

Проект «Инженерные кадры Зауралья»

*МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ*  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Курганский государственный университет»

Кафедра автоматизации производственных процессов

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННО- ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ**

Методические указания  
к выполнению курсовой работы  
по дисциплине «Технические измерения и приборы»  
для студентов очной и заочной форм обучения  
направления 220700.62 «Автоматизация технологических процессов и  
производств»

Курган 2015

Кафедра: «Автоматизация производственных процессов»

Дисциплина: «Технические измерения и приборы»  
(направление 220700.62).

Составили: д-р техн. наук, доцент В.П. Кузнецов, канд. техн. наук, доцент  
О.В. Дмитриева.

Утверждены на заседании кафедры 27 ноября 2014 г.

Рекомендованы методическим советом университета в рамках проекта  
«Инженерные кадры Зауралья» 20 декабря 2013 г.

## Содержание

Введение .....	4
1. Краткие сведения о методах измерения технологических параметров.....	4
1.1. Измерение температуры .....	4
1.2. Измерение давления .....	10
1.3. Измерение расхода и количества вещества.....	12
1.4. Измерение уровня .....	15
2. Порядок выполнения курсовой работы.....	18
3. Оформление курсовой работы.....	21
Список литературы.....	23

## Введение

Правильное и эффективное управление технологическим процессом невозможно без контроля за технологическими параметрами, характеризующими процесс. Контроль связан с измерением технологических параметров специальными техническими средствами. Совокупность технических средств, служащих для выполнения измерений, методов и приемов проведения измерений и интерпретации их результатов, определяется понятием *измерительная техника*.

В промышленности измерительная техника используется для получения информации о параметрах, определяющих ход технологического процесса, и является его частью. Измерения параметров технологических процессов получили название *технологические измерения*.

Набор измеряемых параметров, включаемых в технологические измерения, весьма различен для разных отраслей промышленности и во многом зависит от специфики технологических процессов. Измерения давления, температуры, расхода и уровня принято называть *теплотехническими измерениями*; измерения состава и физико-химических свойств вещества – *физико-химическими измерениями*, а измерения электрических величин – *электрическими измерениями*.

Краткие сведения об измерениях некоторых технологических параметров приведены ниже.

### 1. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О МЕТОДАХ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

#### 1.1. ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ

*Температурой* называется величина, определяющая тепловое состояние вещества или объекта. Измерение температуры непосредственным сравнением с единицей измерения как измеряют другие физические величины, невозможно, поскольку для измерения температуры не существует образца. Вследствие вышеизложенного, для измерения температуры используют изменение различных физических свойств тел, которые зависят от его температуры и при этом поддаются прямым измерениям. При измерении температуры тело, для которого хорошо известна зависимость его физических свойств от температуры, приводится в соприкосновение с веществом, температуру которого необходимо измерить. В результате теплопередачи через некоторое время наступает тепловое равновесие, и тела приобретают одинаковую температуры. По изменению физических свойств определяют температуру вещества.

К числу свойств, которые используются в приборах для измерения температуры, относятся: объемное расширение тел, изменение давления в замкнутом объеме, возникновение термоэлектродвижущей силы, изменение электрического сопротивления проводников и полупроводников,

интенсивность излучения нагретых тел и другие. Классификация средств измерения температуры, которые нашли широкое применение в промышленности, в зависимости от использования термометрического свойства и диапазона измерения, представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Средства измерения температуры

Термометрическое свойство	Наименование средства	Диапазон измерений, °С
Изменение давления рабочего вещества при постоянном объеме	Манометрические термометры:	
	газовые	-150...600
	жидкостные	-150...600
Изменение электрического сопротивления	конденсационные	-50...350
	Металлические термопреобразователи сопротивления	-200...1100
Термоэлектрический эффект (термо-ЭДС)	Полупроводниковые термопреобразователи сопротивления	-240...300
	Термоэлектрические преобразователи	-200...2200
Тепловое излучение	Пирометры излучения:	
	оптические	700...6000
	спектрального отношения	1400...2800
	радиационные	50...3500

**Манометрические термометры** используются для непрерывного дистанционного измерения температуры газов, жидкостей и паров. Принцип их действия основан на изменении давления рабочего вещества в замкнутом объеме термометра при изменении температуры.

Манометрические термометры имеют простую конструкцию и позволяют осуществлять автоматическую регистрацию измерений и передачу показаний на расстояние. В настоящее время промышленностью выпускаются манометрические термометры с унифицированными пневматическим и электрическим выходными сигналами классов точности 1; 1,5; 2,5. Важное качество этих термометров – возможность использования их на взрывоопасных объектах.

К недостаткам рассматриваемых приборов относят необходимость частой поверки (не реже 1 раза в полгода) из-за возможной разгерметизации прибора и сложность ремонта. В интервале от –30 до 300 °С манометрические термометры поверяют образцовыми ртутными термометрами; в интервале от –60 до –30 °С – образцовыми медь-константановыми термометрами и в интервале от 300 до 500 °С – платиновыми термометрами сопротивления. При поверке показаний манометрических термометров их вместе с образцовыми термометрами

устанавливают в термостат, а затем сравнивают их показания, определяя приведенную погрешность.

Передаточная функция манометрических термометров может быть представлена в виде

$$W = \frac{K}{Tp + 1} e^{\tau p}, \quad (1)$$

где  $T$  – постоянная времени;  $\tau$  – время запаздывания;  $K$  – коэффициент передачи.

Значения постоянной времени  $T$  и времени запаздывания  $\tau$  приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры манометрических термометров

Условия определения характеристик	$T$ , с	$\tau$ , с
Нагрев от 30 до 100 °С в баке с водой	1	8
Нагрев от 40 до 60 °С в потоке воздуха (скорость 8 м/с)	2	12

Принцип действия **термометров сопротивления** основан на свойстве проводников и полупроводников менять свое электрическое сопротивление при изменении температуры. В отличие от манометрических термометров термометр сопротивления является первичным измерительным преобразователем, который работает только в комплекте с вторичными электроизмерительными приборами, измеряющими сопротивление термометра и показывающими соответствующую этому сопротивлению температуру.

Промышленностью выпускаются стандартные термометры сопротивления из медной (ТСМ) и платиновой проволоки (ТСП). Платиновые преобразователи сопротивления используются для измерения температуры от –260 до +1100 °С. Медные термопреобразователи сопротивления предназначены для измерения температуры в диапазоне от –50 до +200 °С.

Динамическая характеристика термопреобразователей может быть представлена передаточной функцией вида

$$W = \frac{K}{Tp + 1} e^{\tau p}. \quad (2)$$

Значения постоянной времени  $T$  и время запаздывания  $\tau$  зависят от размеров защитного чехла и его материала, теплоемкости элементов, находящихся в чехле, а также от условий теплообмена. Так, при скачкообразном нагреве от 30 до 100 °С в баке с водой для термопреобразователя со стальным чехлом  $\tau = 8$  с и  $T = 120$  с, а для латунного чехла  $\tau = 3$  с и  $T = 33$  с.

В практике технологических измерений температуры с использованием термопреобразователей сопротивления широкое применение нашли мосты

(уравновешенные и неуравновешенные), логометры и нормирующие преобразователи.

Для измерений температуры повышенной точности и метрологической аттестации термопреобразователей сопротивления, проводимых обычно в лабораторных условиях, получили применение потенциометры постоянного тока. Уравновешенные мосты (неавтоматические и автоматические) позволяют реализовать нулевой метод измерения. С помощью неавтоматических мостов измеряют сопротивления от 0,5 до  $10^7$  Ом, в частности производят градуировку термопреобразователей сопротивления и измеряют температуру.

Выпускаемые автоматические мосты отличаются друг от друга конструкцией, размерами, точностью измерения и другими техническими характеристиками, однако измерительные схемы отличаются незначительно. Классы точности автоматических мостов равны 0,25; 0,5; 1, а время пробега стрелки всей шкалы 1; 2,5; и 10 с.

Неуравновешенные мосты не требуют уравновешивания тока, проходящего в его измерительной диагонали, и они относительно редко используются для измерения температуры.

Для измерительной использования информации с термопреобразователя сопротивления в системе автоматического регулирования используются нормирующие токовые преобразователи, формирующие на своем выходе сигнал постоянного тока 0...5 мА. Точковый сигнал нормирующего преобразователя пропорционален сопротивлению термопреобразователя сопротивления. Классы точности 0,6...1,5.

**Термоэлектрический метод** измерения температуры основан на возникновении электродвижущей силы в цепи, состоящей из двух разнородных проводников, при неравенстве температур в местах соединения концов проводников.

Динамические характеристики термоэлектрических преобразователей в общем виде описывается передаточной функцией

$$W = \frac{K}{T\tau + 1} e^{-p\tau} \quad (3)$$

Значения постоянной времени  $T$  и транспортного запаздывания  $\tau$  зависят от конструктивных размеров и используемых материалов защитного чехла. Для выпускаемых термоэлектрических термометров эти величины находятся в пределах  $T = 1,5$  мин и  $\tau = 9 - 30$  с.

В качестве средств измерений, работающих в комплекте с термоэлектрическим преобразователем, используются милливольтметры магнитоэлектрической системы, потенциометры и нормирующие преобразователи.

В промышленности в основном применяются пять стандартных градуировок **термоэлектрических преобразователей**, характеристики которых приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Характеристики термоэлектрических преобразователей

Термоэлектрический преобразователь	Диапазон измеряемых температур при длительном измерении, °С	Предельная температура при кратковременном применении, °С	Допустимые отклонения, °С
Хромель-копель	-50...600	800	(2,2-5,8)
Хромель-алюмель	-50...1000	1300	(4,0-9,7)
Платинородий-платина	0...1300	1600	(1,2-3,6)
Платинородий-платинородий	300...1600	1800	(3,2-5,2)
Вольфрамрений-вольфрамрений	0...2200	2500	(5,4-9,7)

Милливольтметры, предназначенные для работы в комплекте с термоэлектрическими преобразователями, по конструктивному исполнению бывают переносными и стационарными (щитовыми). Стационарные милливольтметры имеют только градусную шкалу. Промышленностью выпускаются показывающие, самопишущие и регулирующие милливольтметры классов точности 0,5; 1,0; 1,5; 2,0.

Переносные милливольтметры имеют две шкалы (градусную и милливольтовую) или только одну милливольтовую. Эти приборы выполняют как показывающие и имеют классы точности 0,2; 0,5; 1,0.

Принцип действия потенциометров основан на уравновешивания (компенсации) измеряемой ЭДС известным падением напряжения, создаваемым током от дополнительного источника тока. Потенциометры с ручным уравновешиванием имеют высокий класс точности, вплоть до 0.0005. Автоматические потенциометры в зависимости от модификаций выпускаются классов точности 0,25; 0,5; 1,0.

Для использования измерительной информации от термоэлектрических преобразователей в системах автоматического регулирования широко применяются нормирующие измерительные токовые преобразователи. Они предназначены для преобразования естественного выходного сигнала термопреобразователя в унифицированный сигнал постоянного тока 0...5 мА.

Температуру нагретого тела (вещества) можно определить по энергии, излучаемой телом. Тепловое излучение представляет собой процесс распространения внутренней энергии излучаемого тела электромагнитными волнами. Приборы, определяющие температуру тела по его излучению, называются *пирометрами*. Этими приборами можно измерять температуру тела без непосредственного контакта измерительного прибора с телом, температура которого измеряется.

Бесконтактные методы измерения температуры основаны на законе увеличения интенсивности излучения при возрастании температуры тела. При

увеличении температуры нагретого тела изменяется его цвет и возрастает его монохроматическое излучение (излучение определенной длины волны), а также его полное световое и тепловое излучение.

Радиационный метод измерения температуры основан на зависимости интенсивности полного (интегрального) излучения нагретого тела от его температуры. При измерении температуры радиационным методом испускаемые нагретым телом лучи собираются линзой и направляются на чувствительный элемент пирометра. Чувствительным элементом пирометра является миниатюрная термобатарея, состоящая из нескольких последовательно соединенных термопар. В термобатарее энергия, излучаемая поверхностью нагретого тела, преобразуется в электродвижущую силу, по которой судят о температуре.

Классы точности радиационных пирометров 1,0 и 1,5. Постоянная времени этих приборов составляет 0,3...1,5 с. При установки телескопа между ним и объектом не должно быть паров влаги, дыма, пыли и т.д., так как последние поглощают лучистую энергию.

В качестве вторичных приборов, работающих с телескопом, могут применяться милливольтметры, автоматические потенциометры и мосты, если в качестве тепловоспринимающего элемента в телескоп встроен термометр сопротивления. В промышленности используются пирометры с телескопами ТЕРА и ПИРС.

Принцип работы пирометров спектрального отношения основан на сравнении интенсивности излучения контролируемого тела в лучах двух заранее выбранных волн. Отношение интенсивностей излучения характеризует температуру тела. Достоинством таких пирометров является независимость их показаний от наличия между излучателем и пирометром частиц, поглощающих излучение. Класс точности пирометра 1,0.

Оптический метод измерения температуры основан на зависимости интенсивности монохроматического (одноцветного) излучения от температуры поверхности тела. Если два тела имеют в одном направлении одинаковую яркость, то, согласно закону монохроматического излучения, они имеют и одинаковую температуру. При измерении температуры этим методом сравнивают яркость (интенсивность излучения) исследуемого тела с яркостью нити лампочки накаливания, расположенной между глазом наблюдателя и телом, температура которого измеряется. Используемый при этом красный светофильтр пропускает излучение только определенной длины волны и срезает коротковолновую часть спектра, обеспечивая восприятие глазом оператора практически монохроматического излучения. Существующие в настоящее время оптические пирометры ОППИР имеют различные модификации с различными пределами измерений. Класс точности оптических пирометров 1,5...4,0.

## 1.2. ИЗМЕРЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ

Давление характеризуется силой, равномерно распределенной по поверхности. В системе СИ за единицу давления принят паскаль (Па). Паскаль – давление силы в 1 ньютон на площадь в 1 квадратный метр.

В технических измерениях допускается единица давления килограмм-сила на квадратный метр ( $\text{кгс}/\text{м}^2$ ) и внесистемные единицы: килограмм-сила на квадратный сантиметр ( $\text{кгс}/\text{см}^2$ ), которую называют технической атмосферой (ат), миллиметр водного столба (мм вод. ст.), миллиметр ртутного столба (мм рт. ст.).

Средства измерения давления классифицируют по виду измеряемого давления и принципу действия. По принципу действия средства измерений давления подразделяются на: жидкостные, поршневые, деформационные, ионизационные, тепловые, электрические. В настоящее время существует большой парк средств измерений давления, позволяющий осуществить измерение давления в диапазоне  $10^{-12} - 10^{11}$  Па.

Принцип действия **деформационных средств** измерения давления основан на использовании упругой деформации чувствительного элемента (ЧЭ) или развиваемой им силы. Мерой измеряемого давления является деформация ЧЭ или развиваемая им сила. Различают три основных формы ЧЭ, получивших распространение в практике измерений: трубчатые пружины, сильфоны и мембраны.

Измерительные приборы с одновитковой трубчатой пружиной предназначены для измерения избыточного давления и разрежения неагрессивных жидких и газообразных сред. Диапазоны измерений манометров от 0,1 до  $10^3$  МПа. Классы точности приборов: 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0.

Измерительные приборы с сильфонным чувствительным элементом предназначены для измерения избыточного давления, разрежения и разности давлений. Верхний предел измерений сильфонных приборов ограничен давлениями 0,025 – 0,4 МПа. Классы точности сильфонных манометров: 1,5; 2,5.

Измерительные приборы с мембранным чувствительным элементом предназначены для измерения атмосферного и избыточного давлений и разрежения. Максимальный диапазон измерений мембранных манометров 0 – 2,5 МПа. Классы точности приборов 1,5 и 2,5.

Используемые в промышленности **измерительные преобразователи давления** различаются как видов упругого элемента, так и способом преобразования его перемещения или развиваемого им усилия в сигнал измерительной информации. Для преобразования перемещения или деформации чувствительного элемента в сигнал измерительной информации широко применяются индуктивные, дифференциально-трансформаторные, емкостные, тензорезисторные и другие преобразовательные элементы. Преобразование усилия, развиваемого чувствительным элементом, в сигнал измерительной информации осуществляется пьезоэлектрическими элементами.

Индуктивные измерительные преобразователи давления применяются при давлениях до 30 МПа, основная погрешность (0,2 – 5) %, постоянная времени  $92,2 - 3)10^{-4}$  с.

Измерительные преобразователи давления дифференциально-трансформаторного (ДТ) типа имеют унифицированный сигнал в виде напряжения переменного тока в диапазоне  $-1 - 0 - 1$  В. Преобразователи давления ДТ-типа работают в комплекте с ДТ вторичными приборами. Классы точности 1,0 и 1,5.

Емкостные измерительные преобразователи давления применяют для измерения давления до 120 МПа. Преобразователи давления данного типа используются для преобразования быстро изменяющихся давлений. Постоянная времени преобразователя  $10^{-4}$  с, основная погрешность (0,2 – 5) %.

Тензорезисторные измерительные преобразователи давления представляют собой деформационный чувствительный элемент, чаще всего мембрану, на которую наклеиваются или напыляются тензорезисторы. В основе принципа работы тензорезисторов лежит явление тензоэффекта, суть которого состоит в изменении сопротивления проводников и полупроводников при их деформации. Классы точности тензорезисторных измерительных преобразователей избыточного давления, разряжения и разности давлений 0,6; 1,0; 1,5. Время установления выходного сигнала при скачкообразном изменении измеряемого параметра 0,5 и 2,5 с. Диапазоны измерений: избыточного давления –  $0 - 10^{-3}$  до  $0 - 60$  МПа; разряжения – от  $-1 - 0$  до  $-10 - 0$  кПа; абсолютного давления от  $0 - 2,5$  кПа до  $0 - 2,5$  МПа; разности давлений – от  $0 - 1$  кПа до  $0 - 2,5$  МПа. Тензорезисторный преобразователь избыточного давления от  $0 - 2,5$  кПа до  $0 - 100$  МПа имеет унифицированные токовые сигналы  $0 - 5$ ,  $0 - 20$ ,  $4 - 20$  мА. Классы точности преобразователи 0,25; 0,5; 1,0.

В основу работы пьезоэлектрических измерительных преобразователей положено преобразование измеряемого давления в усилие посредством деформационного чувствительного элемента и последующего преобразования этого усилия в сигнал измерительной информации пьезоэлектрическим преобразовательным элементом. Верхние пределы измерений пьезоэлектрических преобразователей давления с кварцевыми чувствительными элементами 2,5 – 100 МПа. Классы точности 1,5; 2,0. Из-за утечки заряда с кварцевых пластин преобразователи давлений этого типа не используются для измерения статических давлений.

Деформационные измерительные преобразователи давления, основанные на методе уравнивающего преобразования, имеют унифицированные пневматические и электрические выходные сигналы. Отличительной особенностью этих преобразователей является блочный принцип построения с использованием унифицированных преобразователей «сила – давление» или «сила – ток». Классы точности пневматических измерительных преобразователей давления: 0,5; 1,0; 1,5; разности давлений: 0,6; 1,0; 1,5; 2,5; разряжения: 1,0; 1,5. Классы точности измерительных преобразователей

давления, разности давлений, разряжения с унифицированным токовым сигналом: 0,5; 1,0; 1,5.

### 1.3. ИЗМЕРЕНИЕ РАСХОДА И КОЛИЧЕСТВА ВЕЩЕСТВА

Для контроля за ходом технологического процесса, для автоматического регулирования процесса и управления им необходимо измерять расход топлива, воздуха, воды, расход исходных материалов и получаемой продукции. Под расходом подразумевают количество материалов, проходящее в единицу времени по каналу, трубопроводу и т.п.

Различают объемный и массовый расход. Под объемным расходом  $Q_o$  понимают количество вещества, проходящее в единицу времени через поперечное сечение трубопровода (канала и т.п.) и измеряемое в  $\text{м}^3/\text{ч}$ ,  $\text{м}^3/\text{мин}$ , л/мин, л/с. Под массовым расходом  $Q_m$  понимают количество вещества, проходящее в единицу времени через поперечное сечение трубопровода и измеряемое в т/ч, кг/с и т.п.

Приборы для измерения расхода называются расходомерами. В зависимости от метода, принятого для измерения расхода газов, жидкости и пара, различают следующие виды расходомеров:

- расходомеры переменного перепада давления;
- расходомеры постоянного перепада давления;
- расходомеры скоростного напора;
- расходомеры переменного уровня;
- электромагнитные (индукционные) расходомеры;
- ультразвуковые расходомеры.

Для измерения количества вещества, проходящего через поперечное сечение трубопровода или канала за какой-то промежуток времени (сутки, смену, год), применяют счетчики или интегрирующие устройства, встраиваемые в расходомеры. Интегрирующие устройства суммируют мгновенные расходы, измеряя суммарный расход, т.е. количество вещества в кубических метрах, литрах, килограммах.

Принцип *переменного перепада давления* на сужающем устройстве является наиболее распространенным для измерения расхода жидкостей, газов и паров. Это связано со следующими преимуществами:

- простота и надежность;
- легкость серийного изготовления средств измерений практически на любые давления и температуры окружающей среды;
- низкая стоимость;
- возможность измерения практически любых расходов.

В соответствии с принципом переменного перепада давления в трубопровод устанавливают сужающее устройство. При протекании измеряемого потока через отверстие сужающего устройства создается перепад давления до и после сужающего устройства, зависящий от расхода потока.

Таким образом, измерив перепад давления дифманометром и зная зависимость между перепадом и расходом, можно определить расход вещества.

В качестве сужающих устройств применяются диафрагмы, стандартные сопла и трубы Вентури. Рекомендации по выбору, расчет и правила применения сужающих устройств приведены в следующих нормативных документах:

- РД 50-213-80. Правила измерения расхода газов и жидкостей стандартными сужающими устройствами;
- РД-50-411-83. Методические указания. Расход жидкостей и газов. Методика выполнения измерений с помощью специальных сужающих устройств.

**Расходомеры постоянного перепада давления**, называемые также расходомерами обтекания или ротаметрами, предназначены для измерения малых расходов жидкости и газа в трубопроводах диаметром не более 70-100 мм. В этих расходомерах обтекаемое тело ( поплавков, поршень, клапан, шарик и др.) воспринимает со стороны набегающего потока силовое воздействие, которое при возрастании расхода увеличивается и перемещает обтекаемое тело, в результате чего перемещающая сила уменьшается и вновь уравнивается противодействующей силой. в качестве противодействующей силы служит вес обтекаемого тела при движении потока вертикально снизу вверх или сила противодействующей пружины в случае произвольного направления потока. Выходным сигналом рассматриваемых преобразователей расхода служит перемещение обтекаемого тела.

Расходомеры обтекания имеют несколько разновидностей.

В ротаметрах со стеклянной конической трубкой, предназначенных для измерения газов или прозрачных жидкостей, шкала нанесена непосредственно на внешней стороне стекла.

Для измерения расхода газов жидкостей на технологических потоках применяются ротаметры, снабженные передающими преобразовательными элементами с электрическим или пневматическим выходными сигналом. Класс точности ротаметров с электрическим выходным сигналом в комплекте со вторичным прибором равен 2,5. Ротаметры с выходным пневматическим сигналом 0,02 – 0,1 МПа выпускаются классов точности 1,5 и 2,5.

Правильные показания от ротаметра можно получить только в том случае, если он установлен строго вертикально. в процессе работы ротаметров на внутренних поверхностях, по которым протекает измеряемая жидкость, могут осесть твердые частицы, что вызывает дополнительную погрешность измерений. Поэтому ротаметр необходимо периодически чистить, промывать и продувать.

Принцип действия **электромагнитных расходомеров** основан на законе электромагнитной индукции, согласно которому в проводнике, пересекающем магнитные силовые линии, индуцируется ЭДС, пропорциональная скорости движения проводника. Если использовать в качестве проводника поток электропроводящей жидкости, текущей между полюсами магнита и измерить

наведенную в жидкости ЭДС, то можно определить скорость потока или объемный расход жидкости.

Электромагнитные расходомеры обладают рядом преимуществ. Прежде всего при измерении объемного расхода жидкости нет необходимости в измерении плотности потока. Кроме того, на показания расходомеров не влияют взвешенные в жидкости частицы и пузырьки газа, а также параметры измеряемого потока жидкости (давление, температура, вязкость, плотность и т.п.), если они не изменяют ее электропроводности. Такие расходомеры могут применяться в трубопроводах различного диаметра и могут измерять расход агрессивных и абразивных жидкостей.

Электромагнитные расходомеры позволяют проводить измерение без потерь давления, они практически безынерционны и поэтому могут быть использованы при измерении быстро меняющихся потоков.

Выпускаемые в настоящее время электромагнитные расходомеры позволяют измерять расход в широком диапазоне  $1 - 2500 \text{ м}^3/\text{ч}$  для трубопроводов с диаметром  $10 - 1000 \text{ мм}$  при линейной скорости движения  $0,6 - 10 \text{ м/с}$ . Классы точности расходомеров  $1,0 - 2,5$ .

Электромагнитные расходомеры непригодны для измерения расхода газов, паров и жидкостей с электропроводностью менее  $10^{-5} - 10^{-3}$ , например нефтепродуктов, спиртов и т.п.

**Скоростные счетчики** применяют для определения объемного количества измеряемой среды. Чувствительным элементом скоростных счетчиков является аксиальная или тангенциальная турбинка, приводимая во вращение потоком жидкости, протекающем через счетчик. Принцип действия скоростных счетчиков основан на том, что число оборотов турбинки в единицу времени пропорционально скорости потока, омывающего турбинку. Таким образом, измеряя суммарное число оборотов турбинки, можно получать информацию об объемном количестве вещества. Существенным недостатком скоростных счетчиков является зависимость показаний от вязкости измеряемой жидкости.

Счетчики с аксиальной турбинкой изготавливают с диаметрами условного прохода  $50 - 300 \text{ мм}$  для измерения количества вещества при расходах  $3 - 1300 \text{ м}^3/\text{ч}$ , классы точности  $1,0; 1,5, 2,0$ .

Для измерения количества жидкости при малых расходах используются скоростные счетчики с тангенциальными турбинками. В этих счетчиках поток жидкости тангенциально подводится к турбинке и приводит ее во вращение. Счетчики с тангенциальной турбинкой имеют диаметр условного прохода  $15 - 40 \text{ мм}$ , верхний предел измерений по расходу  $3 - 20 \text{ м}^3/\text{ч}$  и классы точности  $2,0 - 3,0$ .

Принцип действия **ультразвуковых расходомеров** основан на том, что при распространении ультразвуковых колебаний в движущейся среде скорость ультразвука относительно трубопровода равна векторной сумме скоростей ультразвука в среде и скорости самой среды. Поэтому, если на трубопроводе на некотором расстоянии друг от друга установить две пары пьезоэлектрических

элементов, служащие излучателями и приемниками, то сигналы к приемнику против потока будут приходить с акустической разностью хода, которая является однозначной функцией скорости среды.

Измерение акустической разности хода сводится к измерению разницы времени распространения ультразвука по потоку и против потока. Для определения акустической разности хода используются электронные блоки, реализующие следующие методы:

- частотно-импульсный;
- фазовый;
- время-импульсный.

## 1.4. ИЗМЕРЕНИЕ УРОВНЯ

Уровнем показывает высоту заполнения технологического аппарата рабочей средой. Кроме того измерение уровня позволяет получить информацию о массе жидкости в резервуарах. Единицей измерения уровня являются единицы длины. Средства измерения уровня называют уровнемерами.

Различают уровнемеры, предназначенные для измерения уровня рабочей среды, измерений массы жидкости в технологическом аппарате, сигнализации предельных значений уровня рабочей среды – сигнализаторы уровня.

По диапазону измерения различают уровнемеры широкого и узкого диапазонов. Уровнемеры широкого диапазона предназначены для проведения товароучетных операций, а уровнемеры узкого диапазона обычно используются в системах автоматического регулирования.

В настоящее время измерение уровня во многих отраслях промышленности осуществляют различными по принципу действия уровнемерами, из которых распространение получили поплавковые, буйковые, гидростатические, электрические, ультразвуковые и радиационные.

Принцип действия *поплавковых приборов* основан на использовании выталкивающей силы, действующей на погруженное в жидкость тело.

Поплавковые уровнемеры узкого диапазона обычно представляют собой устройства, содержащие шарообразный поплавок диаметром 80 – 200 мм, выполненный из нержавеющей стали. Поплавок плавает на поверхности жидкости и через штангу и специальное сальниковое уплотнение соединяется либо со стрелкой измерительного прибора, либо с преобразователем угловых перемещений в унифицированный электрический или пневматический сигнал. Минимальный диапазон измерений этих уровнемеров –10 - 0 – 10 мм, максимальный -200 – 0 – 200 мм. Класс точности 1,5.

Поплавковые уровнемеры широкого диапазона представляют собой поплавок, связанный с противовесом гибким тросом. минимальный диапазон измерений 0 – 12 м, максимальный 0 – 20 м. Абсолютная погрешность + 4 мм и +10 мм.

В основу работы *буйковых уровнемеров* положено физическое явление, описываемое законом Архимеда. Чувствительным элементом в этих

уровнемерах является цилиндрический буюк, изготовленный из материала с плотностью, большей плотности жидкости. Буюк находится в вертикальном положении и частично погружен в жидкость. При изменении уровня жидкости в аппарате масса буюка в жидкости изменяется пропорционально изменению уровня. Преобразование веса буюка в сигнал измерительной информации осуществляется с помощью унифицированных преобразователей «сила – давление» и «сила – ток». В соответствии с видом используемого преобразователя силы различают пневматические и электрические буюковые уровнемеры.

Минимальный верхний предел измерений пневматических и электрических уровнемеров с унифицированным сигналом составляет 0,02 м, максимальный 16 м.

Верхние пределы измерений уровнемера с унифицированным электрическим сигналом ограничены значениями 0,02 – 16.

Буюковые средства измерения применяются при температуре рабочей среды от  $-40$  до  $400^{\circ}\text{C}$  и давлении рабочей среды до 16 МПа. Классы точности буюковых уровнемеров 1,0 и 1,5.

Измерение уровня *гидростатическими уровнемерами* сводится к измерению гидростатического давления  $p$ , создаваемого столбом  $h$  жидкости постоянной плотности.

Измерение гидростатического давления осуществляется:

- манометром, подключаемым на высоте, соответствующей нижнему предельному значению уровня;
- дифманометром, подключаемым к резервуару на высоте, соответствующей нижнему предельному значению уровня, и к газовому пространству над жидкостью;
- измерением давления газа (воздуха), прокачиваемого по трубке, опущенной в заполняющую резервуар жидкость на фиксированное расстояние.

Измерение гидростатического давления манометрами целесообразно в резервуарах, работающих при атмосферном давлении. В противном случае, показания манометра складываются из гидростатического и избыточного давлений.

Для измерения уровня жидкости в технологических аппаратах, находящихся под давлением, широкое применение получили дифференциальные манометры.

Уровнемеры, в которых измерение гидростатического давления осуществляется путем измерения давления газа, прокачиваемого по трубке, погруженной на фиксированную глубину в жидкость, заполняющую резервуар, называют пьезометрическими. Пьезометрические уровнемеры позволяют измерять уровень в широких пределах от нескольких десятков сантиметров до 10 – 15 м.

По виду чувствительного элемента *электрические средства измерений уровня* подразделяют на емкостные и кондуктометрические.

В емкостных уровнемерах используется зависимость электрической емкости от уровня жидкости. Конструктивно емкостные чувствительные элементы выполняют в виде коаксиально расположенных цилиндрических электродов или параллельно расположенных плоских электродов. Преобразование электрической емкости чувствительных элементов в сигнал измерительной информации осуществляется мостовым, резонансным или импульсным методом.

Емкостные уровнемеры имеют классы точности 0,5; 1,0; 2,5. Их минимальный диапазон измерений составляет 0 – 0,4 м, максимальный 0 – 20 м; давление рабочей среды 2,5 – 10 МПа; температура от –60 до 100°С или от 100 до 250°С.

Разработаны емкостные уровнемеры сыпучих сред. Верхние пределы измерений уровнемеров ограничены значениями 4 – 20 м. Класс точности 2,5.

Кондуктометрические сигнализаторы предназначены для сигнализации уровня электропроводящих жидких и сыпучих сред с удельной проводимостью более  $10^{-3}$  См/м. Электроды, применяемые в кондуктометрических сигнализаторах уровня, изготавливают из стали специальных марок или угля, причем угольные электроды используются только при измерении уровня жидких сред.

В настоящее время предложены различные принципы построения *ультразвуковых уровнемеров*, из которых широкое распространение получил принцип локации.

В соответствии с этим принципом измерение уровня осуществляют по времени прохождения ультразвуковыми колебаниями расстояния от излучателя до границы раздела двух сред и обратно до приемника излучения. Локация границы раздела двух сред осуществляется либо со стороны газа (воздуха), либо со стороны рабочей среды (жидкости или сыпучего материала). 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 – ультразвуковыми.

Преимуществом акустических уровнемеров является независимость их показаний от физико-химических свойств и состава рабочей среды. Это позволяет использовать их для измерения уровня неоднородных и выпадающих в осадок жидкостей. К недостаткам следует отнести влияние на показания уровнемеров температуры, давления и состава газа.

Диапазоны измерений уровня 0 – 1; 0 – 2; 0 – 3 м. Класс точности 2,5. Температура контролируемой среды 10 – 50°С, давление в технологическом аппарате до 4 МПа.

Акустические уровнемеры сыпучих сред по принципу действия и устройству аналогичны акустическим уровнемерам жидких сред. Классы точности 1,0; 1,5. Минимальный диапазон измерений 0 – 2,5 м, максимальный 0 – 30 м. Контролируемая среда – гранулы диаметром 2 – 200 мм.

Как и акустические *радарные уровнемеры* используют принцип локации границы раздела двух сред, но реализуют его с помощью СВЧ-сигналов. В

радарных системах контроля уровня применяются две технологии: с непрерывным частотно-модулированным излучением и импульсным излучением сигнала.

В первом случае уровнемер излучает микроволновый сигнал, частота которого изменяется непрерывно по линейному закону между двумя значениями частот. Отраженный от поверхности контролируемой среды сигнал принимается той же антенной и обрабатывается. Его частота сравнивается с частотой сигнала, излучаемого в данный момент времени, и разность частот прямо пропорциональна расстоянию до поверхности.

В радарных уровнемерах импульсного типа используется метод определения расстояния, основанный на непосредственном измерении времени прохождения СВЧ-импульса от излучателя до контролируемой поверхности и обратно.

Радарные уровнемеры импульсного типа обладают рядом преимуществ. Во-первых эхо-сигналы разнесены во времени, что обеспечивает их более простое разделение. Во-вторых среднее энергопотребление импульсных уровнемеров на 1-2 порядка ниже. И в-третьих, электронная часть для обработки сигналов намного проще, и надежность прибора получается потенциально выше.

## 2. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

1. Номер варианта заданий выбирается по сумме двух последних цифр номера зачетной книжки.

2. Темой контрольной работы является анализ методов и средств измерений различных технологических параметров и выбор наиболее оптимального варианта приборов и схемы измерения для заданного технологического параметра и условий измерений.

3. Содержание курсовой работы:

- Введение. Краткий обзор методов измерения заданной величины. (2-3 стр.)
- Описание объекта измерения (1-2 стр.) с постановкой задачи измерения
- Разработка структурной схемы ИИС (3-5 стр.)
- Выбор измерительных преобразователей (8-10 стр.)
- Выбор промежуточных преобразователей (8-10 стр.)
- Расчет точности ИИС (6-8 стр.)
- Выводы по работе (1 стр)
- Список литературы (1 стр)

Во **введении** для заданного технологического параметра должны быть рассмотрены методы измерения; промышленно выпускаемые приборы.

При **описании объекта** измерения необходимо остановиться на требованиях к проектируемой информационно-измерительной системе по условиям функционирования, показателям точности и пределам измеряемой величины.

При *разработке структурной схемы ИИС* на основе анализа методов и средств измерения физической величины должны быть рассмотрены альтернативные варианты преобразования сигнала измерительной информации и сформирована структура системы. Необходимо учитывать точность методов измерения; возможность физической реализации методов измерений; особенности применения разных методов, то есть диапазоны измерений, условия использования, возможные источники погрешностей

При *выборе первичных и промежуточных* измерительных преобразователей по измеряемому параметру и дополнительным требованиям надо обосновать целесообразность использования выбранного прибора по условиям эксплуатации и метрологическим характеристикам, к которым относятся: статическая (градуировочная) характеристика; чувствительность; порог чувствительности; диапазон измерений; динамические характеристики; предел допускаемой погрешности и др.

Необходимо привести сравнительный анализ используемых в промышленности средств измерений по: условиям применения; точности; особенностям монтажа и эксплуатации.

В данном разделе желательно рассмотреть современные средства измерения технологических параметров, выпускаемые зарубежными фирмами и применяемые на предприятиях.

Характеристики средства измерения желательно привести из его паспортных данных и другой нормативно-технической документации.

При *расчете точности ИИС* необходимо рассмотреть вопросы метрологического обеспечения, а также требования к монтажу, наладке и эксплуатации прибора.

В *заключении* необходимо проанализировать результаты работы.

Все схемы, рисунки, формулы, таблицы, заимствованные из литературы обязательно нумеруются и снабжаются указанием источника информации: литература и интернет, конце работы формируется список используемых источников.

4. Примерные варианты заданий на курсовую работу по вариантам представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Варианты заданий

Номер варианта	Контролируемая среда	Технологический параметр	Дополнительные требования
1	Пар в трубопроводе	Температура 120...150°С	Вторичный прибор – автоматический мост
2	Вода в трубопроводе	Расход 6 – 8 м <sup>3</sup> /с	Преобразователь расхода «Метран – 300ПР»
3	Жидкость в резервуаре	Уровень 0,5 – 13 м	Ультразвуковой метод, выходной сигнал 4 – 20 мА
4	Печь кипящего слоя	Температура 500...550°С	Термометр сопротивления, выходной сигнал 0 – 5 мА

Продолжение таблицы 4

Номер варианта	Контролируемая среда	Технологический параметр	Дополнительные требования
5	Агрессивная среда	Давление 1 – 1,5 МПа	Преобразователь давления SITRANS P
6	Сыпучий материал в резервуаре	Уровень 1 – 18 м	Радарный метод, выходной сигнал 4 – 20 мА
7	Обжиговая печь	Температура 800...850°С	Вторичный прибор – потенциометр
8	Вода в трубопроводе	Расход 0,5 – 1 м <sup>3</sup> /с	Электромагнитный метод
9	Газ в закрытом резервуаре	Давление 1,5-2,0 МПа	Точность не хуже 0,2%, жидкости в резервуаре
10	Пары металла	Температура 1450...1750°С	Термопара, выходной сигнал 0 – 5 мА
11	Пар в трубопроводе	Температура 120...150°С	Вторичный прибор – автоматический мост
12	Вода в трубопроводе	Расход 6 – 8 м <sup>3</sup> /с	Преобразователь расхода «Метран – 300ПР»
13	Вода в трубопроводе	Расход 0,5 – 1 м <sup>3</sup> /с	Электромагнитный метод
14	Газ в закрытом резервуаре	Давление 1,5-2,0 МПа	Точность не хуже 0,2%, жидкости в резервуаре
15	Жидкость в резервуаре	Уровень 0,5 – 13 м	Ультразвуковой метод, выходной сигнал 4 – 20 мА
16	Печь кипящего слоя	Температура 500...550°С	Термометр сопротивления, выходной сигнал 0 – 5 мА
17	Пары металла	Температура 1450...1750°С	Термопара, выходной сигнал 0 – 5 мА
18	Сыпучий материал в резервуаре	Уровень 1 – 18 м	Радарный метод, выходной сигнал 4 – 20 мА
19	Обжиговая печь	Температура 800...850°С	Вторичный прибор – потенциометр
20	Агрессивная среда	Давление 1 – 1,5 МПа	Преобразователь давления SITRANS P

### 3. ОФОРМЛЕНИЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

1. Объем курсовой работы 30-40 страниц. Работа выполняется в печатном виде на листах формата А4. Листы текстовой части рамками не обводятся. Для сплошного текста по всем сторонам листа остаются поля. Размер полей: левое – не менее 30 мм, правое не менее 10 мм, верхнее и нижнее – не менее 20 мм. При компьютерном наборе рекомендуется шрифт Times New Roman № 12-14, одинарный или полуторный межстрочный интервал.

Все схемы, разработанные в ходе проектирования приводятся в виде рисунков, расположенных по тексту или в конце работы.

Большие таблицы, иллюстрации допускается выполнять на листах большего формата, которые оформляются в приложении.

2. Текст должен быть написан грамотным техническим языком в безличной форме или в третьем лице множественного числа. Названия учреждений, фирм, названия изделий и другие имена собственные в тексте приводят на языке оригинала.

Работа четко структурирована и разбита на части, что отражено в содержании курсовой работы. Первый лист – титульный (не нумеруется, но считается), второй – содержание (с указанием номера страницы – внизу посередине).

3. Текст курсовой работы разделяют на разделы, подразделы и, при необходимости, на пункты и подпункты.

Разделы и подразделы должны иметь заголовки, которые записывают с абзацного отступа. Переносы в заголовках не допускаются.

Каждый раздел необходимо начинать с нового листа. Разделы нумеруют арабскими цифрами без точки, заголовки записывают прописными буквами, в конце заголовка точка не ставится. Номер подраздела состоит из номера раздела и порядкового номера подраздела, разделённых точкой и в конце номера точка не ставится. Заголовок подраздела записывают строчными буквами с первой прописной.

4. Страницы контрольных работ следует нумеровать арабскими цифрами, соблюдая сквозную нумерацию по всему тексту. Номер страницы проставляют в правом верхнем углу без точки в конце. Титульный лист включается в общую нумерацию, но номер на нём не проставляется.

#### 5. В тексте не допускается:

-сокращение обозначения единиц физических величин, если они употребляются без цифр, за исключением единиц физических величин в головках и боковиках таблиц и расшифровках обозначений, входящих в формулу;

-применять сокращения слов, кроме установленных правилами русской орфографии, пунктуации, а также по ГОСТ 7.12-93;

-использовать в тексте математический знак минус (-) перед отрицательными значениями величин. Вместе знака (-) следует писать слово («минус»);

-употреблять математические знаки без цифр, например:  $\leq$  (меньше или равно),  $\geq$  (больше или равно), знаки № (номер), % (процент) и т.д.

6. При записи формул пояснения входящих в них символов и коэффициентов, если они не пояснены ранее в тексте, должны быть приведены непосредственно под формулой. Формулы должны нумероваться арабскими цифрами, которые записывают на уровне формулы в скобках у правого края листа. Нумерация формул может быть сквозной или в пределах раздела.

7. Таблицы оформляются в соответствии с требованиями ГОСТ 2.105-95. Слово «Таблица» пишется строчными буквами с первой прописной с левой стороны. После номера таблицы ставится дефис, после которого с прописной буквы идет название таблицы.

Если в тексте более одной таблицы, то их нумеруют арабскими цифрами в пределах документа. Допускается нумерация таблиц в пределах раздела. В этом случае номер таблицы состоит из номера раздела и порядкового номера таблицы, разделённых точкой.

На все таблицы документа должны быть приведены ссылки в тексте документа, при ссылке следует писать слово «таблица» с указанием её номера.

При переносе таблицы на другой лист заголовок помещают только над первой частью, а головку повторяют и в левом верхнем углу пишут: «Продолжение таблицы 1».

Таблицы в тексте размещают сразу после ссылок на них.

8. В качестве иллюстраций используются графики, рисунки, схемы, диаграммы, эскизы и т.п. Все они называются рисунками и нумеруются в пределах документа или раздела. В последнем случае номер рисунка состоит из номера раздела и порядкового номера рисунка, разделённых точкой.

Иллюстрации имеют наименование и поясняющие данные (подрисуночный текст). В соответствии с межгосударственным стандартом ГОСТ 2.105-95 номер и наименование рисунков размещаются ниже поясняющих данных. Диаграммы и графики должны быть наглядными, четкими и оформляются по Р 50-77-88 «Правила выполнения диаграмм». Единицы измерения следует наносить одним из следующих способов:

-в конце шкалы между последним и предпоследним числами шкалы; при недостатке места допускается не наносить предпоследнее число;

-вместе с наименованием переменной величины после запятой;

-в конце шкалы после последнего числа вместе с обозначением переменной величины в виде дроби, в числителе которой – обозначение переменной величины, а в знаменателе – обозначение единицы измерения.

Единицы измерения углов (градусы, минуты, секунды) следует наносить один раз – у последнего числа шкалы. При ссылках на иллюстрации следует писать «... в соответствии с рисунком 2»

9. Приложения могут быть обязательными и информационными.

Информационные приложения могут быть рекомендуемого или справочного характера. В тексте на все приложения должны быть даны ссылки. Степень

обязательности приложений при ссылках не указывается. Приложения располагают в порядке ссылок на них в тексте документа.

Каждое приложение следует начинать с новой страницы с указанием сверху посередине страницы слово «Приложение» и его обозначения, а под ним в скобках для обязательного приложения пишут слово «обязательное», а для информационного – «рекомендуемое» или «справочное».

Приложение должно иметь заголовок, который записывают симметрично относительно текста с прописной буквы отдельной строкой. Приложения обозначают заглавными буквами русского алфавита, начиная с А, за исключением букв Ё, З, Й, О, Ч, Ъ, Ы, Ь. После слова «Приложение» следует буква, обозначающая его последовательность. Перед номером рисунка, таблицы, формулы в приложении пишется обозначение приложения с точкой.

Приложения должны иметь общую с остальной частью записки сквозную нумерацию страниц.

10. Список литературы составляется в соответствии с ГОСТ 7.1-84.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Информационно-измерительная техника и электроника: Учебник для вузов / Под ред. Г.Г. Раннева.-М.: Академия, 2006.-511с.

2. Раннев Г.Г. Методы и средства измерений: Учебник для студентов вузов. -М.: Академия, 2004.-311с

3. Измерение электрических и неэлектрических величин: Учеб. пособие для вузов / Н.Н. Евтихийев, Я.А. Купершмидт, В.Ф.Папуловский, В.Н. Скуров: Под ред. Н.Н. Евтихьева. – М.: Энергоатомиздат, 1990.-352 с.

4. Информационно-измерительная техника и технологии. Уч. для вузов / Под ред. Г.Г. Раннева.- М.: Высшая школа, 2002.

5. Датчики теплофизических и механических параметров: Справочник в трех томах. Т.1 (кн. 1) / Под общ. ред. Ю.Н.Коптева; Под ред. Е.Е. Багдатьяева, А.В. Горша, Я.В. Малкова.-М.: ИПРЖР, 1998.-458 с.

Кузнецов Виктор Павлович  
Дмитриева Ольга Венедиктовна

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННО- ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ**

Методические указания  
к выполнению курсовой работы  
по дисциплине «Технические измерения и приборы»  
для студентов очной и заочной форм обучения  
направления 220700.62 «Автоматизация технологических процессов и  
производств»

Авторская редакция

---

Подписано в печать 17.03.15	Формат 60x84 1/16	Бумага 65 г/м <sup>2</sup>
Печать цифровая	Усл. печ. л. 1,5	Уч.-изд. л. 1,5
Заказ 56	Тираж 25	Не для продажи

---

РИЦ Курганского государственного университета.  
640000, г. Курган, ул. Советская, 63/4.  
Курганский государственный университет.