозначать числами, которые равны этим пределам, выраженным в процентах. Обозначение класса точности в соответствии с этим пунктом дает непосредственное указание на предел допускаемой основной погрешности.

Для средств измерений, пределы допускаемой основной погрешности которых принято выражать в форме относительных погрешностей в соответствии с формулой (14), классы точности в документации следует обозначать числами с и d, разделяя их косой чертой (см. табл. 12).

В эксплуатационной документации на средство измерений конкретного вида, содержащей обозначение класса точности, должна быть ссылка на стандарт или технические условия, в которых установлен класс точности этого средства измерений.

Обозначение классов точности на средствах измерений

На циферблаты, щитки и корпуса средств измерений должны быть нанесены условные обозначения классов точности, включающие числа, прописные буквы латинского алфавита или римские цифры, установленные в ГОСТ 8.401 с добавлением знаков, указанных в табл. 12.

При указании классов точности на измерительных приборах с существенно неравномерной шкалой допускается для информации дополнительно указывать пределы допускаемой основной относительной погрешности для части шкалы, лежащей в пределах, отмеченных специальными знаками (например, точками или треугольниками). К значению предела допускаемой относительной погрешности в этом случае добавляют знак процента и помещают в кружок. Этот знак не является обозначением класса точности.

Таблица 12

Форма выражения погрешности	Предел допускаемой основной погрешности	Предел допускаемой основной погрешности	Обозначение класса точности	
			в документации	на средстве измерений
Приведенная по п. 2.3.2 ГОСТ 8.401	По формуле (13): если нормирующее значение выражено в единицах величины на входе (выходе) средств измерений	$\gamma = \pm 1,5 (\%)$	Класс точности 1,5	1,5
	если нормирующее значение принято равным длине шкалы или ее части	$\gamma = \pm 0,5 (\%)$	Класс точности 0,5	
Относительная по п. 2.3.8 ГОСТ 8.401	По формуле (14)	$\delta = \pm 0,5$	Класс точности 0,5	
	По формуле (15)	$\delta = \pm \left[0,02 + 0,01 \left(\left \frac{x_k}{x} \right - 1 \right) \right]$	Класс точности 0,02/0,01	0,02/0,01
Абсолютная по п. 2.3.1 ГОСТ 8.401	По формуле (11) или (12)	Δ	Класс точности М	М
Относительная по пп. 2.3.8 и 3.1.1 ГОСТ 8.401			Класс точности С	С

Обозначение класса точности допускается не наносить на высокоточные меры, а также на средства измерений, для которых действующими стандартами установлены особые внешние признаки, зависящие от класса точности, например, параллелепипедная и шестигранная форма гирь общего назначения.

За исключением технически обоснованных случаев вместе с условным обозначением класса точности на циферблат, щиток или корпус средств измерений должно быть нанесено обозначение стандарта или технических условий, устанавливающих технические требования к этим средствам измерения.

На средства измерений, для одного и того же класса точности, которых в зависимости от условий эксплуатации установлены различные рабочие области влияющих величин, следует наносить обозначения условий их эксплуатации, предусмотренные в стандартах или технических условиях на эти средства измерений.

Правила построения и примеры обозначения классов точности в документации и на средствах измерений приведены в табл. 12.

Контрольные вопросы

1. Что такое класс точности средства измерений?
2. Как устанавливается класс точности?
3. Какие варианты обозначений классов точности существуют?
4. Где указывается класс точности?
5. Как устанавливаются значения классов точности цифрами?

3.2. Поверка и калибровка средств измерений

Важнейшей формой государственного контроля за измерительной техникой является поверка средств измерений.

Согласно ФЗ «Об обеспечении единства измерений»:

– поверка средств измерений (далее также – поверка) – совокупность операций, выполняемых в целях подтверждения соответствия средств измерений метрологическим требованиям;

– калибровка средств измерений – совокупность операций, выполняемых в целях определения действительных значений метрологических характеристик средств измерений.

Согласно РМГ-29-2013 *поверка* (средств измерений) – установление официально уполномоченным органом пригодности средства измерений к применению на основании экспериментально определяемых метрологических характеристик и подтверждения их соответствия установленным обязательным требованиям. В VIM3 [31] используется термин верификация – предоставление объективных свидетельств того, что данный объект полностью удовлетворяет установленным требованиям. Объектом верификации может быть, например, процесс, методика измерений, материал, вещество или средство измерения. Термины «поверка средства измерения» и «верификация», применительно к средству измерения, являются синонимами.

Основной метрологической характеристикой, определяемой при поверке средств измерений, является их погрешность, которая находится путем сравнения поверяемого средства измерений с эталоном.

Поверка осуществляется в соответствии с законом «Об обеспечении единства измерений» и рядом документов, регламентирующих различные аспекты поверочной деятельности:

- ПР 50.2.012-94 «ГСИ. Порядок аттестации поверителей средств измерений» [32];

- ПР 50.2.007-2001 «ГСИ. Поверительные клейма» [33].

Порядок проведения поверки средств измерений, требования к знаку поверки и требования к содержанию свидетельства о поверке приведены в Приказе Министерства промышленности и торговли РФ от 31 июля 2020 г. N 2510 «Об утверждении порядка проведения поверки средств измерений, требований к знаку поверки и содержанию свидетельства о поверке» [34].

Порядок проведения поверки средств измерений. Общие положения

Настоящий порядок устанавливает правила проведения поверки средств измерений (далее – поверка) и распространяется на юридических лиц, индивидуальных предпринимателей, владеющих средствами измерений на праве собственности или на ином законном основании (далее – владелец средств измерений) и (или) непосредственно применяющих средства измерений и представляющих их на поверку, на юридических лиц и индивидуальных предпринимателей, аккредитованных на проведение поверки в соответствии с законодательством Российской Федерации об аккредитации в национальной системе аккредитации, и на государственные региональные центры метрологии, которые проводят поверку.

Настоящий порядок применяется при подготовке средств измерений к представлению их на поверку, при проведении поверки, оформлении ее результатов и передаче сведений о результатах поверки в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений.

Поверке подлежат средства измерений утвержденного типа, предназначенные для применения в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений.

Средства измерений, не предназначенные для применения в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, могут подвергаться поверке в добровольном порядке.

Средства измерений до ввода в эксплуатацию, а также после ремонта подлежат первичной поверке, а в процессе эксплуатации – периодической поверке.

Результатами поверки средств измерений являются сведения о результатах поверки средств измерений, включенные в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений.

Результаты поверки средств измерений, предназначенных для применения в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, действительны в течение установленных для средств измерений интервалов между поверками (далее – межповерочный интервал).

Срок действия межповерочного интервала исчисляется с даты поверки средства измерения. Датой поверки средства измерений считается день окончания работ по выполнению процедур, предусмотренных методикой поверки (далее – методика поверки).

Согласно РМГ-29-2013 существует первичная, периодическая, внеочередная и инспекционная поверка.

Первичная поверка (средств измерений) – поверка, выполняемая при выпуске средства измерений из производства или после ремонта, а также при ввозе средства измерений из-за границы.

Периодическая поверка (средств измерений) – поверка средств измерений, находящихся в эксплуатации или на хранении, выполняемая через установленные интервалы времени между поверками (межповерочные интервалы). Межповерочные интервалы устанавливаются нормативными документами по поверке в зависимости от стабильности того или иного средства измерений и могут устанавливаться от нескольких месяцев до нескольких лет.

Внеочередная поверка (средств измерений) – поверка средства измерений, проводимая до наступления срока его очередной периодической поверки. Необходимость внеочередной поверки может возникнуть вследствие разных причин: ухудшение метрологических свойств средства измерений или подозрение в этом, нарушение условий эксплуатации, нарушение поверительного клейма и др.

Инспекционная поверка (средств измерений) – поверка, проводимая официально уполномоченным органом при проведении государственного метрологического надзора (контроля) за состоянием и применением средств измерений.

Организация поверки средств измерений

Владелец средств измерений, применяемых в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, или юридическое лицо и индивидуальный предприниматель, непосредственно их применяющие в указанной сфере, обязаны представлять их на поверку (далее – лицо, представляющее средство измерений на поверку).

Средства измерений представляются на периодическую поверку по окончании межповерочного интервала.

Представление средств измерений на периодическую поверку до окончания, установленного межповерочного интервала (далее – внеочередная поверка) осуществляется в случаях:

– отсутствия подтверждения результатов поверки средств измерений в соответствии с действующим на дату ее проведения нормативным правовым

актом, принятым в соответствии с законодательством Российской Федерации об обеспечении единства измерений;

– повреждения или отсутствия пломб, обеспечивающих защиту от несанкционированного доступа к узлам настройки (регулировки) средств измерений, с вскрытием пломб, предотвращающих доступ к узлам настройки (регулировки) и (или) элементам конструкции средств измерений.

В добровольном порядке средства измерений на внеочередную поверку могут представляться без ограничений количества представлений и сроков представления в течение межповерочного интервала.

Средства измерений, представляемые на поверку, должны иметь заводские (серийные) номера или буквенно-цифровые обозначения, нанесенные на средства измерений или, при невозможности нанесения на средство измерений, на эксплуатационный документ или упаковку средства измерений, которые должны идентифицировать каждый экземпляр средств измерений.

Поверка средств измерений

Поверка средств измерений выполняется в целях подтверждения их соответствия установленным метрологическим требованиям.

Поверка средств измерений, включенных в Перечень средств измерений, осуществляется государственными региональными центрами метрологии в соответствии с их областью аккредитации.

Поверка средств измерений, не включенных в Перечень средств измерений, осуществляется аккредитованными на поверку юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями в соответствии с их областью аккредитации.

Поверка должна проводиться:

в местах осуществления деятельности аккредитованного на поверку лица (на объектах, в помещениях, зданиях, сооружениях, комплексах зданий и иных помещениях, расположенных по адресам, установленным при аккредитации на поверку, и принадлежащих на праве собственности, либо ином законном основании аккредитованному на поверку лицу),

в местах осуществления временных работ (разовые работы, выполняемые на объектах, в помещениях, зданиях, сооружениях, комплексах зданий и иных помещениях, находящихся вне мест осуществления деятельности аккредитованного на поверку лица).

Поверка в данных местах должна проводиться в условиях (при значениях влияющих факторов), предусмотренных установленными для поверки средств измерений методиками поверки.

Поверка средств измерений должна проводиться по методикам поверки, установленным в соответствии с Порядком установления, отмены методик поверки и внесения изменений в них.

Эталоны единиц величин, используемые при поверке, должны соответствовать требованиям Положения об эталонах единиц величин,

используемых в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 23 сентября 2010 г. N 734 (далее – Положение об эталонах).

Проведение первичной поверки средств измерений одного типа при выпуске их из производства до ввода в эксплуатацию осуществляется на основании выборки, если это предусмотрено методикой поверки и осуществлено аккредитованным на поверку лицом.

Периодической поверке подвергается каждый экземпляр средств измерений, находящихся в эксплуатации, через межповерочные интервалы, а также средств измерений, повторно вводимых в эксплуатацию после их длительного хранения (более одного межповерочного интервала).

Периодическая поверка средств измерений, предназначенных для измерений нескольких величин или имеющих несколько поддиапазонов измерений, но применяемых для измерений меньшего числа величин или на меньшем числе поддиапазонов измерений (далее – поверка в сокращенном объеме), проводится в добровольном порядке для применяемых величин и (или) поддиапазонов измерений. Поверка в сокращенном объеме проводится на основании письменного заявления владельца средства измерений или лица, представившего средство измерений на поверку, оформленного в произвольной форме, при условии наличия в методике поверки указаний о возможности проведения поверки в сокращенном объеме.

В целях предотвращения доступа к узлам настройки (регулировки) средств измерений в местах, предусмотренных их конструкцией, по завершении поверки аккредитованным на поверку лицом устанавливаются пломбы, содержащие изображение знака поверки.

Оформление результатов поверки

Сведения о результатах поверки средств измерений в целях подтверждения поверки должны быть переданы в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений в соответствии с порядком создания и ведения Федерального информационного фонда по обеспечению единства измерений, передачи сведений в него и внесения изменений в данные сведения, предоставления содержащихся в нем документов и сведений, предусмотренным ч. 3 ст. 20 Федерального закона N 102-ФЗ, аккредитованным на поверку лицом, проводившим поверку, в сроки, согласованные с лицом, представляющим средства измерений в поверку, но не превышающие 20 рабочих дней (для средств измерений, применяемых в качестве эталонов единиц величин) и 40 рабочих дней (для остальных средств измерений) с даты проведения поверки средств измерений.

Для средств измерений, прошедших первичную поверку в соответствии с п. 15 настоящего Порядка на основании выборки, в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений передаются

сведения о результатах поверки всех средств измерений, входящих в партию средств измерений, из которых осуществлялась выборка.

По заявлению владельца средств измерений или лица, представившего их на поверку, с учетом требований методик поверки аккредитованное на поверку лицо, проводившее поверку, в случае положительных результатов поверки (подтверждено соответствие средств измерений метрологическим требованиям) наносит знак поверки на средства измерений и (или) выдает свидетельства о поверке, оформленные в соответствии с требованиями к содержанию свидетельства о поверке, утверждаемыми настоящим приказом, и (или) в паспорт (формуляр) средств измерений вносит запись о проведенной поверке или в случае отрицательных результатов поверки (не подтверждено соответствие средств измерений метрологическим требованиям) выдает извещения о непригодности к применению средства измерений.

Знаки поверки наносятся на средства измерений, которые по результатам поверки соответствуют метрологическим требованиям, и конструкция которых предусматривает возможность нанесения знаков поверки.

Нанесение знака поверки на средства измерений, по результатам поверки которых не подтверждено их соответствие метрологическим требованиям, запрещается.

Оформление результатов поверки в паспорте (формуляре) средств измерений, по результатам поверки которых подтверждено их соответствие метрологическим требованиям, включает запись о проведенной поверке в виде «поверка выполнена». Указанная запись заверяется подписью работника аккредитованного на поверку лица, проводившего поверку средств измерений (далее – поверитель) с расшифровкой подписи (указываются фамилия и инициалы поверителя), наносится знак поверки и указывается дата поверки.

При оформлении свидетельств о поверке в соответствии с постановлением N 311 срок действия свидетельств о поверке, как и результатов поверки, устанавливается исходя из интервалов между поверками, установленных при утверждении типов средств измерений, и исчисляется с даты проведения калибровки, указанной в сертификатах калибровки.

Требования к знаку поверки

Настоящие требования устанавливают состав информации, размещаемой на знаке поверки, способ ее представления и отражения и распространяются на юридических лиц, индивидуальных предпринимателей, владеющих средствами измерений на праве собственности или на ином законном основании, предусматривающем право владения и пользования средствами измерений, и эксплуатирующих данные средства измерений и использующие знаки поверки в процессе эксплуатации средств измерений, на юридических лиц и индивидуальных предпринимателей, аккредитованных на проведение поверки в соответствии с законодательством Российской Федерации об аккредитации в национальной системе аккредитации, и на государственные региональные

центры метрологии в соответствии с ч. 3 ст. 13 Федерального закона от 26 июня 2008 г. N 102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений» (далее – Федеральный закон N 102-ФЗ), которые проводят поверку и наносят знаки поверки по ее результатам (далее – аккредитованное на поверку лицо) [35].

Настоящие требования применяются при оформлении результатов поверки средств измерений и в процессе эксплуатации средств измерений.

Настоящие требования не распространяются на знаки поверки, наносимые по результатам поверки средств измерений, применяемые в области обороны и безопасности государства, в случае установления к ним особых требований, предусмотренных п. 9 Положения об особенностях обеспечения единства измерений при осуществлении деятельности в области обороны и безопасности Российской Федерации, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 2 октября 2009 г. N 780.

Знак поверки представляет собой оттиск, наклейку или иным способом изготовленное условное изображение, изображение в электронном документе, содержащее:

- условный шифр, присвоенный в соответствии с порядком создания и ведения Федерального информационного фонда по обеспечению единства измерений, передачи сведений в него и внесения изменений в данные сведения, предоставления содержащихся в нем документов и сведений, предусмотренным ч. 3 ст. 20 Федерального закона N 102-ФЗ;

- две последние цифры года нанесения знака поверки.

В добровольном порядке в информацию знака поверки включается индивидуальный знак работника аккредитованного на поверку лица, проводившего поверку средств измерений, обозначаемый одной из строчных букв русского, латинского или греческого алфавитов, и информация о месяце, обозначаемом арабскими цифрами, или квартале, обозначаемом римскими цифрами, в которые проводится поверка.

В целях автоматизации идентификации средств измерений, передачи сведений в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений информация, включаемая в знак поверки в виде наклейки, дополняется штрих-кодом.

Знак поверки должен иметь изображение, сохраняемое в условиях эксплуатации средства измерений в течение интервала между поверками в соответствии с порядком установления и изменения интервала между поверками средств измерений, предусмотренным ч. 7 ст. 12 Федерального закона N 102-ФЗ.

Контрольные вопросы

1. Что такое поверка средств измерений?
2. Что такое калибровка средств измерений?
3. Какие виды поверок существуют?
4. Где проводится поверка?
5. Как оформляются результаты поверки?
6. Что такое знак поверки?

3.3. Основные принципы выбора средств измерений

При выборе СИ приходится учитывать ряд факторов [36]:

- измеряемую физическую величину;
- метод измерения, реализуемый в средстве измерений;
- диапазон и погрешность СИ;
- условия проведения измерений;
- допускаемую погрешность измерений;
- стоимость СИ;
- простоту их эксплуатации и ресурс СИ;
- ресурс СИ;
- потери из-за погрешностей измерений.

Отсутствие единого фактора, по которому можно сравнивать СИ, затрудняет решение задачи.

Выбор СИ зависит от решаемой измерительной задачи, при этом приходится отдавать предпочтение одним факторам и пренебрегать другими. Наиболее существенно влияют на качество измерений погрешности, поэтому при выборе СИ их рассматривают в первую очередь.

Существует три основных принципа выбора СИ:

1. Экономический подход (наиболее оптимальный, так как учитывает практически все показатели). При технико-экономических расчетах следует учитывать следующие возможные результаты от повышения точности измерений:

а) повышение точности измерений позволяет соответственно точнее регулировать производственный процесс. Техничко-экономический эффект при этом определяется дополнительно выпускаемой продукцией и экономией сырья;

б) более точные измерения позволяют сократить допуск на изготовление, а следовательно, повысить качество изделий. Тот же результат достигается при более точной разбраковке без изменения допуска на изготовление. Техничко-экономический эффект в этом случае определяется повышением эксплуатационных свойств изделий (например, износостойкости), что эквивалентно выпуску дополнительной продукции;

в) повышение точности измерений приводит к уменьшению количества неправильно принимаемых и неправильно бракуемых деталей.

Экономически оптимальная точность измерений технологического параметра соответствует минимуму суммы потерь из-за погрешности измерений и затрат на измерения, включая затраты на метрологическое обслуживание средств измерений.

2. Вероятностный подход заключается в выборе точности СИ по заданному допуску на контролируемый параметр изделия и заданным значениям брака контроля I и II рода (необнаруженный и ложный брак).

3. Директивный подход позволяет установить соотношение между допуском на контролируемый параметр и предельно допускаемой погрешностью измерений.

Выбор средств измерений для некоторых физических величин производится согласно действующей нормативной документации, однако для других физических величин такая нормативная документация отсутствует и в этой ситуации желательно принять внутренний локальный нормативно правовой акт и производить выбор средств измерений согласно данного документа.

3.4. Выбор средств измерений линейных размеров

Выбор средства измерений линейных размеров до 500 мм производится согласно ГОСТ 8.051 и РД 50-98-86 Методические указания Выбор универсальных средств измерения линейных размеров до 500 мм (по применению ГОСТ 8.051-81) [37, 38].

Методические указания РД 50-98-86 предусматривают выбор средств измерений линейных размеров (диаметров и длин) и величин радиального и торцового биения в диапазоне размеров до 500 мм.

Выбор средств измерений, с учетом условий измерений, по настоящим методическим указаниям обеспечивает измерение диаметров и длин с погрешностями, не превышающими значений, допускаемых ГОСТ 8.051–81.

Погрешности, допускаемые при измерении линейных размеров до 500 мм ГОСТ 8.051–81 установлены:

- а) значения допускаемых погрешностей измерений,
- б) приемочные границы с учетом допускаемых погрешностей измерений.

В ГОСТ 8.051 содержатся значения допускаемых погрешностей измерений, установленные в зависимости от номинальных размеров и допусков на изготовление. Значения погрешностей установлены для качеств IT2–IT17, для номинальных размеров до 500 мм. Величины погрешностей приняты равными от 20 (для IT 10 и грубее) до 35 % (для IT2–IT5) с округлениями, учитывающими реальные значения погрешностей измерений измерительными средствами.

Допускаемые погрешности измерений, установленные ГОСТ 8.051, охватывают не только погрешности измерительных средств, но и составляющие от других источников погрешности, оказывающих влияние на погрешность измерения (установочные меры, базирование, температурные деформации и т. д.).

Допускаемые погрешности измерений относятся к случайным и неучтенным систематическим погрешностям измерений. Случайную составляющую погрешности можно выявить практически при всех видах измерений. Однако эту часть погрешности иногда принимают за всю погрешность измерения. Вот почему в ГОСТ 8.051 было признано необходимым отдельно указать, что случайная часть погрешности измерения не должна превышать 0,6 от нормируемой допускаемой погрешности измерения.

Ограничивать неучтенную систематическую погрешность измерения не представляется возможным, поскольку для ее непосредственного определения необходимо иметь образцовые меры, что, особенно при точных измерениях, практически невозможно сделать.

Допускаемые погрешности измерений нормируются вне зависимости от способа измерения размеров диаметров и длин при приемочном контроле.

Приемочные границы, т. е. значения размеров, по которым производится приемка изделий, следует в соответствии со стандартом устанавливать с учетом влияния допускаемой погрешности измерений. В связи с этим при назначении допуска на изготовление необходимо учитывать не только эксплуатационные условия работы и возможности технологического процесса обработки в отношении точности, но и возможные погрешности измерений.

Другими словами, допуск на размер следует рассматривать как допуск на сумму погрешностей технологического процесса, которые не дают возможности получить абсолютно точное значение размера, в том числе и из-за погрешности измерений.

Влияние погрешности измерений на результаты разбраковки рассмотрено в ГОСТ 8.051–81 и в методических указаниях РД 50-98-86, где даны графики, позволяющие определить вероятное количество неправильно принимаемых и неправильно бракуемых деталей, а также выход за границу допуска размера у неправильно принятых деталей. Кроме того, приведены таблицы экстремальных значений этих параметров, зависящих только от погрешности измерений. Этих данных вполне достаточно конструктору для того, чтобы оценить, в какой мере допускаемая погрешность измерения, в случае проявления ее предельным значением, может исказить характер сопряжения и повлиять на эксплуатационные свойства детали.

Для проведения измерений с погрешностями, не превышающими допускаемые ГОСТ 8.051–81 значения, необходимо иметь сведения о значениях погрешностей измерения различными измерительными средствами в различных условиях их применения. Такие сведения о погрешностях измерения измерительными средствами, серийно выпускаемыми специализированными заводами, даны в РД 50-98-86.

При разработке материалов, содержащихся в РД 50-98-86, использованы два принципиальные положения:

- измерительным средством одного вида может выполнить измерения с различной погрешностью, в зависимости от методики и условий выполнения измерения;
- для выбора измерительных средств и условий выполнения измерений необходимо оценивать возможные пределы погрешности измерения.

При этом имеется в виду, что измерительное средство соответствует предъявляемым требованиям и используется оператором, имеющим навык в работе с ним.

Погрешности измерений в РД 50-98-86 указаны без знаков «±», т. е. указаны абсолютные значения предельных погрешностей измерения единичным измерительным средством, другими словами, даны предельные значения, на которые результаты измерения могут отличаться от истинного значения измеряемой величины.

Варианты использования измерительных средств отличаются различной погрешностью средств измерений при использовании их на различных пределах измерения. Для некоторых измерительных средств варианты использования приведены в зависимости от класса и разряда концевых мер длины, применяемых для настройки.

Для всех измерительных средств указан температурный режим измерения. Эти значения в общем случае нельзя относить ни к отклонениям, ни к колебаниям температуры окружающей среды в процессе измерения.

Принципиальное положение ГОСТ 8.051–81 в отношении выбора измерительных средств заключается в том, что при установлении приемочных границ, т. е. значений размеров, по которым производят приемку изделий, необходимо учитывать влияние погрешности измерений.

В выборе измерительных средств должны участвовать конструкторская, технологическая и метрологическая службы в пределах выполняемых ими служебных обязанностей.

Конструкторская служба участвует в выборе измерительных средств только правильным назначением допускаемых отклонений на размер детали.

В обязанности технологической службы входит обеспечение наиболее экономичных технологических процессов.

Метрологическая служба участвует в выборе конкретных измерительных средств с учетом условий измерения. Эта служба обязана установить, в какой мере условия измерения, указанные в РД 50-98-86, соответствуют реально существующим, а также учесть специфические особенности производства (применяемость измерительных средств, их наличие и т. д.).

Если упрощенно описать процедуру выбора средств измерений линейных размеров до 500 мм, то необходимо выбрать конкретное измерительное средство по РД 50-98-86 в зависимости от измеряемого размера, допуска на изготовление и, допускаемой погрешности измерения по ГОСТ 8.051–81.

Однако по РД 50-98-86 трудно выявить весь комплекс измерительных средств, которые можно использовать для измерения с допускаемой погрешностью.

При неудовлетворительных результатах выбора конструкторской, технологической и метрологической службам следует выбрать другое измерительное средство, при использовании которого в существующих условиях измерения (с учетом методической погрешности) будут удовлетворяться требования ГОСТ 8.051–81, или спроектировать новую методику выполнения измерения.

3.5. Выбор средств измерения электрических величин

Основные требования по выбору средств измерения электрических величин описаны в Правилах технической эксплуатации электроустановок потребителей [39] и Правилах устройства электроустановок [40]. Объем данной работы не позволяет описать все требования, предъявляемые к выбору средств измерения электрических величин, поэтому будут даны только основные положения для общего понимания данной процедуры.

Ниже дана выдержка из Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей.

Средства контроля, измерений и учета при эксплуатации электроустановок потребителей

Настоящие требования распространяются на системы контроля технологических параметров оборудования, средства измерений режимов его работы (стационарные и переносные), а также на средства учета электрической энергии (счетчики активной и реактивной энергии).

Объем оснащенности электроустановок системами контроля, техническими средствами измерений и учета электрической энергии должен соответствовать требованиям нормативно-технической документации и обеспечивать: контроль за техническим состоянием оборудования и режимами его работы; учет выработанной, отпущенной и потребленной электроэнергии; соблюдение безопасных условий труда и санитарных норм и правил; контроль за охраной окружающей среды.

Установка и эксплуатация средств измерений и учета электрической энергии осуществляется в соответствии с требованиями правил устройства электроустановок и инструкций заводов-изготовителей.

Для периодического осмотра и профилактического обслуживания средств измерений и учета электрической энергии, надзора за их состоянием, проверки, ремонта и испытания этих средств у Потребителя в соответствии с государственными стандартами может быть создана метрологическая служба или иная структура по обеспечению единства измерений. При наличии такой службы она должна быть оснащена поверочным и ремонтным оборудованием и образцовыми средствами измерений в соответствии с требованиями нормативно-технических документов.

Все средства измерений и учета электрической энергии, а также информационно-измерительные системы должны быть в исправном состоянии и готовыми к работе. На время ремонта средств измерений или учета при работающем технологическом энергооборудовании вместо них должны быть установлены резервные средства.

До ввода в промышленную эксплуатацию основного оборудования Потребителя информационно-измерительные системы должны быть

метрологически аттестованы, а в процессе эксплуатации они должны подвергаться периодической поверке.

Использование в качестве расчетных информационно-измерительных систем, не прошедших метрологическую аттестацию, не допускается.

Рабочие средства измерений, применяемые для контроля над технологическими параметрами, по которым не нормируется точность измерения, могут быть переведены в разряд индикаторов. Перечень таких средств измерений должен быть утвержден руководителем Потребителя.

Поверка расчетных средств учета электрической энергии и образцовых средств измерений проводится в сроки, устанавливаемые государственными стандартами, а также после ремонта указанных средств.

Сроки поверки встроенных в энергооборудование средств электрических измерений (трансформаторов тока и напряжения, шунтов, электропреобразователей и т. п.) должны соответствовать межремонтным интервалам работы оборудования, на котором они установлены. В объемы ремонтов оборудования должны быть включены демонтаж, поверка и установка этих средств измерений.

На средства измерений и учета электрической энергии составляются паспорта (или журналы), в которых делаются отметки обо всех ремонтах, калибровках и поверках.

Периодичность и объем поверки расчетных счетчиков должны соответствовать требованиям действующих нормативно-технических документов. Положительные результаты поверки счетчика удостоверяются поверительным клеймом или свидетельством о поверке. Периодичность и объем калибровки расчетных счетчиков устанавливаются местной инструкцией.

На стационарные средства измерений, по которым контролируется режим работы электрооборудования и линий электропередачи, должна быть нанесена отметка, соответствующая номинальному значению измеряемой величины. Размеры и способ нанесения отметки должны соответствовать требованиям государственных стандартов на шкалы измерительных приборов. Приборы, имеющие электропитание от внешнего источника, должны быть оснащены устройством сигнализации наличия напряжения.

На каждом средстве учета электрической энергии (счетчике) должна быть выполнена надпись, указывающая наименование присоединения, на котором производится учет электроэнергии. Допускается выполнять надпись на панели рядом со счетчиком, если при этом можно однозначно определить принадлежность надписей к каждому счетчику.

Замену и поверку расчетных счетчиков, по которым производится расчет между энергоснабжающими организациями и Потребителями, осуществляет собственник приборов учета по согласованию с энергоснабжающей организацией. При этом время безучетного потребления электроэнергии и средняя потребляемая мощность должны фиксироваться двусторонним актом.

Обо всех дефектах или случаях отказов в работе расчетных счетчиков электрической энергии Потребитель обязан немедленно поставить в известность энергоснабжающую организацию.

Персонал энергообъекта несет ответственность за сохранность расчетного счетчика, его пломб и за соответствие цепей учета электроэнергии установленным требованиям.

Нарушение пломбы на расчетном счетчике, если это не вызвано действием непреодолимой силы, лишает законной силы учет электроэнергии, осуществляемый данным расчетным счетчиком.

Поверенные расчетные счетчики должны иметь на креплении кожухов пломбы организации, производившей поверку, а на крышке колодки зажимов счетчика пломбу энергоснабжающей организации.

Учет электроэнергии

Требования к выбору средств измерений и их монтажу при учете электроэнергии определены в Правилах устройства электроустановок [40].

Настоящие Правила содержат требования к учету электроэнергии в электроустановках.

Расчетным учетом электроэнергии называется учет выработанной, а также отпущенной потребителям электроэнергии для денежного расчета за нее.

Счетчики, устанавливаемые для расчетного учета, называются расчетными счетчиками.

Техническим (контрольным) учетом электроэнергии называется учет для контроля расхода электроэнергии внутри электростанций, подстанций, предприятий, в зданиях, квартирах и т.п.

Счетчики, устанавливаемые для технического учета, называются счетчиками технического учета.

Учет активной электроэнергии должен обеспечивать определение количества энергии:

- 1) выработанной генераторами электростанций;
- 2) потребленной на собственные и хозяйственные (раздельно) нужды электростанций и подстанций;
- 3) отпущенной потребителям по линиям, отходящим от шин электростанции непосредственно к потребителям;
- 4) переданной в другие энергосистемы или полученной от них;
- 5) отпущенной потребителям из электрической сети.

Кроме того, учет активной электроэнергии должен обеспечивать возможность:

- определения поступления электроэнергии в электрические сети разных классов напряжений энергосистемы;
- составления балансов электроэнергии для хозрасчетных подразделений энергосистемы;
- контроля за соблюдением потребителями заданных им режимов потребления и баланса электроэнергии.

Учет реактивной электроэнергии должен обеспечивать возможность определения количества реактивной электроэнергии, полученной потребителем от электроснабжающей организации или переданной ей, только в том случае, если по этим данным производятся расчеты или контроль соблюдения заданного режима работы компенсирующих устройств.

Требования к расчетным счетчикам

Каждый установленный расчетный счетчик должен иметь на винтах, крепящих кожух счетчика, пломбы с клеймом госповерителя, а на зажимной крышке – пломбу энергоснабжающей организации.

На вновь устанавливаемых трехфазных счетчиках должны быть пломбы государственной поверки с давностью не более 12 мес., а на однофазных – с давностью не более 2 лет.

Учет активной и реактивной электроэнергии трехфазного тока должен производиться с помощью трехфазных счетчиков.

Допустимые классы точности расчетных счетчиков активной электроэнергии для различных объектов учета приведены ниже:

- генераторы мощностью более 50 МВт, межсистемные линии электропередачи 220 кВ и выше, трансформаторы мощностью 63 МВ х А и более 0,5 (0,7). Значение, указанное в скобках, относится к импортируемым счетчикам;
- генераторы мощностью 12–50 МВт, межсистемные линии электропередачи 110–150 кВ, трансформаторы мощностью 10–40 МВ х А – 1,0;
- прочие объекты учета – 2,0.

Класс точности счетчиков реактивной электроэнергии должен выбираться на одну ступень ниже соответствующего класса точности счетчиков активной электроэнергии.

Учет с применением измерительных трансформаторов

Класс точности трансформаторов тока и напряжения для присоединения расчетных счетчиков электроэнергии должен быть не более 0,5. Допускается использование трансформаторов напряжения класса точности 1,0 для включения расчетных счетчиков класса точности 2,0.

Для присоединения счетчиков технического учета допускается использование трансформаторов тока класса точности 1,0, а также встроенных трансформаторов тока класса точности ниже 1,0, если для получения класса точности 1,0 требуется установка дополнительных комплектов трансформаторов тока.

Трансформаторы напряжения, используемые для присоединения счетчиков технического учета, могут иметь класс точности ниже 1,0.

Технический учет

На тепловых и атомных электростанциях с агрегатами (блоками), не оборудованными информационными или управляющими вычислительными

машинами, следует устанавливать стационарные или применять инвентарные переносные счетчики технического учета в системе СН для возможности расчетов технико-экономических показателей. При этом установка счетчиков активной электроэнергии должна производиться в цепях электродвигателей, питающихся от шин распределительного устройства основного напряжения (выше 1 кВ) собственных нужд, и в цепях всех трансформаторов, питающихся от этих шин.

На предприятиях следует предусматривать техническую возможность установки (в условиях эксплуатации) стационарных или применения инвентарных переносных счетчиков для контроля за соблюдением лимитов расхода электроэнергии цехами, технологическими линиями, отдельными энергоемкими агрегатами, для определения расхода электроэнергии на единицу продукции или полуфабриката.

Допускается установка счетчиков технического учета на вводе предприятия, если расчетный учет с этим предприятием ведется по счетчикам, установленным на подстанциях или электростанциях энергосистем.

На установку и снятие счетчиков технического учета на предприятиях разрешения энергоснабжающей организации не требуется.

Приборы технического учета на предприятиях (счетчики и измерительные трансформаторы) должны находиться в ведении самих потребителей.

Классы точности счетчиков технического учета активной электроэнергии должны соответствовать значениям, приведенным ниже:

- для линий электропередачи с двусторонним питанием напряжением 220 кВ и выше, трансформаторов мощностью 63 МВ х А и более ... 1,0;
- для прочих объектов учета 2,0.

Классы точности счетчиков технического учета реактивной электроэнергии допускается выбирать на одну ступень ниже соответствующего класса точности счетчиков технического учета активной электроэнергии.

Измерения электрических величин

Требования Правил устройства электроустановок распространяются на измерения электрических величин, осуществляемых при помощи стационарных средств (показывающих, регистрирующих, фиксирующих и др.) [40].

Правила не распространяются на лабораторные измерения и на измерения, осуществляемые с помощью переносных приборов.

Измерения неэлектрических величин, а также измерения других электрических величин, не регламентированных Правилами, требуемые в связи с особенностями технологического процесса или основного оборудования, выполняются на основании соответствующих нормативных документов.

Средства измерений электрических величин должны удовлетворять следующим основным требованиям:

- 1) класс точности измерительных приборов должен быть не хуже 2,5;
- 2) классы точности измерительных шунтов, добавочных резисторов, трансформаторов и преобразователей должны быть не хуже приведенных в табл. 13;

3) пределы измерения приборов должны выбираться с учетом возможных наибольших длительных отклонений измеряемых величин от номинальных значений.

Таблица 13

Класс точности прибора	Класс точности шунта, добавочного резистора	Класс точности измерительного преобразователя	Класс точности измерительного трансформатора
1,0	0,5	0,5	0,5
1,5	0,5	0,5 допускается 1,0	0,5 допускается 1,0
2,5	0,5	1,0	1,0 допускается 3,0

Установка измерительных приборов должна, как правило, производиться в пунктах, откуда осуществляется управление.

На подстанциях и гидроэлектростанциях без постоянного дежурства оперативного персонала допускается не устанавливать стационарные показывающие приборы, при этом должны быть предусмотрены места для присоединения переносных приборов специально обученным персоналом.

Измерение тока

Измерение тока должно производиться в цепях всех напряжений, где оно необходимо для систематического контроля технологического процесса или оборудования.

Измерение постоянного тока должно производиться в цепях:

- 1) генераторов постоянного тока и силовых преобразователей;
- 2) аккумуляторных батарей, зарядных, подзарядных и разрядных устройств;
- 3) возбуждение синхронных генераторов, компенсаторов, а также электродвигателей с регулируемым возбуждением.

Амперметры постоянного тока должны иметь двусторонние шкалы, если возможно изменение направления тока.

Измерение напряжения

Измерение напряжения, как правило, должно производиться:

- 1) на секциях сборных шин постоянного и переменного тока, которые могут работать отдельно;
- 2) в цепях генераторов постоянного и переменного тока, синхронных компенсаторов, а также в отдельных случаях в цепях агрегатов специального назначения;
- 3) в цепях возбуждения синхронных машин мощностью 1 МВт и более. В цепях возбуждения гидрогенераторов измерение не обязательно;

4) в цепях силовых преобразователей, аккумуляторных батарей, зарядных и подзарядных устройств и т. д.

Измерение частоты

Измерение частоты должно производиться:

- 1) на каждой секции шин генераторного напряжения;
- 2) на каждом генераторе блочной тепловой или атомной электростанций;
- 3) на каждой системе (секции) шин высшего напряжения электростанции;
- 4) в узлах возможного деления энергосистемы на несинхронно работающие части.

Регистрация частоты или ее отклонения от заданного значения должны производиться:

- 1) на электростанциях мощностью 200 МВт и более;
- 2) на электростанциях мощностью 6 МВт и более, работающих изолированно.

Абсолютная погрешность регистрирующих частотомеров на электростанциях, участвующих в регулировании мощности, должна быть не более $\pm 0,1$ Гц.

Измерения при синхронизации

Для измерений при точной (ручной или полуавтоматической) синхронизации должны предусматриваться следующие приборы: два вольтметра (или двойной вольтметр); два частотомера (или двойной частотомер); синхроноскоп.

3.6. Выбор средств измерения тепловых энергоустановок

Метрологическое обеспечение тепловых энергоустановок должно проводиться согласно требований Правил технической эксплуатации тепловых энергоустановок [41].

Метрологическое обеспечение

Согласно требованиям Правил [41], комплекс мероприятий по метрологическому обеспечению тепловых энергоустановок, выполняемый каждой организацией, включает:

- своевременное представление в поверку средств измерений, подлежащих государственному контролю и надзору;
- проведение работ по калибровке средств измерений, не подлежащих поверке;
- обеспечение соответствия точностных характеристик применяемых средств измерений требованиям к точности измерений технологических параметров и метрологическую экспертизу проектной документации;

– обслуживание, ремонт средств измерений, метрологический контроль и надзор.

Средства измерений теплотехнических параметров содержатся в исправности и постоянно находятся в эксплуатации при работе основного и вспомогательного оборудования тепловых энергоустановок.

Выполнение работ по метрологическому обеспечению осуществляют метрологические службы организаций или подразделения, выполняющие функции этих служб.

Тепловые энергоустановки оснащаются средствами измерений в соответствии с проектной документацией и нормативно-технической документацией, действие которой распространяется на данные типы энергоустановок.

Объем оснащения тепловых энергоустановок средствами измерений должен обеспечивать контроль за техническим состоянием оборудования и режимом его работы.

Выбор средств измерений и их точностных характеристик осуществляется на стадии проектирования, на основе действующих государственных нормативных документов, устанавливающих требования к точности измерения.

Оперативное обслуживание средств измерений ведет оперативный или оперативно-ремонтный персонал подразделений, определенных решением руководства организации.

Техническое обслуживание и ремонт средств измерений осуществляет персонал подразделения, выполняющего функции метрологической службы организации.

Персонал, обслуживающий оборудование тепловых энергоустановок, на котором установлены средства измерений, несет ответственность за их сохранность. Обо всех нарушениях в работе средств измерений сообщается подразделению, выполняющему функции метрологической службы организации.

Вскрытие регистрирующих приборов, не связанное с работами по обеспечению записи регистрируемых параметров, разрешается только персоналу подразделения, выполняющего функции метрологической службы, а средства измерений, используемых для расчета с поставщиком или потребителями, – совместно с их представителями.

На все контрольно-измерительные приборы тепловых энергоустановок составляются паспорта с отметкой о периодических поверках и произведенных ремонтах.

Кроме того, ведутся журналы записи результатов поверок, калибровок и ремонтов приборов.

Для измерения теплоты, расходов, температур, давлений и разрежений применяются приборы, отвечающие пределам измерения параметров и установленному классу точности в соответствии с государственными стандартами.

Максимальное рабочее давление, измеряемое прибором, должно быть в пределах $2/3$ максимума шкалы при постоянной нагрузке, $1/2$ максимума шкалы – при переменной.

Верхний предел шкалы самопишущих манометров должен соответствовать полуторакратному рабочему давлению измеряемой среды.

Температура окружающего воздуха, влажность, вибрация, запыленность в местах установки приборов и аппаратуры должны быть в пределах значений, допускаемых стандартами, техническими условиями и паспортами заводов-изготовителей.

Записи показаний регистрирующих приборов подлежат хранению не менее 2 мес.

Требования к манометрам при эксплуатации котлов, сосудов и трубопроводов под давлением

Требования к манометрам при эксплуатации котлов, сосудов и трубопроводов под давлением прописаны в Правилах промышленной безопасности опасных производственных объектов, на которых используется оборудование, работающее под избыточным давлением [42].

Требования к манометрам при эксплуатации котлов

Шкалу манометра выбирают исходя из условия, что при рабочем давлении стрелка манометра должна находиться во второй трети шкалы (рис. 84).

На шкале манометра должна быть нанесена красная черта на уровне деления, соответствующего рабочему давлению для данного элемента с учетом добавочного давления от веса столба жидкости.

Взамен красной черты допускается прикреплять к корпусу манометра пластинку из металла (или иного материала соответствующей прочности), окрашенную в красный цвет и плотно прилегающую к стеклу манометра.

Вторая треть шкалы



Рис. 84. Указание рабочего давления на манометре

Манометр должен быть установлен так, чтобы его показания были отчетливо видны обслуживающему персоналу, при этом шкала его должна быть расположена вертикально или с наклоном вперед до 30° для улучшения видимости показаний.

Номинальный диаметр манометров, устанавливаемых на высоте до 2 м от уровня площадки наблюдения за манометром, должен быть не менее 100 мм; устанавливаемых на высоте от 2 до 5 м – не менее 160 мм; устанавливаемых на высоте более 5 м – не менее 250 мм. При установке манометра на высоте более 5 м должен быть установлен сниженный манометр в качестве дублирующего.

Перед каждым манометром должны быть установлены трехходовой кран или другое аналогичное устройство для продувки, проверки и отключения манометра; перед манометром, предназначенным для измерения давления пара, кроме того, должна быть сифонная трубка условным проходом диаметром не менее 10 мм.

На котлах с давлением 4 МПа и выше должны быть установлены вентили, позволяющие отключать манометр от котла, обеспечивать сообщение его с атмосферой и производить продувку сифонной трубки.

Проверка исправности действия манометров, предохранительных клапанов, указателей уровня воды и питательных насосов должна проводиться в следующие сроки:

а) для котлов с рабочим давлением до 1,4 МПа включительно – не реже одного раза в смену;

б) для котлов с рабочим давлением свыше 1,4 до 4,0 МПа включительно – не реже одного раза в сутки (кроме котлов, установленных на тепловых электростанциях);

в) для котлов, установленных на тепловых электростанциях, по инструкции в соответствии с графиком, утвержденным техническим руководителем (главным инженером) электростанции.

О результатах проверки делается запись в сменном журнале.

Проверку исправности манометра производят с помощью трехходового крана или заменяющих его запорных вентилей путем установки стрелки манометра на нуль.

Не реже одного раза в 12 мес. (если иные сроки не установлены документацией на конкретный тип манометра) манометры должны быть поверены в установленном порядке.

Манометры не допускаются к применению в следующих случаях:

а) если на манометре отсутствует пломба или клеймо с отметкой о проведении поверки;

б) если истек срок поверки манометра;

в) если стрелка манометра при его отключении не возвращается к нулевой отметке шкалы на величину, превышающую половину допускаемой погрешности для данного манометра;

г) если разбито стекло или имеются другие повреждения манометра, которые могут отразиться на правильности его показаний.

Требования к манометрам при эксплуатации сосудов под давлением

При эксплуатации сосуда с рабочим давлением до 2,5 МПа необходимо применение манометров прямого действия, имеющих класс точности не ниже 2,5, а при рабочем давлении выше 2,5 МПа класс точности применяемых манометров должен быть не ниже 1,5.

Номинальный диаметр корпуса манометров, устанавливаемых на высоте до 2 м от уровня площадки наблюдения за ними, должен быть не менее 100 мм, на высоте от 2 до 3 м – не менее 160 мм. Установка манометров на высоте более 3 м от уровня площадки не разрешается.

Для периодической проверки рабочего манометра необходима установка между манометром и сосудом трехходового крана или заменяющего его устройства.

Вместо трехходового крана на сосудах, работающих под давлением выше 2,5 МПа или при температуре среды выше 250 °С, а также со средой, относимой к группе 1 (в соответствии с ТР ТС 032/2013), допускается установка отдельного штуцера с запорным органом для подсоединения второго манометра [43].

Проверка манометров с их опломбированием или клеймением должна быть произведена не реже одного раза в 12 мес., если иные сроки не установлены в документации на манометр. Обслуживающий персонал должен производить проверку исправности манометра с помощью трехходового крана или заменяющих его запорных вентилей путем установки стрелки манометра на нуль.

Порядок и сроки проверки исправности манометров обслуживающим персоналом в процессе эксплуатации сосудов должны быть определены производственной инструкцией по режиму работы и безопасному обслуживанию сосудов, утвержденной руководством эксплуатирующей организации.

Требования к манометрам при эксплуатации трубопроводов

При эксплуатации трубопроводов с рабочим давлением до 2,5 МПа необходимо применять манометры с классом точности не ниже 2,5.

При эксплуатации трубопроводов с рабочим давлением более 2,5 до 14 МПа необходимо применять манометры с классом точности не ниже 1,5.

При эксплуатации трубопроводов с рабочим давлением более 14 МПа необходимо применять манометры классом точности не ниже 1.

Номинальный диаметр манометров, устанавливаемых на высоте до 2 м от уровня площадки наблюдения за манометрами, должен быть не менее 100 мм, на высоте от 2 до 3 м – не менее 150 мм и на высоте от 3 до 5 м – не менее 250 мм. При расположении манометра на высоте более 5 м должен быть установлен сниженный манометр в качестве дублирующего.

Контрольные вопросы

1. Каковы основные принципы выбора средств измерений?
2. Какова процедура выбора средств измерений линейных размеров?
3. Каковы принципы выбора средств измерений электрических величин?
4. Каковы принципы выбора средств измерения тепловых энергоустановок?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. РМГ 29-2013. Метрология. Основные термины и определения.
2. ГОСТ Р ИСО 5725-1-2002 Точность (Правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Ч. 1. Основные положения и определения.
3. ГОСТ Р ИСО МЭК 17025-2009 Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий.
4. ИСО 3534-1 Статистические методы. Словарь и условные обозначения. Ч. 1. Общие статистические термины и термины, используемые в теории вероятностей.
5. ГОСТ 8.061 Поверочные схемы. Содержание и построение.
6. ГОСТ 8.057-80 ГСИ. Эталоны единиц физических величин. Основные положения.
7. ГОСТ 427-75 Линейки измерительные металлические. Технические условия.
8. ГОСТ 7502-89 Рулетки измерительные металлические. Технические условия.
9. ГОСТ 166-89 Штангенциркули. Технические условия.
10. ГОСТ Р 8.736-2011 Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения.
11. ГОСТ 6507-90 Микрометры. Технические условия.
12. ГОСТ 868-82 Нутромеры индикаторные с ценой деления 0,01 мм.
13. ГОСТ 11098-75 Скобы с отсчетным устройством. Технические условия.
14. ГОСТ 8.050-73 Нормальные условия выполнения линейных и угловых измерений.
15. ГОСТ 2939-63 Газы. Условия для определения объема.
16. ГОСТ 9392-89 Уровни рамные и брусковые. Технические условия.
17. Кремлевский П. П. Расходомеры и счетчики количества веществ: справочник: в 2 кн. / под общ. ред. Е. А. Шорникова. – 5-е изд., перераб. и доп. – Санкт-Петербург.: Политехника, 2004. – Кн. 2. – 412 с
18. ГОСТ 9012-59 Металлы. Метод измерения твердости по Бринеллю.
19. ГОСТ 9013-59 Металлы. Метод измерения твердости по Роквеллу.
20. ГОСТ 22975-78 Металлы и сплавы. Метод измерения твердости по Роквеллу при малых нагрузках (по Супер-Роквеллу). Ч. 3 Классификация, основные параметры и размеры.
21. ГОСТ 2999-75 Металлы и сплавы. Метод измерения твердости по Виккерсу.
22. ГОСТ 9450-75 Измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников.

23. ГОСТ 18661-73 Сталь. Измерение твердости методом ударного отпечатка.
24. ГОСТ 23273-78 Металлы и сплавы. Измерение твердости методом упругого отскока бойка (по Шору).
25. ГОСТ 15528-86 Средства измерений расхода, объема или массы протекающих жидкости и газа. Термины и определения.
26. ГОСТ 8.271-77 Средства измерения давления. Термины и определения.
27. ГОСТ 8.157-75 Шкалы температурные практические.
28. Якушев, А. И. Взаимозаменяемость, стандартизация и технические измерения / А. И. Якушев, Л. Н. Воронцов, Н. М. Федотов. – Москва: Машиностроение, 1986. – 352 с.
29. Технический регламент Таможенного Союза ТР ТС 012/2011 О безопасности оборудования для работы во взрывоопасных средах.
30. ГОСТ 8.050-73 Нормальные условия выполнения линейных и угловых измерений.
31. JCGM 200:2008 International vocabulary of metrology - Basic and general concepts and associated terms.
32. ПР 50.2.012-94 «ГСИ. Порядок аттестации поверителей средств измерений».
33. ПР 50.2.007-2001 «ГСИ. Поверительные клейма».
34. Приказ Министерства промышленности и торговли РФ от 31 июля 2020 г. N 2510 "Об утверждении порядка проведения поверки средств измерений, требований к знаку поверки и содержанию свидетельства о поверке".
35. Федерального закона от 26 июня 2008 г. N 102-ФЗ "Об обеспечении единства измерений.
36. Яблонский, О. П. Основы стандартизации, метрологии, сертификации: учебник / О.П. Яблонский, В. А. Иванова. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2004. – 448 с.
37. ГОСТ 8.051-81 Погрешности при измерении линейных размеров.
38. Методические указания РД 50-98-86 Выбор универсальных средств измерения линейных размеров до 500мм (по применению ГОСТ 8.051-81)
39. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей / отв. ред. В. А. Обручев. – Москва: Эксмо, 2007. – (Законодательство Российской Федерации).
40. Правила устройства электроустановок / Федеральная служба по экологическому, технол. и атомному контролю. – 7-е и 6-е изд. – Санкт-Петербург: ДЕАН, 2012. – (Нормативно-технические документы).
41. Приказ Минэнерго России от 24.03.2003 N 115 "Об утверждении Правил технической эксплуатации тепловых энергоустановок" (Зарегистрировано в Минюсте России 02.04.2003 N 4358).

42. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила промышленной безопасности опасных производственных объектов, на которых используется оборудование, работающее под избыточным давлением», утверждены приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 15.12.2020 N 536.

43. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 032/2013 О безопасности оборудования.

44. ГОСТ 8.009-84 Нормируемые метрологические характеристики средств измерений.

45. ГОСТ 8711-93 Приборы аналоговые показывающие электроизмерительные прямого действия и вспомогательные части к ним. Ч. 2 Особые требования к амперметрам и вольтметрам.

46. ГОСТ 9038-90 Меры длины концевые плоскопараллельные.

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Основные понятия и определения в области технических измерений	3
1.1 Общие сведения	3
1.2. Области и виды измерений	7
1.3. Шкалы измерений	8
1.4. Классификация измерений	11
2. Технические измерения	18
2.1. Средства измерений, их классификация	18
2.2. Описание средств измерений	25
2.2.1. Средства измерения геометрических величин	25
2.2.2. Измерение механических величин	39
2.2.3. Измерение параметров потока, расхода, уровня, объема вещества и др.	44
2.2.4. Измерение давления	78
2.2.5. Физико-химические измерения: контроль состава веществ, материалов, изделий и др.	92
2.2.6. Теплофизические и температурные измерения.	100
2.2.7. Измерение времени и частоты.	113
2.2.8. Измерение электрических и магнитных величин.	115
2.2.9. Измерения акустических величин в различных средах (воздушной, твердой, жидкой)	117
2.2.10. Оптические и оптико-физические измерения	117
3. Выбор средств измерений и работа с ними	119
3.1. Классы точности средств измерений	119
3.2. Поверка и калибровка средств измерений	128
3.3. Основные принципы выбора средств измерений	135
3.4. Выбор средств измерений линейных размеров	136
3.5. Выбор средств измерения электрических величин	139
3.6. Выбор средств измерения тепловых энергоустановок	145
Список литературы	151

Учебное издание

Сергей Борисович Перетятко

ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Редактор Е. Билко

Подписано в печать 10.12.2022 г. Формат 60х90 1/16. Уч.-изд. л. 12,4.
Печ. л. 9,7. Тираж 40 экз. Заказ 94

Издательство федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Калининградский государственный технический университет»
236022, Калининград, Советский проспект, 1