

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ИМЕНИ К.И.САТПАЕВА

Институт нефти и газа

Кафедра «Машины и оборудование нефтяной и газовой промышленности»



УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛИНЫ СТУДЕНТА

по дисциплине «Контрольно-измерительные приборы»
по специальности 050724-Технологические машины и
оборудование

Алматы 2008

Учебно – методический комплекс по дисциплине «Контрольно-измерительные приборы » для студентов КазНТУ имени К.И.Сатпаева по специальностям 050724 – Технологические машины и оборудование.

Составители: Мырзахметов Бейбит Абикенович, доцент, кандидат технических наук, Ахметов Бекжан, старший преподаватель.

Аннотация: Учебно-методический комплекс по дисциплине «Контрольно-измерительные приборы» составлен согласно методическим указаниям по составлению учебно-методического комплекса дисциплины для студентов, обучающихся по кредитной системе, разработанным УМД КазНТУ. В него включены необходимые по положению материалы: учебная программа дисциплины – SYLLABUS и полное содержание активного раздаточного материала. Содержание учебно-методического комплекса дает студентам полное общее представление о контрольно-измерительных приборах, о методах измерения, позволяет студентам самостоятельно изучать и получать углубленного знания по отдельным темам, иметь дополнительные материалы, для выполнения тем, отнесенных к самостоятельной работе. В УМК имеются так же вопросы для самоконтроля.

1. УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ - SYLLABUS

1.1 Данные о преподавателях:

Преподаватель, ведущий занятия: Мырзахметов Бейбит Абикенович, доцент, к.т.н.

Контактная информация 292-73-39

Время пребывания

на кафедре НК ауд702 10.00-16.00

1.2 Данные о дисциплине:

Название «Контрольно-измерительные приборы»

Количество кредитов 3

Место проведения: КазНТУ

Таблица 1. Выписка из учебного плана

Курс	Семестр	Кредиты	Академических часов в неделю					Форма контроля
			Лекции	Прак. занятия	СРС	СРСП	Всего	
3	6	3	2	1	3	3	9	экзамен

1.3 Пререквизиты: стандартизация, сертификация и технические измерения, основы нефтегазового дела (основа специальности), основа конструирование и детали машин, нефтепромысловые (буровые) оборудование.

1.4 Постреквизиты: технология ремонта ПО, технология ремонта БО.

1.5 Цели и задачи дисциплины

1.5.1 Цель дисциплины

Главной целью дисциплины является формирование у будущего специалиста знаний по видам контрольно-измерительных приборов, их назначения и основных свойств. А также специальной подготовки инженерно-технических кадров, владеющих научными и практическими знаниями в области методов измерения, т.к. она решает актуальные инженерно-технические и научные задачи в области качества, эксплуатационных свойств и рационального применения контрольно-измерительных приборов.

1.5.2 Изучив дисциплину, студент должен:

Знать:

- устройство и принцип работы контрольно-измерительных приборов;
- методы и средства измерения;
- область применения соответствующих контрольно-измерительных приборов.

Уметь:

- выбирать контрольно-измерительные приборы в зависимости поставленных задач;
- свободно пользоваться стандартами.

Иметь представление:

- об основах проведения научных исследований с применением контрольно-измерительных приборов;
- о методах оценки качества и техническом обслуживании контрольно-измерительных приборов;

1.6 Перечень и виды заданий и график их выполнения

Таблица 2. Виды заданий и сроки их выполнения

Виды контроля	Виды работ	Тема работы	Ссылка на реком. литерат. с указанием страниц	Сроки сдачи
Текущий контроль	Практическая работа №1	Изучение методов и средств измерения температур	Осн. 1 [159 – 186]	1 неделя
Текущий контроль	Самостоятельная работа	Средства измерения и контроля с пневматическим преобразованием	Осн. 1 [97-104]	2 неделя
Текущий контроль	Практическая работа №2	Проверка и тарировка термодпар и термосопротивлений	Осн. 1 [159 – 186]	3 неделя
Текущий контроль	Самостоятельная работа	Средства измерения и контроля с электрическим и электромеханическим преобразованием	Осн. 1 [104-108]	4 неделя
Текущий контроль	Практическая работа №3	Изучение устройств и средств измерения давления	Осн. 1 [260 – 273]	5 неделя
Текущий контроль	Самостоятельная работа	Методы и средства измерения и контроля механических свойств веществ и материалов	Осн. 1 [144-159]	6 неделя
Текущий контроль	Практическая работа №4	Изучение устройств и средств измерения расхода жидкости	Осн. 1 [273 – 286]	7 неделя
Рубежный контроль 1.				8 неделя
Текущий контроль	Практическая работа №5	Изучение устройств и средств измерения расхода газа	Осн. 1 [273 – 286]	9 неделя
Текущий контроль	Самостоятельная работа	Методы и средства измерения и контроля теплофизических свойств веществ и материалов	Осн. 1 [186-196]	10 неделя
Текущий контроль	Практическая работа №6	Изучение устройств и средств измерения электрических величин	Осн. 1 [196 – 226]	11 неделя
Текущий контроль	Самостоятельная работа	Средства измерения зубчатых колес	Осн 2 [344-358]	12 неделя
Текущий контроль	Практическая работа №7	Обработка экспериментальных данных	Осн. 1 [21 – 30]	13 неделя
Текущий контроль	Самостоятельная работа	Средства измерения отклонений формы поверхностей	Осн 2 [292-344]	14 неделя
Рубежный контроль 2.				15 неделя
Итоговый контроль				Экзамен

1.7 Список литературы

Основная литература

1. Зайцев С.А. и др. Контрольно-измерительные приборы и инструменты. – М.: Издательский центр «Академия», 2006.
2. Марков Н.Н., Ганевский Г.М. Конструкция, расчет и эксплуатация контрольно-измерительных инструментов и приборов. М.: Машиностроение, 1993.

3. Иванов А.Г. и др. Измерительные приборы в машиностроении. – М.: Машиностроение, 1964.

4. Преображенский В.П. Теплотехнические измерения и приборы. – М.: Энергия, 1978.

5. Агапова Н.П. Контрольно-измерительная аппаратура горных и гидравлических машин. – Алматы: КазНТУ, 2008.

Дополнительная литература

6. Боднер В.А., Алферов А.В. Измерительные приборы. – М.: Издательство стандартов, 1986.

7. Чельцов А.В. Измерительные устройства для контроля качества нефтепродуктов. – Л.: Химия, 1981.

8. Мейзда Ф. Электронные измерительные приборы и методы измерений. – М.: Мир, 1990.

1.8 Контроль и оценка знаний

Контроль и оценка знаний по кредитной технологии обучения для всех курсов и по всем дисциплинам Казахского Национального технического университета имени К.И. Сатпаева применяет рейтинговый контроль знаний студентов.

Для дисциплины «Контрольно-измерительные приборы» устанавливаются, согласно рабочей программы, следующие виды контроля: текущий контроль (контрольные работы, семестровые работы). Рубежный контроль (коллоквиум в тестовой форме) и итоговый контроль (экзамены в тестовой форме) (таб.3).

Распределение рейтинговых систем контроля

Таблица 3

Вид итогового контроля	Виды контроля	Проценты
Экзамены	Итоговый контроль (экзамен)	100%
	Рубежный контроль	100%
	Текущий контроль	100%

Сроки сдачи результатов текущего контроля должны определяться календарным графиком учебного процесса по дисциплине (таб.4). Количество текущих контролей определяется содержанием дисциплины и ее объемом, которое указывается в учебно-методическом комплексе дисциплины.

Календарный график сдачи всех видов контроля по дисциплине «Контрольно-измерительные приборы»

Таблица 4

Недели	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Виды контроля	ПЗ	СР	ПЗ	СР	ПЗ	СР	ПЗ	РК	ПЗ	СР	ПЗ	СР	ПЗ	СР	РК
Недельное кол. контр.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Виды контроля: СР- самостоятельная работа; П- практическая работа, РК- рубежный контроль.

Итоговая оценка по дисциплине определяется по шкале (таблица 5).

Итоговая оценка по дисциплине определяется по шкале (таб.5).

Оценка знаний студентов

Таблица 5

Оценка	Буквенный эквивалент	В процентах %	В баллах
Отлично	A	95-100	4
	A-	90-94	3,67
Хорошо	B+	85-89	3,33
	B	80-84	3,0
	B-	75-79	2,67
Удовлетворительно	C+	70-74	2,33
	C	65-69	2,0
	C-	60-64	1,67
	D+	55-59	1,33
	D	50-54	1,0
Неудовлетворительно	F	0-49	0

Перечень вопросов для проведения контроля по модулям

Вопросы для проведения контроля по первому модулю

1. Что такое погрешность измерения?
2. Какие вы знаете группы погрешностей измерения?
3. Каковы составляющие погрешности измерения?
4. В чем заключаются основные причины появления случайной и систематической погрешностей измерения?
5. Какие методы измерений находят применение в промышленности?
6. С какой целью выполняется обработка результатов измерений?
7. Как определяется средняя арифметическая величина?
8. Как определяется СКО результатов измерений?
9. Что такое исправленный ряд результатов измерений?
10. Сколько значащих цифр должна содержать погрешность?
11. Каковы правила округления результатов расчетов?
12. Что такое технический контроль, техническое диагностирование, испытание? В чем состоит взаимосвязь этих понятий?
13. Какие виды технического контроля нашли применение в машиностроении?
14. Что такое нормативные условия контроля и каковы его параметры?
15. В чем отличие средства измерения от измерительного преобразователя?
16. Как классифицируются средства измерения и контроля по признакам?
17. Какова область применения универсальных и автоматических средств измерения и контроля в машиностроении?
18. Из каких общих структурных элементов состоят средства измерения?
19. В чем отличие чувствительного и преобразовательного элементов?
20. Какие виды преобразователей применяются в средствах измерения?

Вопросы для проведения контроля по второму модулю

1. Что такое гири?
2. Как подразделяются гири в зависимости от назначения?
3. Что включает в себя условное обозначение гири?
4. На чем основан принцип действия средств измерения и контроля с механическим преобразованием?
5. Каковы устройство и принцип действия индикатора часового типа?

6. Каковы устройство и принцип действия индикаторного нутромера?
7. Как настраивается на «0» рычажная скоба?
8. Что такое калибры и для каких целей они применяются?
9. В чем состоит отличие между понятиями «контроль» и «измерение»?
10. Как классифицируются калибры?
11. В чем заключается принцип контроля предельными калибрами?
12. Как называются средства измерения и контроля параметров механического движения?
13. Какие применяются методы измерения линейных скоростей, скоростей вращения?
14. Каковы принцип действия и устройство акселерометров?
15. На чем основан принцип действия виброметров?
16. Что такое температура и какими единицами она оценивается?
17. Как работают контактные термометры расширения?
18. Что такое термометр сопротивления и каков принцип его работы?
19. Каковы конструкция и принцип действия термоэлектрического термометра?
20. Как работают бесконтактные термометры?

Вопросы для подготовки к промежуточной аттестации

1. Какие физические фотометрические методы и средства измерений и контроля светотехнических параметров применяются в промышленности?
2. Каковы преимущества и область применения волоконно-оптических средств измерений?
3. Каковы основные элементы волоконно-оптических систем?
4. Каков принцип действия волоконного световода?
5. Какие основные приемники звуковых сигналов используются в акустических измерениях?
6. Каковы особенности слуха человека по восприятию звука?
7. Как измеряется скорость распространения звуковой волны?
8. Приведите примеры применения акустики в технике.
9. С чем связано использование логарифмических единиц в акустике?
10. Какими величинами определяются расход и количество жидкостей, газа, пара?
11. На чем основаны методы измерения величин давления?
12. Какие средства измерения параметров давления нашли применение в промышленности?
13. Каковы принцип действия и устройство деформационных средств измерения давления?
14. Каковы принцип действия и устройство электрических манометров и вакуумметров?
15. Что такое дифференциальные манометры и каков принцип их действия?
16. Какими методами и средствами измерений и контроля определяется расход жидкостей и газа?
17. Каковы принцип действия и устройство ротаметра?
18. Каковы принцип действия и устройство скоростных счетчиков количества жидкости?
19. Какие методы и средства измерения и сигнализации уровня жидкости применяются в машиностроении?
20. Какие преимущества и недостатки присутствуют в поплавковых уровнемерах?
21. Каковы принцип действия и устройство манометрических средств измерения уровня?
22. Каковы принцип действия и схема средств измерения уровня емкостных,

ультраакустических и радиационных уровнемеров?

23. Что такое анализатор и какие показатели он оценивает?

24. Чем характеризуются состав и физико-химические свойства газов и жидкостей?

25. Какие блоки включает в себя автоматический анализатор?

26. Какие анализаторы газов нашли применение в промышленности?

27. Каковы принцип и схема механического газоанализатора химического поглощения?

28. Как работает анализатор температуры вспышки?

29. Принцип действия анализатора кислотного числа.

30. Для чего предназначены индикаторы цветности нефтепродуктов?

31. Принцип действия анализатора фракционного состава.

32. От каких факторов зависит выбор средств контроля и измерения?

33. Как влияет масштаб производства на выбор средств измерения и контроля?

34. Чем отличается организационно-техническая форма контроля?

35. Какие факторы и погрешности влияют на точность показания средств измерения и контроля?

36. От чего зависят экономические показатели выбора средств измерения и контроля?

1.9 Политика и процедура курса

Содержит требования преподавателя к бакалавриантам об обязательном посещении занятий, своевременной отчетности по всем видам контроля, порядке отработки пропущенных занятий и пр. При сдаче видов контролей необходимо соблюдать логическую последовательность изучаемых дисциплин.

2. СОДЕРЖАНИЯ АКТИВНОГО РАЗДАТОЧНОГО МАТЕРИАЛА

2.1 Тематический план курса

Распределение часов по видам занятий

Таблица 6

№	Наименование темы и ее краткое содержание	Количество академических часов			
		Лекция	Практические занятия	СРСП	СРС
1	2	3	4	5	6
1	Основы теории измерения и технический контроль: основные понятия, обработка результатов измерения.	2		3	3
2	Средства измерения и контроля: классификация, обобщенная структурная схема, метрологические характеристики.	2	2	3	3
3	Измерение и контроль весовых величин: назначение, классификация, гири общего назначения, гири специального назначения.	2	2	3	3
4	Измерение и контроль геометрических величин: измерительные инструменты, механические преобразователи, контроль калибрами.	2		3	3
5.	Измерение и контроль механических величин: методы и средства измерения и контроля кинематических и	2		3	3

	динамических величин, механических свойств веществ и материалов				
6	Методы и средства измерения и контроля температуры: контактное и бесконтактное измерение температуры.	2	2	3	3
7	Измерение и контроль электрических и магнитных величин: методика измерения в электрических цепях и методика измерения магнитных величин.	2	1	3	3
8	Измерение величин оптического излучения: принципы фотометрических измерений, визуальные методы и средства фотометрии, средства измерения и контроля светотехнических параметров.	2		3	3
9	Измерение акустических величин: средства измерения, методика проведения акустических измерений.	2		3	3
10	Измерение и контроль давления: жидкостные и деформационные средства измерения. Электрические манометры и вакуумметры, дифференциальные манометры.	2	2	3	3
11	Измерение и контроль расхода и количества газов и жидкостей: счетчики и расходомеры, методы измерения.	2		3	3
12	Средства измерения и сигнализации уровня жидкости: уровнемеры, методы измерения.	2	2	3	3
13	Анализаторы газов и жидкости: анализаторы газов, анализаторы жидкости.	2	2	3	3
14	Анализаторы состава и физико-химических свойств нефти и нефтепродуктов: анализаторы температуры вспышки, кислотного числа, упругости паров, влажности, цветности и фракционного состава.	2	2	3	3
15	Выбор средств измерения и контроля: масштаб производства, организация контроля, конструктивные особенности объекта, экономические показатели.	2		3	3
	Всего	30	15	45	45

2.2 Конспект лекционных занятий

Лекция №1. Основы теории измерения и технический контроль

Измерительной информацией называется информация о значениях измеренных ФВ.

Применяемые при измерениях методы и технические средства не являются идеальными, а органы восприятия экспериментатора не могут идеально воспринимать показания приборов. Поэтому после завершения процесса измерения остается некоторая неопределенность в наших знаниях об объекте измерения, т. е. получить истинное значение ФВ невозможно. Остаточная неопределенность наших знаний об измеряемом объекте может характеризоваться различными мерами неопределенности. Такая мера неопределенности, как энтропия, наиболее широко распространена в теории информации. В метрологической же практике энтропия практически не используется. В теории измерений мерой неопределенности результата измерения является погрешность результата наблюдения.

Под *погрешностью результата измерения*, или просто погрешностью измерения, понимается отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой физической величины. Записывается это следующим образом:

$$\Delta = X_{\text{изм}} - X, \quad (1.1)$$

где $X_{\text{изм}}$ - результат измерения; X - истинное значение ФВ.

Однако поскольку истинное значение ФВ остается неизвестным, то неизвестна и погрешность измерения. Поэтому на практике имеют дело с приближенными значениями погрешности или с так называемыми их оценками. В формулу для оценки погрешности подставляют вместо истинного значения ФВ ее действительное значение. Под действительным значением ФВ понимается ее значение, полученное опытным путем и настолько приближающееся к истинному значению, что для данной цели может быть использовано вместо него.

Таким образом, формула для оценки погрешности имеет следующий вид:

$$\Delta = X_{\text{изм}} - Q_{\text{д}} \quad (1.2)$$

где $Q_{\text{д}}$ - действительное значение ФВ.

Каковы же основные причины возникновения погрешности? Можно выделить четыре основные группы погрешностей измерения:

- погрешности, вызванные методиками выполнения измерения (погрешность метода измерения);
- погрешность средств измерения;
- погрешность органов чувств наблюдателей (личные погрешности);
- погрешности, обусловленные влиянием условий измерения.

Все эти погрешности дают *суммарную погрешность* измерения. В метрологии принято разделять суммарную погрешность измерения на две составляющие – случайную и систематическую погрешности.

Случайная погрешность измерения – составляющая погрешности результатов измерения, изменяющаяся случайным образом (по знаку и значению) в повторных наблюдениях, проведенных с одинаковой тщательностью одной и той же неизменяющейся (детерминированной) ФВ.

Систематическая погрешность измерения – составляющая погрешности результата измерения, остающаяся постоянной или же закономерно изменяющаяся при повторных наблюдениях одной и той же неизменяющейся ФВ.

Систематическая погрешность возникает из-за несовершенства метода выполнения измерения, погрешностей СИ, неточного знания математической модели измерения, из-за влияния условий, погрешностей градуировки и поверки СИ, личных причин.

Поскольку случайные погрешности результатов измерения являются случайными величинами, в основе их обработки лежат методы теории вероятностей и математической статистики.

Различают погрешности абсолютные и относительные.

Абсолютная погрешность – погрешность, выраженная в единицах измеряемой величины. Например, погрешность измерения массы в 5 кг – 0,0001 кг. Она обозначается Δ .

Относительная погрешность – это безразмерная величина, определяющаяся отношением абсолютной погрешности к действительному значению измеряемой ФВ, она может выражаться в процентах (%). Например, относительная погрешность измерения массы

5 кг – $\frac{0,0001}{5} = 0,00002$, или 0,002 %. Иногда берется отношение абсолютной погрешности к

максимальному значению ФВ, которое может быть измерено данным СИ (верхний предел шкалы прибора). В этом случае относительная погрешность называется *приведенной*.

Относительная погрешность обозначается δ и определяется следующим образом:

$$\delta = \frac{\Delta}{X_{\text{д}}} = \frac{X_{\text{изм}} - X_{\text{д}}}{X_{\text{д}}} \quad (1.3)$$

Поскольку $X_{\text{д}} \approx X_{\text{изм}}$ (или очень мало отличается от него), то на практике обычно принимается

$$\delta = \Delta / X_{\text{изм}} \quad (1.4)$$

Кроме случайной и систематической погрешностей измерения различают так называемую *грубую погрешность* измерения. Иногда в литературе эту погрешность называют *промахом*. Грубая погрешность результата измерения – это такая погрешность, которая значительно превышает ожидаемую.

Как уже отмечалось, в общем случае проявляются одновременно обе составляющие суммарной погрешности измерения – случайная и систематическая, поэтому

$$\Delta = \Delta + \Theta$$

где Δ – суммарная погрешность измерения, она может быть представлена в виде $\Sigma\Delta$; Δ – случайная составляющая погрешности измерения; Θ – систематическая составляющая погрешности измерения.

Виды измерений обычно классифицируются по следующим признакам:

- характеристике точности – равноточные, неравноточные (равнорассеянные, неравнорассеянные);
- числу измерений – однократные, многократные;
- отношению к изменению измеряемой величины – статические, динамические;
- метрологическому назначению – метрологические, технические;
- выражению результата измерений – абсолютные, относительные;
- по общим приемам получения результатов измерений – прямые, косвенные, совместные, совокупные.

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

Неравноточные измерения – ряд измерений какой-либо величины, выполненных несколькими различными по точности СИ и (или) в разных условиях.

Однократное измерение – измерение, выполненное один раз.

Многократные измерения – измерения одного и того же размера ФВ, результат которого получен из нескольких следующих друг за другом наблюдений, т.е. состоящих из ряда однократных измерений.

Прямое измерение – измерение ФВ, проводимое прямым методом, при котором искомое значение ФВ получают непосредственно из опытных данных. Прямое измерение производится путем экспериментального сравнения измеряемой ФВ с мерой этой величины или путем отсчета показаний СИ по шкале или цифровому прибору. (Например, измерения

длины, высоты с помощью линейки, напряжения - с помощью вольтметра, массы - с помощью весов.)

Уравнение прямого измерения имеет следующий вид:

$$Q = q[Q] \quad (1.5)$$

Косвенное измерение - измерение, проводимое косвенным методом, при котором искомое значение ФВ находят на основании результата прямого измерения другой ФВ, функционально связанной с искомой величиной известной зависимостью между этой ФВ и величиной, получаемой прямым измерением.

Уравнение косвенных измерений имеет следующий вид:

$$Y = F\left(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n\right); Y = F(x), \quad (1.6)$$

где F - известная функция; n - число прямо измеренных ФВ; x_1, x_2, x_i, x_n , - значения прямо измеренных ФВ.

Например: определение площади, объема с помощью измерения длины, ширины, высоты; электрической мощности методом измерения силы тока и напряжения и т.д.

Совокупные измерения - одновременно проводимые измерения нескольких одноименных величин, при которых искомые значения величин определяют путем решения системы уравнений, получаемых при измерениях различных сочетаний этих величин.

Совместные измерения – одновременно проводимые измерения двух или нескольких неоднородных физических величин для определения зависимости между ними.

Значение физической величины определяется с помощью средств измерения конкретным методом. Под методом измерения понимается совокупность приемов использования принципов и средств измерения. Различают следующие методы измерения:

- *метод непосредственной оценки* – метод, в котором значение величины определяют непосредственно по отчетному устройству измерительного прибора (измерение длины с помощью линейки, массы – с помощью пружинных весов, давления – с помощью манометра и т.д.);

- *метод сравнения с мерой* – метод измерения, в котором измеряемую величину сравнивают с величиной, воспроизводимой мерой (измерение зазора между деталями с помощью щупа, измерение массы на рычажных весах с помощью гирь, измерение длины с помощью концевых мер и т.д.);

- *метод противопоставления* – метод сравнения с мерой, в котором измеряемая величина и величина, воспроизводимая мерой, одновременно воздействуют на прибор сравнения, с помощью которого устанавливается соотношение между этими величинами (измерение массы на равноплечных весах с помещением измеряемой массы и уравновешивающих ее гирь на двух чашках весов);

- *дифференциальный метод* – метод сравнения с мерой, в котором на измерительный прибор воздействует разность измеряемой и известной величины, воспроизводимой мерой (измерение длины сравнением с образцовой мерой на компараторе – средстве сравнения, предназначенном для сличения мер однородных величин);

- *нулевой метод* – метод сравнения с мерой, в котором результирующий эффект воздействия величин на прибор сравнения доводят до нуля (измерение электрического сопротивления мостом с полным его уравновешиванием);

- *метод замещения* – метод сравнения с мерой, в котором измеренную величину замещают известной величиной, воспроизводимой мерой (взвешивание с поочередным помещением измеряемой массы и гирь на одну и ту же чашку весов);

- *метод совпадений* – метод сравнения с мерой, в которой разность между измеряемой величиной и величиной, воспроизводимой мерой, измеряют, используя совпадение отметок шкал или периодических сигналов (измерение длины с помощью штангенциркуля с нониусом, когда наблюдают совпадение отметок на шкалах штангенциркуля и нониуса; измерение частоты вращения с помощью стробоскопа, когда положение какой-либо отметки

на вращающемся объекте совмещают с отметкой на невращающейся части этого объекта при определенной частоте вспышек стробоскопа).

Обработка результатов измерения. Как указывалось выше, определить истинное значение физической величины по результатам ее измерения невозможно в принципе. На основании результатов измерения может быть получена оценка этого истинного значения (его среднее значение) и диапазон, внутри которого искомое значение находится с принятой доверительной вероятностью. Другими словами, если принята доверительная вероятность равна 0,95, то истинное значение измеряемой физической величины с вероятностью 95 % находится внутри определенного интервала результатов всех измерений. Конечной задачей обработки результатов любых измерений является получение оценки истинного значения измеряемой физической величины, обозначаемой Q , и диапазона значений, внутри которого находится эта оценка с принятой доверительной вероятностью.

На первом этапе обработки результатов измерений оценивают наличие грубых погрешностей (промахов). Для этого определяют среднее квадратическое отклонение результатов измерений :

$$\sigma = \sqrt{D} = \sqrt{\sum (X_i - X)^2 / (n-1)} \quad (1.7)$$

Затем определяют, есть ли среди результатов измерений такие, которые больше или меньше среднего значения на 3σ . Если такие результаты обнаружены, их исключают из дальнейшего рассмотрения и вновь определяют среднее значение результатов измерений и среднее квадратическое отклонение.

Затем проводится анализ наличия систематических погрешностей в ряде измерений

$$X'_1, X'_2, \dots, X'_i, \dots, X'_n.$$

Систематические погрешности могут быть классифицированы в зависимости от причин их появления и характера их проявления в процессе измерений.

По характеру проявления систематические погрешности подразделяются на постоянные и переменные.

Постоянные систематические погрешности возникают при неправильной установке начала отсчета, неправильной градуировке и настройке СИ. Они остаются неизменными при повторных наблюдениях измеряемой физической величины.

Среди переменных систематических погрешностей выделяют прогрессирующие, т.е. монотонно убывающие или возрастающие, и периодические.

Систематические погрешности обычно трудно обнаружить. Как уже отмечалось, результаты наблюдений, содержащие систематические погрешности, называются *неисправленными*, они обозначаются буквами со штрихами: $X'_1, X'_2, \dots, X'_i, \dots, X'_n$

«Исправленный результат» наблюдений - это наблюдение, из которого исключена систематическая погрешность. *Наблюдение* - это, с одной стороны, совокупность операций при измерении, имеющих своей целью своевременно и правильно произвести отсчет. С другой стороны, наблюдение - это экспериментальная операция, выполняемая в процессе измерений, в результате которой получают одно значение из группы значений величины, подлежащих обработке для получения результата измерений. Например, если по трем или пяти наблюдениям получают одно измерение, можно считать, что результат наблюдений дает один результат измерения, а результат измерения - значение измеряемой ФВ - найден путем обработки результатов наблюдений.

Для обнаружения систематических погрешностей и их устранения существует несколько способов.

Точность результатов наблюдений и последующих вычислений при обработке данных должна быть согласована с необходимой точностью результатов измерений. Погрешность результатов измерений следует выражать не более чем двумя значащими цифрами. Две значащие цифры следует давать в двух случаях:

при проведении высокоточных наблюдений;

при погрешности, выраженной числом с цифрой старшего разряда <3 , например $\Delta = 22$.

Обработка результатов измерений производится в соответствии со стандартами. Например, для прямых наблюдений обработка ведется по ГОСТ 8.207-80 ГСИ «Прямые измерения с многократными наблюдениями».

Технический контроль (ТК) в соответствии с ГОСТ 16504-81 - это проверка соответствия объекта установленным техническим требованиям. Развитие науки и техники, повышение требований к качеству продукции влекут за собой рост затрат на технический контроль. Так, затраты на контроль в некоторых отраслях превышают 50% от себестоимости продукции. В металлообрабатывающей промышленности затраты на контроль составляют 8... 15% затрат производства, причем 90... 95 % этих затрат относятся к контролю линейных размеров.

Согласно определению технического контроля для объекта контроля дается заключение о его соответствии требованиям, предъявляемым технической документацией. Оно может формулироваться либо по результатам измерений, либо без них. Например, контроль предельными калибрами, при котором делается заключение «годно» или «не годно» контролируемому изделию по одному или нескольким параметрам.

В случае, если контроль выполняется по показаниям средств измерения, он называется *контролем показаний*. Например, определение годности изделия по шкальным приборам, у которых часто предусматриваются предельные флажки (планки, метки), между которыми должен находиться параметр годного изделия.

В зависимости от места расположения элементов средства контроля различают местный и дистанционный контроль. Местный контроль применяется в случае, если все элементы установлены на рабочих местах, где изготавливается или контролируется изделие. Дистанционный контроль предусматривается в случаях, когда невозможно расположить все элементы в одном месте, например контроль показаний испытываемого двигателя на стенде. (Здесь снятие параметров двигателя выполняется преобразователями датчиками в испытательном боксе, а контроль показаний осуществляется в операторском помещении.)

Техническое диагностирование - процесс определения технического состояния объекта диагностирования с определенной точностью (ГОСТ 20911-75). Результатом технического диагностирования является заключение о техническом состоянии объекта с указанием при необходимости места, вида и причин дефекта (дефектов).

Испытания - это экспериментальное определение количественных и (или) качественных свойств объекта испытаний как результата воздействия на него при его функционировании, при моделировании объекта и (или) воздействий (ГОСТ 16504-81).

Понятия «измерение», «технический контроль», «испытание» являются взаимосвязанными. Так, измерение может быть как частью промежуточного преобразования в процессе контроля или испытания, так и окончательным этапом получения информации при контроле или испытании. В то же время испытание может являться этапом получения информации в процессе контроля.

Технический контроль функционирует как система, основными элементами которой являются объект, средство, метод, вид, исполнитель, условия.

Объект технического контроля - подвергаемая контролю продукция, процессы ее создания, применения, транспортирования, хранения, технического обслуживания и ремонта, а также соответствующая техническая документация. Объектами технического контроля являются предметы труда (например, продукция основного и вспомогательного производства в виде изделий, материалов и т. п.), средства труда (например, оборудование промышленных предприятий: станки, приспособления, приборы и т.п.) и технологические процессы).

Средство технического контроля - техническое устройство, вещество и (или) материал для проведения контроля. В отличие от средства измерения при техническом контроле могут применяться различные вещества или материалы для обеспечения целей контроля.

Метод технического контроля - правила применения определенных принципов и средств контроля. В метод технического контроля входят основные физические, химические, биологические и другие явления и зависимости (законы, принципы), которые применяются для получения первичной информации об объекте контроля. Кроме того, метод контроля при необходимости содержит также определенную последовательность применения этих принципов во время контроля.

Различают методы разрушающего и неразрушающего контроля. Метод разрушающего контроля - метод, при котором может быть нарушена пригодность объекта к применению (контроль прочности детали, узла).

Метод неразрушающего контроля - метод, при котором не должна быть нарушена пригодность объекта к применению.

Вид технического контроля - классификационная группировка контроля по определенному признаку (например, контроль механических величин, контроль тепловых величин, контроль качественных характеристик, автоматизированный контроль и т.п.).

Условия технического контроля - совокупность воздействующих факторов и (или) режимов функционирования объекта при техническом контроле.

Условия контроля, которые устанавливаются нормативно-технической документацией на данный вид продукции, называются *нормативными условиями*. Например, нормативные условия выполнения линейных и угловых измерений по ГОСТ 8.050-73:

- температура окружающей среды $+20^{\circ}\text{C}$; атмосферное давление 101 325 Па (760 мм рт.ст.);

- относительная влажность окружающего воздуха 58% (нормальное парциальное давление водяных паров 1333 Па);

- ускорение свободного падения (ускорение силы тяжести) - $9,8 \text{ м/с}^2$;

- направление линии и плоскости измерения линейных размеров - 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.

Основная литература: 1 [21 – 33], 5 [6 – 23]

Дополнительная литература: 5 [8 – 42]

Контрольные вопросы:

1. Что такое погрешность измерения?
2. Каковы составляющие погрешности измерения?
3. В чем заключаются основные причины появления случайной и систематической погрешностей измерения?
4. Какие методы измерений находят применение в промышленности?
5. Что такое технический контроль, техническое диагностирование, испытание? В чем состоит взаимосвязь этих понятий?
6. Какие виды технического контроля нашли применение в машиностроении?
7. Что такое нормативные условия контроля и каковы его параметры?

Лекция №2. Средства измерения и контроля

Классификация средств измерения и контроля по определяющим признакам. Средства измерения и контроля, применяемые в машиностроении, классифицируются по различным признакам:

- по типу и виду контролируемых физических величин;
- назначению - универсальные и специальные;
- числу проверяемых параметров при одной установке объекта измерения - одномерные и многомерные;

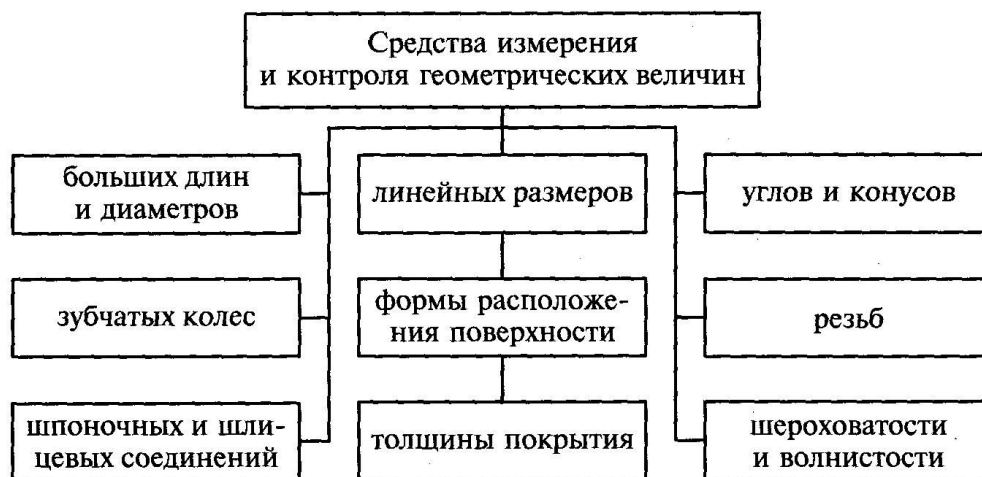


Рисунок 2.1 - Классификация средств измерения и контроля по типу физических величин

- степени механизации и автоматизации процесса измерений - ручного действия, механизированные, полуавтоматические, автоматические.

Классификация средств измерения и контроля по типу контролируемых физических величин представлена на рисунке 2.1, а по виду контролируемых физических величин - на рисунке 2.2.



Рисунок 2.2. Классификация средств измерения и контроля по виду измеряемых геометрических величин

Универсальные измерительные инструменты и приборы нашли широкое применение в условиях единичного и мелкосерийного производства, а также для определения численных величин и отклонений, отклонений от правильной геометрической формы и взаимного расположения поверхностей (при отсутствии специальных приспособлений), при наладке

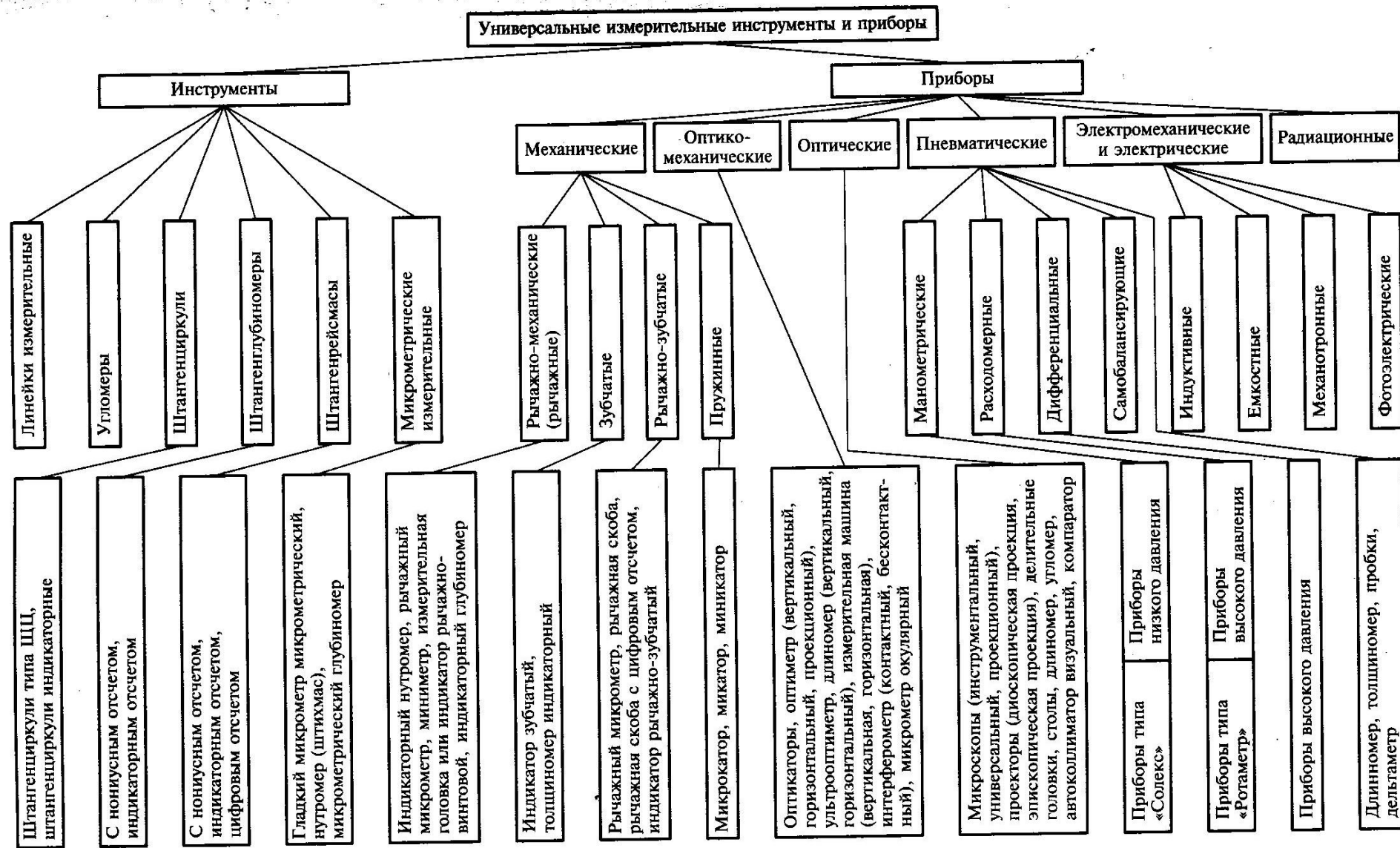


Рисунок 2.3 - Классификация универсальных измерительных инструментов и приборов

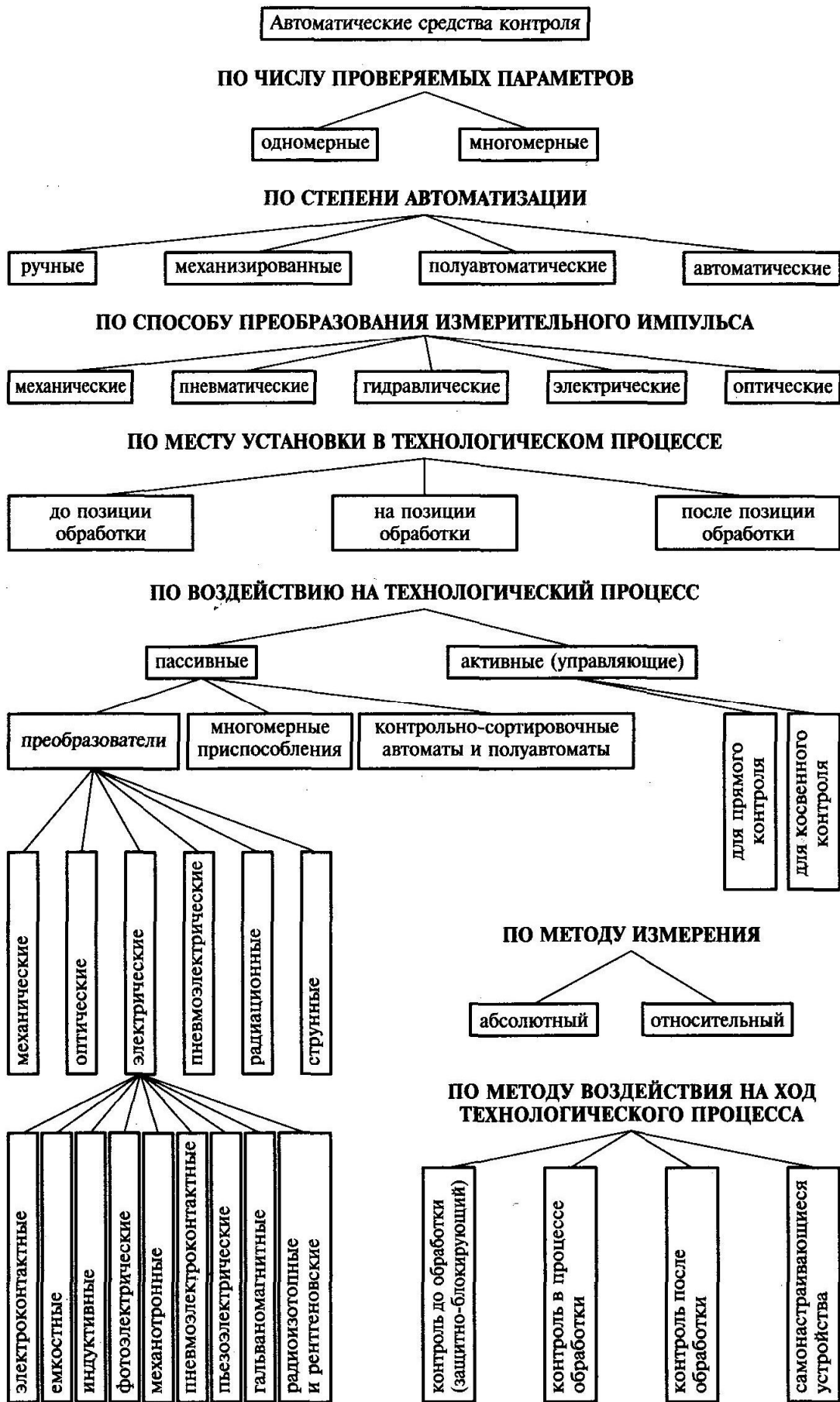


Рисунок 2.4 - Классификация автоматических средств контроля

станков, при особо ответственных измерениях во всех видах производств, включая массовое и крупносерийное (рисунок 2.3).

В условиях расширяющейся автоматизации технологических процессов обработки деталей и сборки узлов и агрегатов машин, повышения требований к производительности, точности и качеству обработки при массовом производстве машин все большее значение приобретают *автоматические средства контроля*. Они классифицируются по числу проверяемых параметров, степени автоматизации, способу преобразования измерительного цепь, импульса, месту установки в технологическом процессе, воздействию на технологический процесс (рисунок 2.4).

Отнесение контрольных операций к ручным, полуавтоматическим или автоматическим можно выполнять по отношению времени t_p , затрачиваемому на ручные операции, к общему (суммарному) времени контроля t_Σ . Если $t_p / t_\Sigma < 0,5$, то контроль считается ручным (например, контроль ручными калибрами или шкальными средствами измерения). Если $0,02 < t_p / t_\Sigma < 0,5$, то контроль считается полуавтоматическим (например, установка объекта контроля на стол контрольного приспособления выполняется вручную, а последующий процесс контроля показаний - автоматически). Если $t_p / t_\Sigma < 0,02$, то контроль считается автоматическим (установка объекта контроля, его измерение, оценка результатов и снятие объекта контроля выполняются без участия оператора).

Кроме классификации технического контроля по степени участия оператора в контрольных операциях виды контроля различают по распределению во времени (непрерывный, периодический, летучий), по стадиям технологического процесса (входной, операционный, приемочный), по способу отбора объекта контроля (сплошной, выборочный), по исполнителям (контроль на рабочем месте оператором, контроль мастера, контроль ОТК, инспекционный).

Обобщенная структурная схема средств измерения и контроля. Для создания и изучения измерительных систем, отдельных средств измерений часто применяют так называемые общие структурные схемы средств измерения и контроля. В этих схемах изображены отдельные элементы средств измерения в виде символических блоков, соединенных между собой сигналами, характеризующими физические величины.

ГОСТ 16263-70 определяет следующие общие структурные элементы средств измерения: чувствительный, преобразовательный элементы, измерительную цепь, измерительный механизм, отсчетное устройство, шкалу, указатель, регистрирующее устройство.

Первичной задачей любого средства измерения является восприятие физической величины. Эту функцию выполняет чувствительный элемент. *Чувствительный элемент средства измерения* - часть первого в измерительной цепи преобразовательного элемента, находящаяся под непосредственным воздействием измеряемой величины. Именно этот элемент определяет способность средства измерения реагировать на изменения измеряемой величины. Конструктивные разновидности чувствительного элемента весьма разнообразны; они будут рассмотрены в разделах, посвященных конструкции средств измерения и контроля.

Основной задачей этого элемента является выработка сигнала измерительной информации в форме, удобной для дальнейшей ее обработки. Этот сигнал может быть механическим (перемещение, поворот), пневматическим, электрическим и др.

При измерениях определенных физических явлений возникает необходимость преобразовывать сигнал, полученный чувствительным элементом, в другую физическую величину (например, давление - в электрическую величину, температуру - в давление и т.п.). Эту функцию выполняет преобразовательный элемент. *Преобразовательный элемент средства измерения* - это элемент, в котором происходит одно из ряда последовательных преобразований величины. Он предназначен для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для передачи, дальнейшего

преобразования, обработки и (или) хранения (например, преобразование неэлектрической величины в электрическую). Как правило, эта информация не поддается непосредственному восприятию наблюдателем. Преобразовательный элемент может быть выделен в отдельную конструкцию, а может содержать два и более преобразователей. Преобразовательный элемент, стоящий первым в измерительной цепи, обычно называют *первичным преобразователем* (например, термопара).

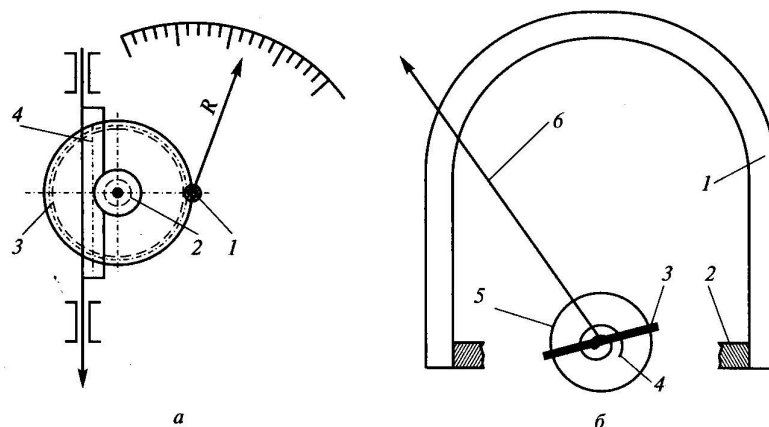


Рис. 2.5. Конструкции измерительных механизмов:

а - индикатора часового типа (1, 2 и 3 - зубчатое колесо; 4 - зубчатая рейка); б - магнитоэлектрического измерительного прибора (1 - постоянный магнит; 2- полюсный наконечник; 3 - подвижная рамка; 4 - пружина; 5 - сердечник; 6 - стрелка)

Существует огромный класс промежуточных (вторичных) преобразователей, которые, как правило, не меняют род физической величины. Широкое распространение получили аналоговые, аналого-цифровые (АЦП) и цифроаналоговые (ЦАП) преобразователи. Для дистанционной передачи сигнала измерительной информации предусматриваются передающие измерительные преобразователи, а для его изменения в заданное число раз – масштабные измерительные преобразователи. Например, индуктивные и пневматические преобразователи относят к передающим преобразователям, а делители напряжений на входе вольтметров или электронных осциллографов, измерительные усилители относят к масштабным измерительным преобразователям.

Измерительная цепь средства измерения - это совокупность преобразовательных элементов средства измерения, обеспечивающая осуществление всех преобразований сигнала измерительной информации.

Измерительный механизм - часть конструкции средства измерения, состоящая из элементов, взаимодействие которых вызывает их взаимное перемещение. Например, измерительный механизм индикатора часового типа (рис. 2.5, а) состоит из зубчатых колес 1, 2, 3 и зубчатой рейки 4. Измерительный механизм милливольтметра (рис. 2.5, б) состоит из постоянного магнита с деталями магнитопровода и подвижной рамки с подводными к ней ток пружинами. *Отсчетное устройство средства измерения* - часть конструкции средства измерения, предназначенная для отсчитывания значений измеряемой величины. Оно часто включает в себя шкалу и указатель. В самопишущих приборах отсчетное устройство осуществляет запись в виде диаграммы, в интегрирующем приборе чаще всего применяется счетный механизм.

Шкала представляет собой совокупность отметок или других символов, соответствующих ряду последовательных значений величин. Шкалы бывают односторонними (рис. 2.6, а), двусторонними (рис.2.6, б) и безнулевыми (рис. 2.6, в). В

односторонних шкалах один из пределов измерений средства измерения равен нулю. В двусторонних шкалах нулевое значение расположено на шкале. В безнулевых – на шкале нет нулевого значения.

В соответствии с ГОСТ 8.401-80 *практически равномерной* называется шкала, длина делений которой отличается друг от друга не более чем на 30% и имеет постоянную цену делений. *Существенно неравномерная шкала* – это шкала с сужающимися делениями, а *степенная шкала* – это шкала с расширяющимися делениями, отличная от шкал, указанных выше.

Указатель – часть отсчетного устройства, положение которого относительно отметок шкалы определяет показание средства измерения. Указатель может быть выполнен в виде материального стержня – стрелки или в виде луча света – светового указателя.

В *показывающих приборах* при наличии шкалы и указателя возможны отсчетные устройства двух видов: когда указатель перемещается относительно неподвижной шкалы (индикаторы часового типа, вольтметры, амперметры и др.) или шкала перемещается относительно неподвижного указателя (микрометры, оптиметры и др.).

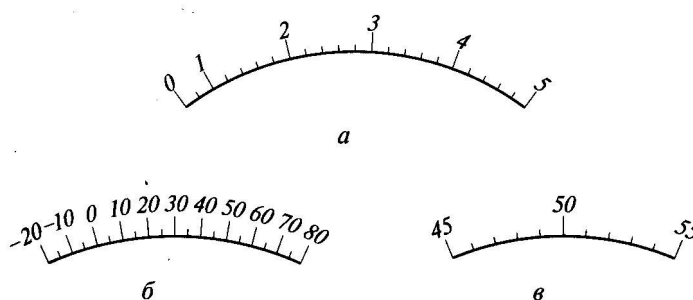


Рис. 2.6. Виды шкал: *a* – односторонняя; *б* – двусторонняя; *в* – безнулевая

Цифровые отсчетные устройства бывают либо механические, либо световые. Механические отсчетные устройства используют в тех цифровых приборах, в которых измеряемая величина преобразуется в соответствующие углы поворота валов (например, отсчетные устройства у некоторых типов бензоколонок, у приборов с цифровой лентой и цифровым роликом и др.).

Световые табло, состоящие, как правило, из системы индикаторных устройств, основанных на жидких кристаллах, используются в электронных цифровых средствах измерения, в которых измеряемые величины преобразуются в определенную последовательность импульсных сигналов (например, табло электронных часов, штангенциркуль с электронным цифровым отсчетным устройством и др.).

Используются также газоразрядные указатели (газонаполненные лампы с холодным катодом), указатели со светодиодами. В цифровых приборах со светодиодами (из арсенида галлия) цифры образуются из точечных или штриховых сегментов полупроводника, к которым подводится электрическая энергия, и в результате полупроводникового излучения появляется свечение в видимой области спектра. Высота цифр в этих приборах не может превышать 20 мм.

Регистрирующее устройство средства измерения – это часть регистрирующего измерительного прибора, предназначенная для регистрации показаний. В качестве регистрирующих измерительных приборов широко применяются самопишущие, в которых предусмотрена запись показаний в форме диаграммы (самопишущий вольтметр, профилограф, барограф, термограф и др.) и печатающие, в которых предусмотрено печатание показаний в цифровой форме.

Печатающие устройства могут быть подразделены на два класса: ударного и безударного действия.

Объединение и сочетание в различных комбинациях средств измерения, их структурных элементов, вспомогательных устройств позволяет получить широкую гамму измерительных систем, предназначенных для автоматизации процесса измерения и использования результатов измерения для автоматического управления различными процессами производства.

В качестве вспомогательных элементов (измерительных принадлежностей) измерительных систем применяют устройства, служащие для обеспечения необходимых внешних условий при выполнении измерений. К ним относятся, например, барокамера, термостат, устройства, экранирующие влияние магнитных полей, измерительные усилители, специальные противовибрационные фундаменты и даже обыкновенная лупа. Эти элементы позволяют повышать чувствительность измерительных устройств или предохранять измеряемую величину от искажающего действия влияющих величин.

Более сложной структурной схемой измерительной системы является схема информационно-измерительной системы (ИИС), в состав которой дополнительно входят следующие устройства: различные преобразователи аналогового, аналого-цифрового, цифрового типа, цифровые устройства вывода информации, стандартизованные интерфейсы (шины и узлы), устройство управления и исполнительное устройство и др.

Метрологические характеристики (свойства) средств измерения и контроля - это такие характеристики, которые предназначены для оценки технического уровня и качества средства измерения, для определения результатов измерения и расчетной оценки характеристик инструментальной составляющей погрешности измерения. ГОСТ 8.009-84 устанавливает комплекс нормируемых метрологических характеристик средств измерения, который выбирает из числа приводимых ниже.

Характеристики, предназначенные для определения результатов измерения (без введения поправки):

- функция преобразования измерительного преобразователя;
- значение однозначной или многозначной меры;
- цена деления шкалы измерительного прибора или многозначной меры;
- вид выходного кода, число разрядов кода.

Характеристики погрешностей средств измерения - характеристики систематической и случайной составляющих погрешностей, вариация выходного сигнала средств измерения либо характеристика погрешности средств измерения.

Характеристики чувствительности средств измерения к влияющим величинам - функция влияния или изменение значений метрологических характеристик средств измерения, вызванные изменениями влияющих величин в установленных пределах.

Динамические характеристики средств измерения подразделяют на полные и частные. К полным динамическим характеристикам относят: переходную, амплитудно-фазовую и импульсную характеристики, передаточную функцию, к частным - время реакции, коэффициент демпфирования, постоянную времени, значение резонансной собственной круговой частоты.

Неинформативные параметры выходного сигнала средств измерения - параметры выходного сигнала, не используемые для передачи или индикации значения информативного параметра входного сигнала измерительного преобразователя или не являющиеся выходной величиной меры.

Для обобщенной характеристики точности средств измерения, определяемой пределами допускаемых погрешностей (основной и дополнительной), а также другими их свойствами, влияющими на погрешность измерений, вводится понятие «класс точности средств измерения».

Классы точности присваивают средствам измерения при разработке. В процессе эксплуатации метрологические характеристики средств измерения ухудшаются. Поэтому допускается понижение класса их точности по результатам метрологической аттестации.

В связи с большим разнообразием средств измерения и их метрологических характеристик ГОСТ 8.401-80 определены способы обозначения, причем выбор того или иного способа зависит от того, в каком виде нормирована погрешность.

В зависимости от точности все средства измерения делят на эталоны, образцовые и рабочие. По эталонам и исходным образцовым средствам измерения проводят поверку или калибровку метрологических характеристик средств измерений более низших классов точности - подчиненных образцовых и рабочих средств измерения.

Схема передачи размеров (метрологическая цепь), от эталонов к рабочим средствам измерений выглядит следующим образом: первичный эталон → рабочий эталон → образцовое средство измерения высшего порядка → рабочие средства измерения.

Основная литература: 1 [33 – 51], 5 [23 – 39]

Дополнительная литература: 8 [17 – 42]

Контрольные вопросы:

1. В чем отличие средства измерения от измерительного преобразователя?
2. Как классифицируются средства измерения и контроля по признакам?
3. Какова область применения универсальных и автоматических средств измерения и контроля в машиностроении?
4. Какие виды регистрирующих устройств применяют в средствах измерения?
5. Какие требования предъявляются к СИ?

Лекция №3. Измерение и контроль весовых величин

Измерение и контроль весовых величин занимает существенное место в общей структуре измерений. В настоящее время номенклатура весоизмерительных устройств превышает тысячу наименований, основное число которых предназначено для механизации и автоматизации технологических процессов. Они представляют собой сложнейшие механизмы, оснащенные автоматическими устройствами контроля массы, регистрирующими, дозирующими и другими специфическими элементами. Широкое применение нашли весоизмерительные устройства, вычисляющие стоимость взвешиваемого продукта, подсчитывающие число однородных деталей, осуществляющие группирование деталей по массе, взвешивающие объект без его остановки, дозирующие различные вещества в заданных пропорциях и т. п.

По назначению весоизмерительные и весодозирующие устройства можно разделить на следующие шесть групп (рис. 3.1):

- 1) весы дискретного действия;
- 2) весы непрерывного действия;
- 3) дозаторы дискретного действия;
- 4) дозаторы непрерывного действия;
- 5) образцовые весы, гири, передвижные средства поверки;
- 6) устройства для специальных измерений.

К первой группе относятся:

- лабораторные весы различных типов с особыми условиями и методами взвешивания, требующие высокой точности показаний;

- весы настольные с наибольшим пределом взвешивания (Q_{\max}) - до 100 кг, используемые главным образом в торговле;

- весы платформенные передвижные и врезные с Q_{\max} до 15т;

- весы платформенные стационарные, автомобильные, вагонные (в том числе и для взвешивания на ходу);

- весы для металлургической промышленности (к ним относятся системы шихтоподачи для доменных печей, электровагон-весы, весы для жидкого металла, слитков, проката и т.п.).

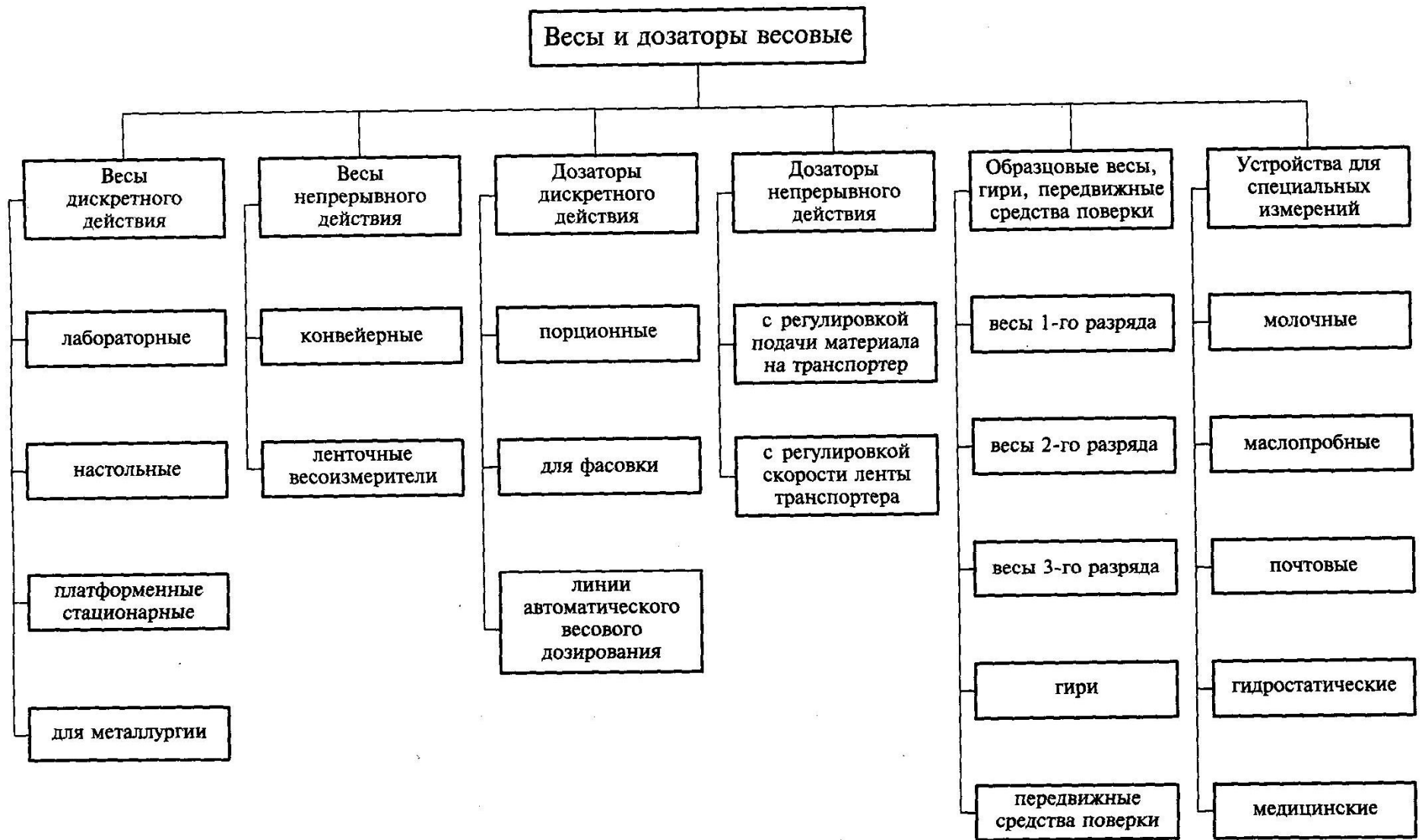


Рис. 3.1. Классификация весоизмерительных и весодозирующих устройств

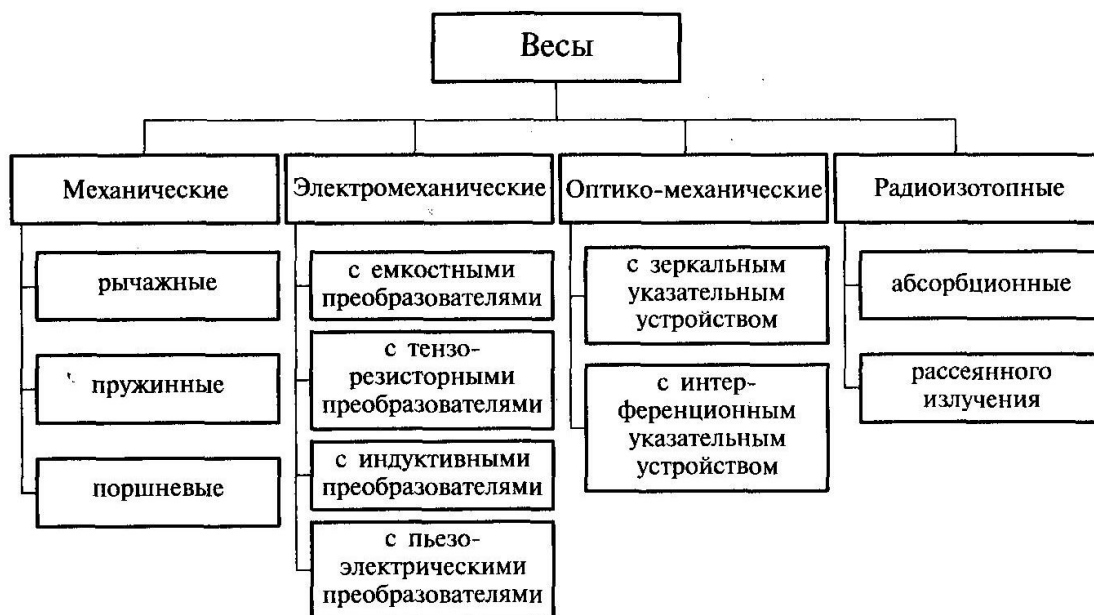


Рис. 3.2. Классификация весов по принципу действия

Весы первой группы изготавливают с коромыслами шкального типа, циферблатными квадрантными указателями, цифро-показывающими и печатающими указательными приборами и пультами.

В зависимости от принципа действия весы подразделяют на механические, электромеханические, опτικο-механические и радиоизотопные (рис. 3.2).

Наиболее широко распространены весы рычажные. Они основаны на принципе сравнения масс, и их показания не зависят от местного ускорения свободного падения. Сравнение масс производится при помощи рычагов (рычажной системы) и чашек весов.

Ко второй группе относятся:

- конвейерные весы;
- ленточные весы непрерывного действия, ведущие непрерывный учет массы транспортируемого материала.

К третьей группе относятся:

- дозаторы для суммарного учета (порционные весы);
- дозаторы для фасовки сыпучих материалов;
- линии (автоматического весового дозирования для производства бетона, асфальтобетона, стекольной шихты и т.д.).

Современные дозирующие установки позволяют дозировать до 50...60 компонентов.

К четвертой группе относятся:

- дозаторы с регулировкой подачи материала на транспортер;
- дозаторы с регулировкой скорости ленты транспортера.

К пятой группе относятся различные метрологические весы для проведения поверочных работ, а также гири и передвижные средства поверки. К конструкции весов этой группы предъявляют специфические требования, присущие выполнению поверочных работ.

К шестой группе относятся различные весоизмерительные устройства, служащие для определения не массы, а других параметров (например, подсчета или группирования равновесных детали или изделия, определения крутящего момента двигателей, процентного содержания крахмала в картофеле и т.д.).

Особое место занимают способы взвешивания с применением в качестве силоизмерителя тензорезисторных и вибростержневых преобразователей. Применение этих преобразователей во многих случаях позволяет избавиться от недостатков рычажных систем и следовательно, повысить точность измерения, снизить металлоемкость весов,

сократить время взвешивания. Получение выходных электрических сигналов предопределяет автоматизацию процесса взвешивания, позволяет ввести этот процесс в автоматизированную систему тензорезисторных преобразователей в различные подъемные и транспортирующие устройства позволяет сократить производственный цикл путем: совмещения операций подъема (перемещения) и взвешивания.

Однозначной мерой, воспроизводящей единицу массы, кратное или дольное ее значение, является гиря. Государственным первичным эталоном единицы массы в России является копия № 12 Международного прототипа килограмма, хранимого в Международном бюро мер и весов в Париже.

Государственный первичный эталон единицы массы предназначен для воспроизведения, хранения и передачи размера единицы массы вторичным эталонам.

Рабочие эталоны массы изготавливают в виде отдельных гирь и в виде от 1 мг до 10 кг. В качестве материала для гирь служат платина, золото, никель, бронза или кварц.

В зависимости от назначения гири подразделяют на гири общего назначения, образцовые, условные, каратные, а также встраиваемые в рычажные механизмы различных типов весов.

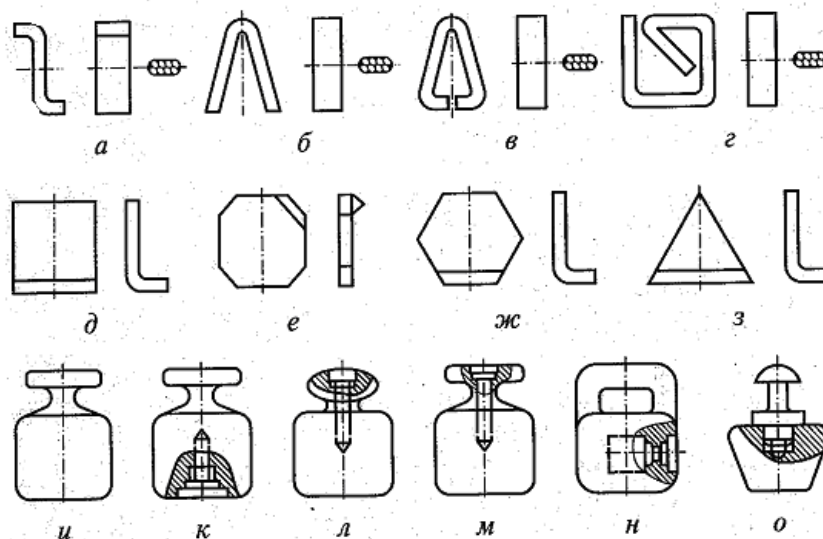


Рис. 3.3. Формы гирь общего назначения

Гири общего назначения массой от 1 мг до 20 кг изготавливают в соответствии с ГОСТ 7328-73. Гири выпускают пяти классов, отличающихся точностью воспроизведения значения массы.

Гири 1-го класса точности применяются для взвешиваний высшей точности при микрохимических, химических и других анализах. Предельные значения массы гирь этого класса от 1 мг до 1 кг, а допускаемые отклонения от номинального значения массы $[\Delta] = \pm (0,002 \dots 0,64)$ мг в зависимости от массы гири. Формы гирь представлены на рис. 3.3, а, б, в, г.

Гири 2-го класса точности применяются для взвешивания высокой точности при химических и других анализах. Изготавливают в пределах от 1 мг до 20 кг, $[\Delta] = \pm (0,01 \dots 50,0)$ мг. Формы гирь показаны на рис. 3.3, д, е.

Область применения гирь 3-го класса точности-технические анализы повышенной точности и взвешивание драгоценных металлов. Номинальная масса набора гирь - от 1 мг до 20 кг, $[\Delta] = 0,05 \dots 250,0$ мг. Формы гирь показаны на рис. 3.3, ж, з. Область применения гирь 4-го класса точности - технические анализы и взвешивание медикаментов. Номинальная масса гирь предусматривается в пределах от 5 мг до 20 кг, $[\Delta] = 0,5 \dots 1250$

мг в зависимости от массы отдельно взятой гири. Формы гирь представлены на рис. 3.3, *д, е, ж, з, и, к, л, м*.

Гири 5-го класса точности применяются для взвешивания в торговле и в хозяйстве. Набор номинальных масс предусматривает изменение гирь от 10 г до 10 кг, $[\Delta] = 40 \dots 3250$ мг. Формы гирь показаны на рис. 3.3, *н, о*.

Материал гирь общего назначения выбирается в зависимости от номинальной массы и класса гирь (титан и его сплавы, коррозионно-стойкая сталь аустенитного класса (немагнитная), алюминий, углеродистая сталь, чугун). Так, гири 1-го класса точности, изображенные на рис. 3.3, *а, б, в, г*, изготавливают из титана и его сплавов. Гири 4-го класса точности для форм, представленных на рис. 3.3, *д, е, ж, з*, изготавливают из алюминия, для форм, представленных на рис. 3.3, *и, к, л, м*, - из углеродистой стали, а для форм, представленных на рис. 3.3, *н, о*, - из чугуна.

Допускаемые отклонения массы гирь, находящихся в применении и погрешности определения массы гирь всех классов предусмотрены ГОСТ 7328-73. Граммовые и килограммовые гири, кроме форм, изображенных на рис. 3.3, *а и е*, изготавливают с подгоночной полостью.

Подгонка гирь по массе выполняется либо по подгоночной полости, либо за счет хромового или никелевого покрытия по всей поверхности гири.

Согласно ГОСТ 7328-73 гири могут выпускаться поштучно, отдельными наборами или комплектами, составленными из наборов.

Условное обозначение гирь и наборов состоит из букв, обозначающих единицу измерений (кг - килограмм, г - грамм, мг - миллиграмм), и чисел. Первое число после букв обозначает класс гири (набора), второе - массу гири или суммарную массу гирь в наборе, третье (в наборах миллиграммовых гирь) - массу наименьшей гири. Например:

«Гиря КГ-4-5 ГОСТ 7328-73» - килограммовая гиря 4-го класса точности массой 5 кг;

«Набор КГ-3-20 ГОСТ 7328-73» - набор килограммовых гирь 3-го класса точности массой 20 кг;

«Набор МГ-2-1100-1 ГОСТ 7328-73» - набор миллиграммовых гирь 2-го класса точности массой 1100 мг с наименьшей гирей массой 1 мг.

К гирям специального назначения относятся образцовые гири (ГОСТ 12656-67), условные гири, гири, встроенные в весы, и т. п.

Образцовые гири служат для поверки гирь и весов. ГОСТ 12656-67 устанавливает четыре разряда образцовых гирь (1, 2, 3, 4) и область их применения. Так, гири 3-го разряда применяют при поверке образцовых гирь 4-го разряда массой от 10 мг до 2000 кг, поверке гирь 4-го класса точности и поверке образцовых грузопоршневых и квадрантных весов. Гири 4-го разряда используют при поверке гирь 5-го класса точности, поверке условных гирь, безменов, весов настольных и конвейерных, циферблатных равноплечих и неравноплечих автомобильных, пружинных динамометров и др.

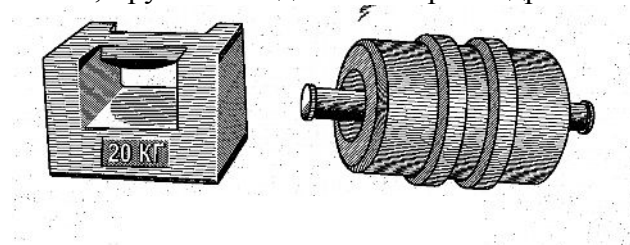


Рис. 3.4. Формы образцовых гирь

Форма, основные размеры и материал образцовых гирь определяются ГОСТ 7328-73. Некоторые формы образцовых гирь представлены на рис. 3.4. ГОСТ 12656-67 предусматривает поставку отдельных образцовых гирь, наборов миллиграммовых, граммовых и килограммовых гирь.

Условные гири предназначены для комплектации платформенных рычажных гириных весов общего назначения с отношением плеч рычажной системы 1:100.

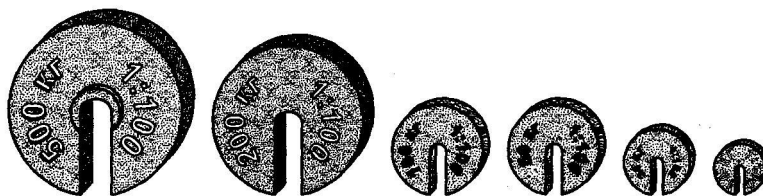


Рис. 3.5. Форма условных гирь

Условные гири (рис. 3.5) выпускаются с массой от 1 до 500 кг в соответствии с ТУ 25.06.1400-79. Гири изготавливают из серого чугуна. Внутри гирь предусматриваются подгоночные полости таких размеров, чтобы при ремонте гирь можно было досыпать тарировочный материал в количестве не менее 0,8% от номинальной массы гири. Тарировочным материалом служит чугунная дробь или стружка черных металлов. На верхней поверхности гирь указываются условная масса гири в килограммах и отношение номинальной массы к условной в цифровом выражении. Например: условная масса гири 500 кг, номинальная масса - 5 кг, отношение 1:100. Гири поставляются в комплектах.

Условное обозначение комплекта гирь содержит: слово «гири», буквы «ГУ», обозначающие, что гири имеют условную массу, номер комплекта и обозначение технических условий, по которым изготавливается и поставляется набор.

Например: «Гири ГУ-3 ТУ25.06.1400-78».

Основная литература: 1 [51 – 58], 5 [39 – 46]

Дополнительная литература: 8 [55 – 91]

Контрольные вопросы:

1. Что такое весы?
2. Как подразделяются весы в зависимости от принципа действия?
3. Что такое гиря?
4. Как подразделяются гири в зависимости от назначения?
5. Что включает в себя условное обозначение гири?

Лекция №4. Измерение и контроль геометрических величин

Средства измерения и контроля с механическим преобразованием. Средства измерения и контроля с механическим преобразованием основаны на преобразовании малых перемещений измерительного стержня в большие перемещения указателя (стрелки, шкалы, световые лучи и т.д.). В зависимости от типа механизма они делятся на рычажно-механические (рычажные), зубчатые, рычажно-зубчатые, пружинные и пружинно-оптические.

Рычажно-механические приборы применяют главным образом для относительных измерений, проверки радиального и торцового биения, а также для контроля отклонений формы деталей (отклонение от круглости – овальность, огранка; отклонение от цилиндричности — конусность, бочкообразность, седлообразность; отклонение от плоскостности — вогнутость, выпуклость и др.). К приборам с рычажной передачей относятся *м и н и м е т р ы*, конструкция которых основана на применении неравноплечего рычага (рис. 4.1, а). Конструктивное оформление миниметров весьма разнообразно.

Наиболее широко применяются миниметры с ножевыми опорами, одна из конструкций которой показана на рис. 4.1, б.

Измерительный стержень 4 перемещается по шариковым направляющим. Опорный конец указательной стрелки 1 имеет вид вилки, опирающейся своими концами —

ножами на призматические подушки, закрепленные на корпусе миниметра. Опорный нож 5 контактирует с плоской подушкой, закрепленной на торце стержня.

Регулировочный винт 2 служит для регулировки передаточного отношения, т.е. установки малого плеча a (рис.4.1, а) – расстояния между опорными ножками. Измерительное усилие в миниметре создается пружиной 3.

К рычажно-механическим приборам относятся индикаторные нутромеры (рис.4.2). Они предназначены для относительных измерений отверстий от 3 мм до 1000 мм. Они состоят из корпуса 11, отсчетного устройства 5 (индикатор), подвижного (измерительного) 13 и неподвижного (регулируемого) 9 стержней, равноплечего (Г-образного) рычага 8, центрирующего мостика 15 и подвижного штока 2. При измерении отверстия стержень 13, перемещаясь в направлении, перпендикулярном оси отверстия, поворачивает Г-образный рычаг 8 вокруг оси и перемещает на ту же величину шток 2 и измерительный наконечник индикатора 5. Перемещение стрелки индикатора указывает на отклонение действительного размера проверяемого отверстия от размера настройки нутромера. Установка индикатора на нуль осуществляется либо по установочному кольцу, либо по блоку концевых мер с боковиками, которые зажимаются в державке.

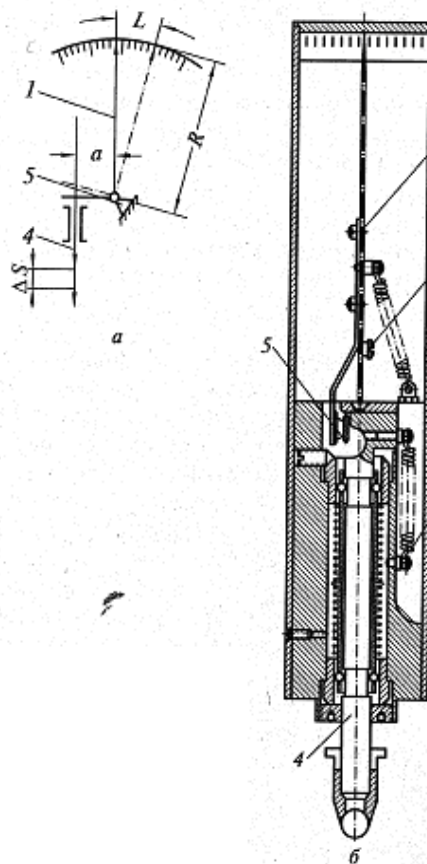


Рис. 4.1. Схема рычага (а) и конструкция (б) миниметра: 1 — указательная стрелка; 2 — регулировочный винт; 3 — пружина; 4 — измерительный стержень; 5 — опорный нож

Промышленность выпускает индикаторные нутромеры с ценой деления 0,01 (ГОСТ 868—82) и нутромеры с ценой деления 0,001 и 0,002 мм (ГОСТ 9244—75). В производственных условиях и измерительных лабораториях для абсолютных измерений нашли широкое применение индикаторы или индикаторные измерительные головки с **зубчатой передачей**.

Индикаторы часового типа (ГОСТ 577—68) (рис. 4.3), являющиеся типовыми представителями приборов с зубчатой передачей, содержат стержень 4 с нарезанной зубчатой рейкой 6, зубчатые колеса 2, 3, 5 и 7, спиральную пружину 1, стрелку 8. Возвратно-поступательное перемещение измерительного стержня 4 преобразуется в круговое движение стрелки 8.

Один оборот стрелки соответствует перемещению измерительного стержня на 1 мм. Целые миллиметры отсчитываются по шкале при помощи стрелки 9. Шкала прибора имеет 100 делений, цена деления индикатора равна 0,01 мм.

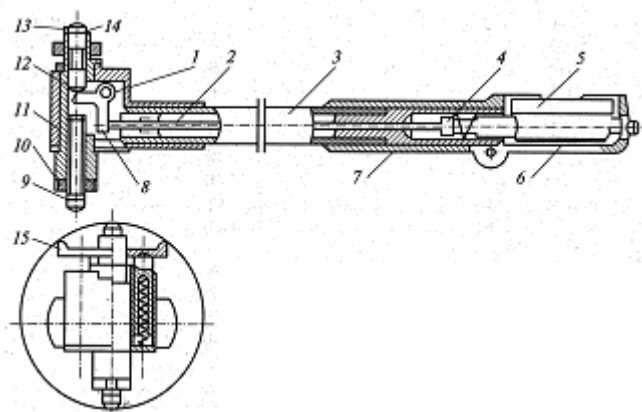


Рис. 4.2. Конструкция индикаторного нутромера: 1 — ось вращения рычага; 2 — шток; 3 — трубка; 4 и 14 — пружина; 5 — отсчетное устройство (индикатор); 6 — предохранительный кожух; 7 — теплоизоляционная рукоятка; 8 — Г-образный рычаг; 9 — неподвижный (регулируемый) стержень; 10 — контргайка; 11 — корпус; 12 — шарик; 13 — подвижный (измерительный) стержень; 14 — риска; 15 — центрирующий мостик

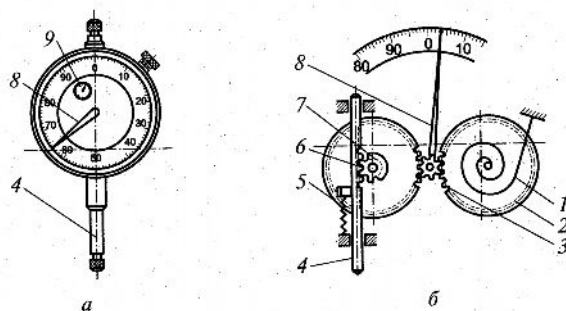


Рис. 4.3. Индикатор часового типа (а) и его схема (б):
1 — спиральная пружина; 2, 3, 5 и 7 — зубчатое колесо; 4 — стержень;
6 — зубчатая рейка; 8 и 9 — стрелка

ГОСТ 16497—80 предусматривает изготовление индикаторов линейных размеров со статистической обработкой результатов измерений, построенных на основе конструкции индикаторов часового типа по ГОСТ 577—68. Они предназначены для механизации вычислений при измерительных и контрольных операциях.

К приборам с *рычажно-зубчатой передачей* относятся рычажно-зубчатые измерительные головки, рычажные скобы, рычажные микрометры и т.д. Эти приборы предназначены для относительных измерений наружных поверхностей.

Рычажно-зубчатые измерительные головки (рис. 4.4) отличаются от индикаторов часового типа наличием наряду с зубчатой передачей рычажной системы, позволяющей увеличить передаточное число механизма и тем самым повысить точность измерений.

ГОСТ 5584—75 предусматривает выпуск рычажно-зубчатых индикаторов с ценой деления 0,01 мм с изменяемым положением измерительного рычага относительно корпуса.

Рычажные микрометры (ГОСТ 4381—80) аналогичны рычажным скобам и отличаются от них лишь наличием микрометрической головки для отсчета измеряемой величины в мм. Десятых и сотых долях мм.

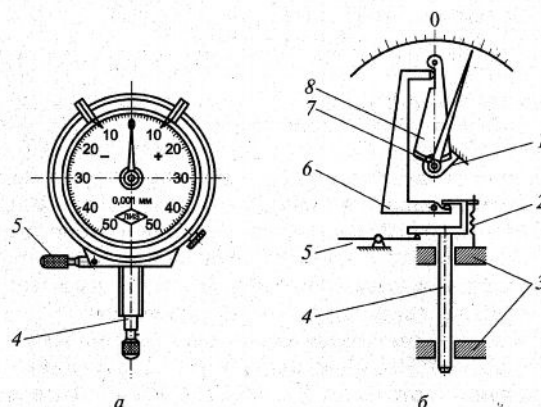


Рис 4.4. Рычажно-зубчатая измерительная головка (а) и ее схема (б): 1 - спиральная пружина; 2 - пружина; 3 - направляющие втулки; 4 - измерительный стержень; 5- арретир; 6 и 8 - рычаг; 7 - зубчатое колесо (триб)

Контроль калибрами. Для выполнения операций технического контроля в условиях массового и крупносерийного производства широко используют контрольные инструменты в виде калибров. *Калибры* — это тела или устройства, предназначенные для проверки соответствия размеров изделий или их конфигурации установленным допускам. Они применяются чаще всего для определения годности деталей с точностью 6... 17 квалитетов, а также в устройствах активного контроля, работающих по принципу «западающего калибра».

С помощью предельных калибров определяют не численное значение контролируемого параметра, а выясняют, выходит ли этот параметр за предельные значения или находится между двумя допустимыми. При контроле деталь считается годной, если проходная сторона калибра (ПР) под действием усилия, примерно равного массе калибра, проходит, а непроходная сторона калибра (НЕ) не проходит по контролируемой поверхности детали. Если ПР не проходит, деталь относят к бракованным с исправимым браком. Если НЕ проходит, деталь относят к бракованным с неисправимым браком.

Виды гладких калибров для цилиндрических отверстий и валов устанавливает ГОСТ 24851—81. В системе ИСО гладкие калибры стандартизованы ИСО-Р1938 —1971.

Стандарт предусматривает следующие гладкие калибры для валов и относящиеся к ним контрольные калибры:

ПР— проходной калибр-скоба;

НЕ— непроходной калибр-скоба;

К-ПР— контрольный проходной калибр для нового гладкого калибр-скобы;

К-НЕ — контрольный непроходной калибр для нового гладкого калибр-скобы;

К-И — контрольный калибр для контроля износа гладкого проходного калибр-скобы.

Для контроля отверстий предусмотрены:

ПР— проходной калибр-пробка;

НЕ— непроходной калибр-пробка.

Калибр-пробки для контроля отверстий. Применяют предельные калибр-пробки различных конструкций (ГОСТ 14807—69 — ГОСТ 14827—69). К ним относятся: пробки двусторонние с цилиндрическими вставками (рис. 4.5, а) и со вставками с коническим хвостовиком (рис. 4.5, б, в), пробки с цилиндрическими насадками (рис. 4.5, г), пробки полные (рис. 4.5, д, е), пробки неполные (рис. 4.5, з), пробки односторонние листовые (рис. 4.5, ж), шайбы неполные и шайбы полные (рис. 4.5, з).

Предпочтение отдают односторонним предельным калибрам. Они сокращают время контроля изделий и расход материала.

Калибр-скобы для контроля валов. Применяют предельные и регулируемые калибр-скобы (ГОСТ 18358-73 — ГОСТ 18369-73). К предельным калибрам-скобам относятся: скобы листовые односторонние и двусторонние; скобы штампованные односторонние, двусторонние и односторонние с ручкой.

Регулируемые калибр-скобы (рис. 4.6) позволяют компенсировать износ и могут настраиваться на разные размеры, относящиеся к определенным интервалам. Однако по сравнению с нерегулируемыми скобами они имеют меньшую точность и надежность и обычно применяются для контроля размеров с допусками не точнее 8 квалитета точности.

По назначению предельные калибры подразделяют на рабочие, приемные и контрольные.

Рабочие калибры предназначены для контроля деталей в процессе их изготовления. Ими пользуются операторы и наладчики оборудования, а также контролеры ОТК завода-изготовителя.

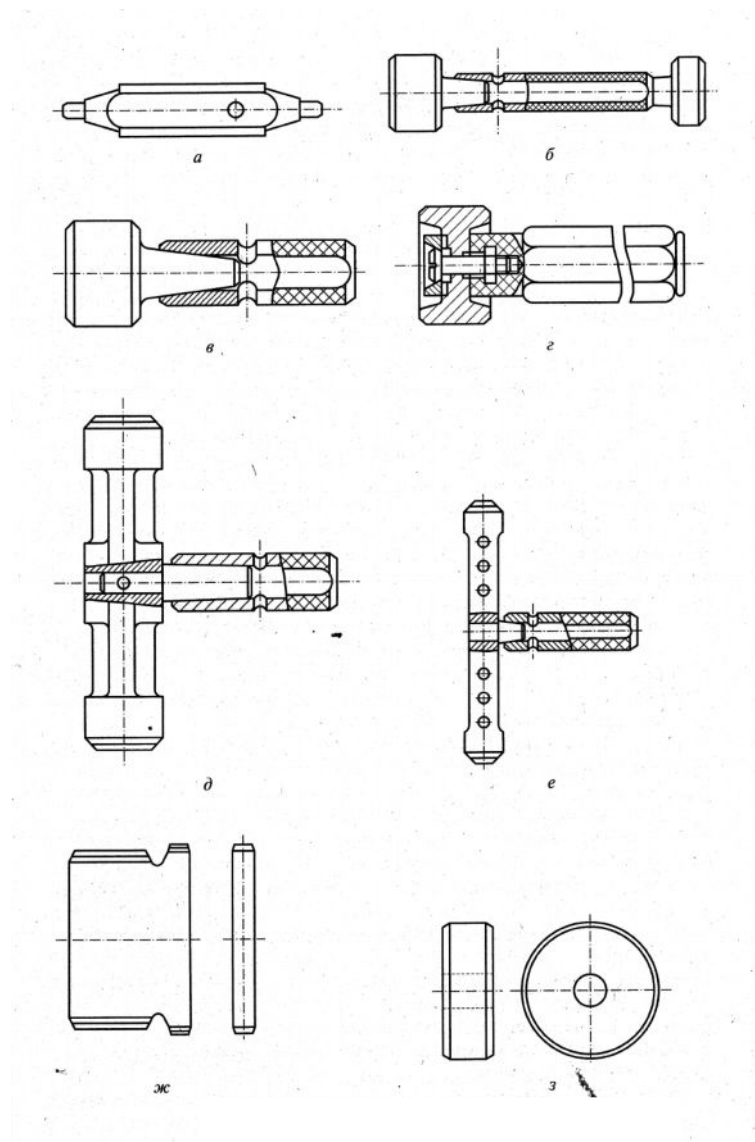


Рис. 4.5. Калибр-пробки

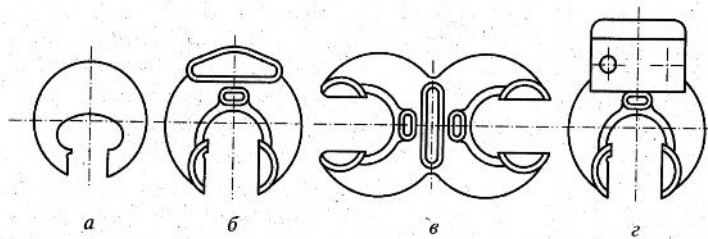


Рис.4.6. Калибр-скобы

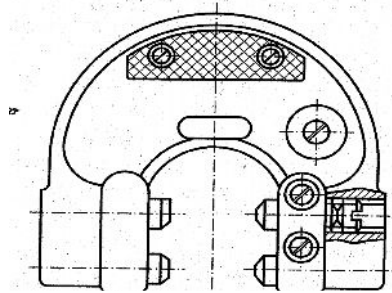


Рис.4.6. регулируемая скоба-калибр

Приемные калибры применяют для приемки деталей представителями заказчика. Для установки регулируемых калибр-скоб и контроля нерегулируемых калибр-скоб, а также для изъятия из эксплуатации вследствие износа применяют контрольные калибры (К-И), которые имеют форму шайб. Несмотря на малый допуск контрольных калибров, они все же искажают установленные поля допусков на изготовление и износ рабочих калибров, поэтому вместо них, по возможности, целесообразно применять концевые меры длины или универсальные измерительные приборы.

Технические требования на гладкие нерегулируемые калибры устанавливает ГОСТ 2015—84. Маркировка калибра предусматривает номинальный размер детали, для которого предназначен калибр, буквенное обозначение поля допуска изделия, числовые значения предельных отклонений изделия в миллиметрах (на рабочих калибрах), тип калибра (например, ПР, НЕ, К-И) и товарный знак завода-изготовителя.

Калибры для контроля глубин и высот уступов составляют особую группу. Конструктивно представляют собой ступенчатые пластины той или иной формы. ГОСТ 2534—77 предусматривает виды калибров с охватом размеров 1...500 мм 11...17 квалитетов точности. Калибрами определяют годность изделия по наличию зазора между соответствующими плоскостями калибра и изделия. Вместо проходной и непроходной сторон у этих калибров имеются стороны, соответствующие наибольшему (*В*) и наименьшему (*М*) предельным размерам изделия.

Основными методами контроля являются следующие методы: световой щели или на просвет, надвигания, осязания, по рискам.

От выбранного метода зависят и средства контроля:

- калибры для контроля на просвет
- калибры для контроля методом надвигания;
- калибры для контроля методом осязания;
- калибры для контроля по рискам.

Калибрами по методу на просвет контролируются допуски не менее 0,04... 0,06 мм. Минимальные допуски изделий, контролируемых ступенчато-стержневыми калибрами, составляют 0,03 мм, контролируемых по осязанию— 0,01 мм.

В системе ИСО предельные калибры для глубин и высот не стандартизованы.

Конусные калибры. Контроль наружных конусов выполняется конусными калибр-втулками, а контроль внутренних конусов — конусными калибр-пробками и. ГОСТ 24932—81 устанавливает виды и исполнения калибров для гладких конусов с отдельным нормированием каждого вида допуска с диаметрами в заданном сечении до 200 мм, конусностью от 1:3 до 1:50, допусками диаметров 6... 12 квалитетов, допусками углов конусов 4... 9 степеней точности.

Примеры обозначения:

- калибр-втулки 40 4-й и 5-й степени точности— « Втулка 40 АТ4, ГОСТ 20305-80»;

- контрольной калибр-пробки 60 6-й и 7-й степени точности — «Пробка 60-К АТ6, ГОСТ 20305-80».

Калибры для контроля расположения поверхностей. Допуски, методика расчета исполнительных размеров и общие указания по применению калибров для контроля расположения поверхностей установлены ГОСТ 16085—80. Он распространяется на калибры неразъемной конструкции, предназначенные для контроля поверхностей (их осей или плоскостей симметрии) с зависимыми допусками расположения, а также для контроля прямолинейности оси при зависимом допуске формы.

Измерительные поверхности калибров расположения представляют собой композицию элементов, воспроизводящих совокупность поверхностей сопрягаемых деталей.

При этом размеры отдельных измерительных поверхностей выполняют по самому неблагоприятному для сборки размеру (по проходному пределу), а их относительное расположение или положение относительно базового элемента с очень высокой точностью выдерживают по указанным на чертеже изделия номинальным размерам.

Калибры контроля точности цилиндрических резьб. С помощью калибров применяют комплексный и дифференцированный (поэлементный) методы. Комплексный метод применяют для резьбовых деталей, допуск среднего диаметра которых является суммарным. Он основан на одновременном контроле среднего диаметра (d_2 (D_2)), шага (P), половины угла профиля ($a/2$), а также внутреннего (d_x (D_f)) и наружного (d (D)) диаметров резьбы путем сравнения действительного контура резьбовой детали с предельными.

При дифференцированном методе контроля отдельно проверяют внутренний Z) и наружный J диаметры, шаг P и половину угла профиля $a/2$ с помощью обычных гладких калибров и шаблонов.

Все виды калибров и контркалибров (всего 37 видов) для цилиндрических резьб (метрической, трапецеидальной, трубной и упорной) устанавливает ГОСТ 24939—81. Конструктивные размеры резьбовых калибров и их элементов регламентируют ГОСТ 18465-73 и ГОСТ 18466-73.

В комплект резьбовых калибров входят рабочие гладкие и резьбовые проходные и непроходные калибры, калибры и контркалибры (КПР, ПР, КПР-НЕ, КНЕ-ПР, КНЕ-НЕ, КИ-НЕ, У-НЕ, У-ПР) для проверки и регулирования (установки) рабочих резьбовых скоб и колец.

Комплексные проходные калибры. Точность размеров, формы и положения поверхностей у деталей с прямобочными шлицами, как правило, контролируют комплексными проходными калибрами (ГОСТ 24959-81, ГОСТ 24960-81): шлицевые втулки проверяют калибр-пробками, а шлицевые валы — калибр-кольцами. При необходимости производят также поэлементный контроль центрирующих и нецентрирующих диаметров, ширины впадин и шлицев специальными гладкими калибрами по ГОСТ 24961—81 — ГОСТ 24968—81.

Условное обозначение калибра состоит из наименования калибра («пробка» или «кольцо»), номера вида калибра, условного обозначения шлицевой втулки вала, для

которых предназначен данный калибр, степени точности калибра и обозначения стандарта.

Примеры обозначения:

- калибр-кольца 1-го вида 4-й степени точности для вала 50x2x9# по ГОСТ 6033-80 - «Кольцо 1-50x2x9⁴, ГОСТ 24969-81»;

- комплексного калибр-пробки 5-го вида 4-й степени точности для шлицевой втулки 50x2x9Н по ГОСТ 6033 — 80 — «Пробка 5-50x2x9Н/4 ГОСТ 24969-81».

Основная литература: 1 [69 – 79, 111 – 118], 5 [46 – 61]

Дополнительная литература: 8 [55 – 91]

Контрольные вопросы:

1. На чем основан принцип действия средств измерения и контроля с механическим преобразованием?

2. Каковы устройство и принцип действия индикатора часового типа?

3. Каковы устройство и принцип действия индикаторного нутромера?

4. Как настраивается на «0» рычажная скоба?

5. Что такое калибры и для каких целей они применяются?

Лекция №5. Измерение и контроль механических величин

Методы и средства измерения и контроля кинематических величин. Параметрами механического движения, подлежащими измерению на практике, являются перемещение, скорость и ускорение. Это кинематические параметры и они взаимосвязаны: зная перемещение и время перемещения, можно определить скорость и ускорение: скорость — перемещение/время (м/с); ускорение — перемещение/квадрат времени (м/с²). В свою очередь, по известному ускорению можно получить скорость и перемещение.

Диапазоны измеряемых скоростей и ускорений чрезвычайно велики. Условно их разбивают на поддиапазоны.

Параметры движения по характеру изменения во времени можно разбить на параметры поступательного, вращательного и колебательного движений.

Средства измерений и контроля, предназначенные для измерения линейных скоростей, называются *измерителями скорости*; средства для измерения и контроля угловых скоростей (частоты вращения) — *тахометрами*, а средства для измерения ускорений — *акселерометрами*. Большой класс средств измерений применяется для измерения параметров колебательного движения (вибраций). Если измеряются параметры вибраций машин, устройств, сооружений, то соответствующие средства называются *виброметрами*. Приборы, применяемые для измерения параметров движения земной поверхности, называются *сейсмографами*.

Методы и средства измерения и контроля линейных скоростей. Наиболее распространенные методы измерения линейных скоростей движущихся твердых тел: аэрометрический, компенсационный, термодинамический, корреляционный, доплеровский, электромагнитный, инерциальный и др.

Аэрометрический метод (рис. 5.1, а) основан на измерении скоростного (динамического) напора, функционально связанного со скоростью тела, движущегося в воздушной среде. Скоростной напор определяется манометрической коробкой 3 путем сравнения статического давления, образуемого при движении воздушной среды в приемнике статического давления 1 и приемнике полного давления 6. Результат сравнения показывается стрелкой 4 на отсчетном устройстве. Средства измерения, построенные на аэрометрическом методе, позволяют измерять скорость с погрешностью, не превышающей 2...3%.

Компенсационный метод (рис. 5.1, б) основан на автоматическом уравнивании полного давления p_n и давления P_k , развиваемым воздушным компрессором 1. В манометрическом реле 2 с двумя полостями, в одну из которых

поступает полное давление p_n , а во вторую — давление p_k . p_n и p_k уравниваются. Замыкание цепи двигателя 3, приводящего во вращение компрессор, происходит тогда, когда давление p_n больше p_k . При этом мембрана манометрического реле 2 прогибается влево. При замыкании и размыкании контактов частота вращения электродвигателя поддерживается такой, при которой обеспечивается равенство p_n и p_k .

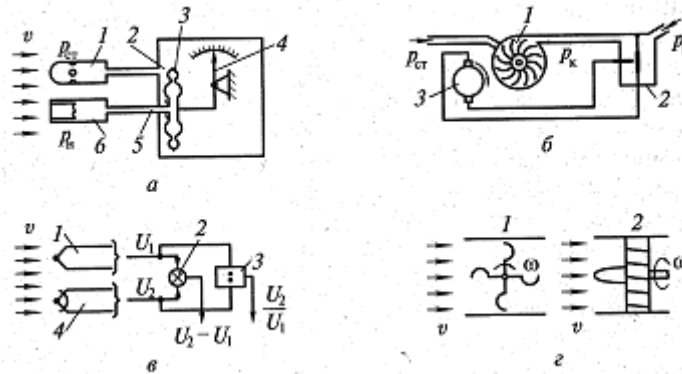


Рис. 5.1. Методы измерения и контроля линейных скоростей: *а* — аэрометрический (1 — приемник статического давления; 2 — корпус; 3 — манометрическая коробка; 4 — стрелка; 5 — трубопроводы; *б* — компенсационный (1 — воздушный компрессор; 2 — манометрическое реле; 3 — двигатель); *в* — термодинамический (1 — открытая термопара; 2 — сумматор; 3 — делитель; 4 — экранированная термопара); *г* — турбинный (1 — тангенциальная турбинка; 2 — аксиальная турбинка)

Термодинамический метод (рис. 5.1, *в*) основан на измерении температуры заторможенного потока воздушной среды с помощью открытой термопары 1 и экранированной термопары 4 (либо других преобразователей температуры). Разность сопротивлений этих термопар улавливается сумматором 2 и делителем 3. Для реализации этого метода необходимы малоинерционные измерители температуры. Погрешности средств измерений скоростей по этому методу обусловлены непостоянством параметров преобразователей температуры (1 и 4).

В турбинном методе (рис. 5.1, *г*) используется кинетическая энергия воздушного или водного потока для вращения тангенциальной 1 или аксиальной 2 турбинки. Частота вращения турбинки будет пропорциональна скорости движения. Средства измерений в виде аксиальной турбинки нашли широкое применение при измерении скорости морских кораблей.

Методы и средства измерения и контроля скоростей вращения, нашедшие наиболее широкое распространение в технике: центробежные, магнитоиндукционные, электрические (постоянного и переменного тока), индукционные и стробоскопические.

Центробежный метод характерен тем, что чувствительный элемент реагирует на центробежную силу, развиваемую неуравновешенными массами вращающегося вала. Этот метод реализуется в коническом и кольцевом тахометрах.

В коническом тахометре (рис. 5.2. *а*) на шарнирах, вращающихся вместе с осью, установлены грузики m , которые под действием центробежных сил расходятся, перемещая вдоль оси муфту 1 и сжимая пружину 2. Изменение положения муфты 1 регистрируется показывающим элементом тахометра — стрелкой.

В кольцевом тахометре (рис. 5.2, б) при невращающейся оси 2 ($\omega = 0$) плоскость кольца наклонена по отношению к оси на определенный угол.

При вращении кольцо стремится занять положение, перпендикулярное оси вращения, и вызывает перемещение муфты 1 и стрелки отсчетного устройства.

Центробежные тахометры нередко применяются в качестве преобразователей в регуляторах частоты вращения.

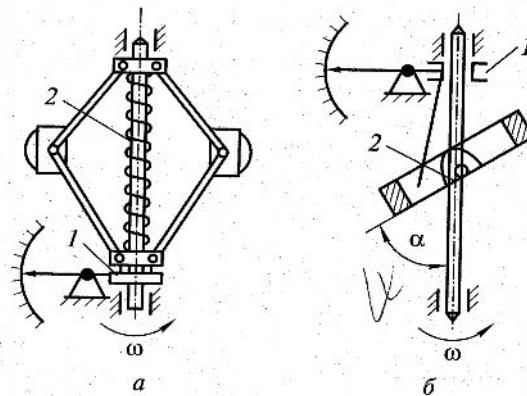


Рис.5.2. Центробежные тахометры: а – конический (1-муфта, 2-пружина) б- кольцевой (1-муфта, 2-невращающаяся ось)

Недостатком этих средств измерения является отсутствие дистанционности, значительные погрешности и технологические трудности в изготовлении и регулировании.

Магнитоиндукционный метод основан на зависимости наводимых в металлическом теле вихревых токов от частоты вращения. Тахометры, построенные на этом методе, выполняются в двух вариантах: с цилиндрическим чувствительным элементом (рис. 5.3, а) и дисковым чувствительным элементом (рис. 5.3, б). Основной частью магнитоиндукционного тахометра является измерительный узел, который состоит из постоянного магнита 1 и чувствительного элемента 2, выполненного в виде полого цилиндра или диска. Обычно постоянный магнит имеет частоту вращения, которую необходимо измерить, а чувствительный элемент, выполненный из металла с большим удельным сопротивлением, удерживается от вращения спиральной пружиной. В целях уменьшения температурной погрешности от непостоянства магнитной индукции в зазоре применяют термомагнитный шунт 3.

Магнитоиндукционные тахометры выполняются со шкалами, проградуированными в c^{-1} (типа ТЭ) и с процентными шкалами (типа ИТЭ).

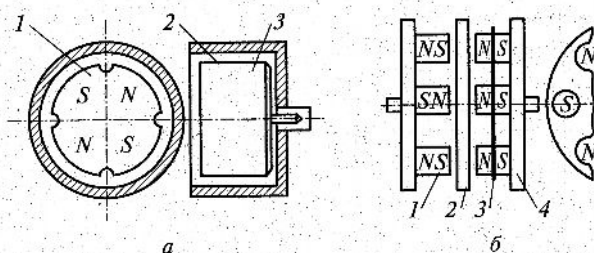


Рис. 5.3. Магнитоиндукционные тахометры: а — с полым ротором; б — с диском; 1 — постоянный магнит; 2 — чувствительный элемент; 3 — термомагнитный шунт; 4 — магнитопровод

Тахометр типа ИТЭ состоит из собственно тахометра (измерительного узла) и синхронной передачи переменного тока переменной частоты. Передача включает синхронный генератор трехфазного тока и синхронный двигатель с синхронным запуском.

Конструктивно тахометр выполнен в виде преобразователя и указателя.

Электрический метод измерения основан на зависимости генерируемого напряжения от частоты вращения (для постоянного, переменного и импульсного тока), а для переменного и импульсного тока — на зависимости частоты тока от частоты вращения.

Электрические тахометры постоянного тока (рис. 5.4) включают в себя тахогенератор постоянного тока и гальванометр. Тахогенераторы бывают двух типов: с ограниченным и неограниченным углом поворота ротора.

Тахогенератор с ограниченным углом поворота ротора (см. рис. 5.4, а) выполняется с неподвижной статорной обмоткой, внутри которой помещается постоянный магнит, связанный с валом, скорость вращения которого измеряется. Такие тахогенераторы применяются в качестве преобразователей угловой скорости и скоростной обратной связи в системах управления. Достоинство такого тахогенератора — отсутствие коллектора и щеток.

Основными элементами тахогенератора с неограниченным углом поворота (см. рис. 5.4, б) являются постоянный магнит 1 с соответствующими магнитопроводами, обмотка якоря 2 и коллектор со щетками 3. Снимаемое с коллектора напряжение постоянного тока измеряется гальванометром.

В тахометрах переменного тока тахогенератор состоит из вращающегося постоянного магнита и статорной обмотки. Измерение угловой скорости ω сводится к измерению частоты переменного тока, равной частоте вращения или к измерению амплитуды напряжения. Первый способ более предпочтителен, так как частота вращения равна частоте переменного тока. Среди тахометров переменного тока особое место занимают индукционные тахометры (рис. 5.5).

Тахогенератор такого прибора представляет собой электрическую машину асинхронного типа, состоящую из внешнего 1 и внутреннего 2 магнитопроводов, в зазоре между которыми располагаются статорная обмотка 3, состоящая из обмотки возбуждения и сигнальной обмотки, и алюминиевый тонкостенный ротор 4, выполненный в виде цилиндра. Оси обмоток (катушек) возбуждения и сигнальной взаимно перпендикулярны.

К обмотке возбуждения подводится переменное напряжение частотой 400 Гц, а с сигнальной обмотки снимается напряжение U_a той же частоты, амплитуда которого пропорциональна угловой скорости вращения полого ротора ω .

Индукционные тахометры, имея значительные погрешности, применяются только в качестве чувствительного элемента в системах управления.

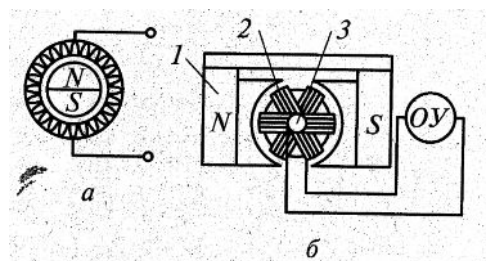


Рис. 5.4. Схемы электрических тахометров постоянного тока: а — тахогенератора с $\langle p \rangle < \phi_0$; б — тахогенератора постоянного тока; 1 — постоянный магнит; 2 — обмотка якоря; 3 — коллектор со щетками; ОУ — отсчетное устройство

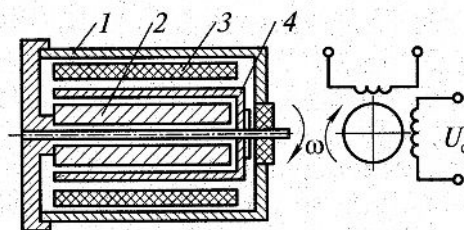


Рис. 5.5. Схема индукционного тахометра: 1 — внешний магнитопровод; 2 — внутренний магнитопровод; 3 — обмотка; 4 — ротор

Стробоскопический метод измерения угловой скорости основан на свойстве глаза сохранять видимое изображение на десятые доли секунды после его исчезновения. Средства измерения, построенные по этому принципу, являются наиболее точными из рассмотренных выше. Они нашли применение в лабораторных исследованиях, а также при создании образцовых средств измерений.

Для измерения линейных ускорений применяются инерциальный метод, метод дифференцирования скорости и метод двухкратного дифференцирования расстояния до неподвижной базы.

Инерциальный метод основан на измерении силы, развиваемой инерционной массой при ее движении с ускорением. Принцип действия средств измерений, реализующий инерциальный метод, состоит в следующем (рис. 5.6, а). Инерционная масса 1, связанная с корпусом прибора 4 с помощью пружины 2 и демпфера 5, может перемещаться в направлении оси 7, называемой *осью чувствительности*. Перемещение инерционной массы, пропорциональное измеряемому ускорению, преобразуется посредством резистивных, индуктивных или емкостных преобразователей 6 в электрический сигнал, который после усиления в усилителе У поступает на электромагнит 3. Последний создает усилие F , уравнивающее инерционную силу ma_x , т.е.

$$F = ma_x,$$

где a_x — ускорение.

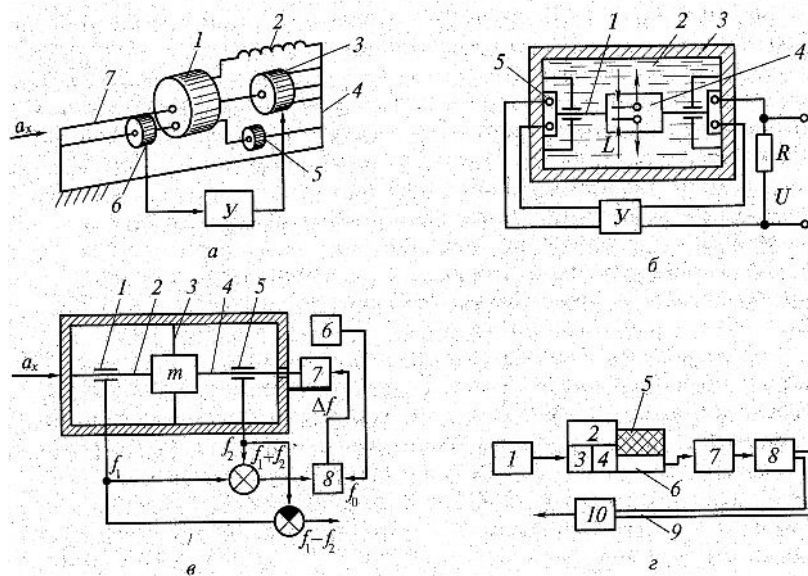


Рис.5.6. Средства измерения ускорений:

а- схема акселерометра (1-инерционная масса; 2-пружина; 3-электромагнит; 4-корпус прибора; 5-демпфер; 6-преобразователь; 7-ось; У-усилитель); б- схема маятникового акселерометра (1-подвеска; 2-жидкость; 3-корпус; 4-чувствительный элемент;)

Методы одно- или двухкратного дифференцирования сводятся соответственно к дифференцированию измеренных скорости или расстояния до неподвижной базы.

Требования к точности измерения ускорений определяются областью применения. Так, в инерциальных системах погрешности не должны превышать $\pm 0,001\%$. При

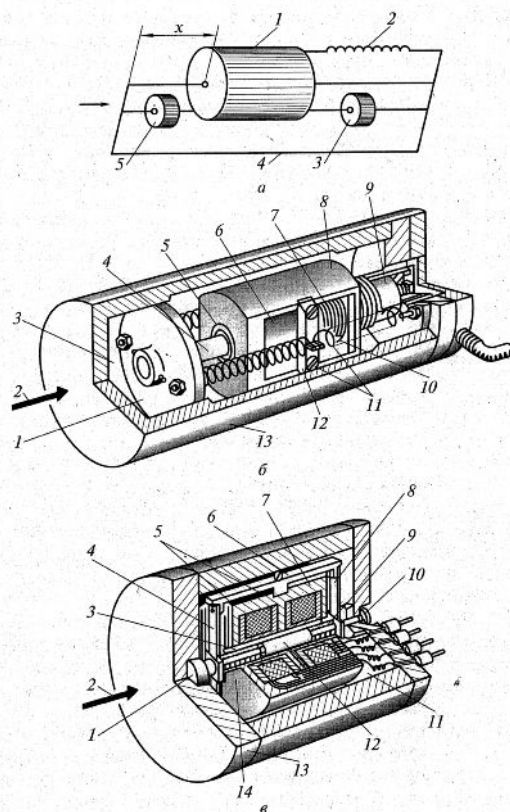
применении акселерометров в системах управления погрешности могут составлять $\pm(1...2)\%$. Погрешности средств измерения ускорений в машинах могут достигать $\pm 4\%$.

Методы и средства измерения вибраций. При измерении вибраций всегда участвуют три элемента: вибрирующее звено, исходное (невибрирующее) звено и устройство для измерения движения вибрирующего звена относительно невибрирующего. Средство измерения вибраций носит название *виброметр* (рис. 5.6, а). Обычно исходное (невибрирующее) звено создается с помощью массы, которая может перемещаться вдоль (или вокруг) оси вибраций. Масса 1 связывается с основанием прибора 4 с помощью пружины 2 и демпфера 3. Преобразователь 5 выдает сигнал смещения корпуса относительно массы 1 в зависимости от параметров массы 1, пружины 2 и демпфера 3. Сигнал может быть пропорциональным относительному перемещению массы 1 и основания прибора 4, относительной скорости или ускорению. Масса 1 виброметра носит название *сейсмического элемента*, а система, образующаяся из массы 7, пружины 2 и демпфера 3, — *сейсмической системы*.

Рассмотрим конструктивные схемы некоторых типов виброметров.

Рис. 5.6. Средства измерения вибраций:

а - конструкция виброметра (1 - масса; 2 - пружина; 3 - демпфер; 4 - основание прибора; 5 - преобразователь); б - конструкция электромагнитного линейного виброметра (1 - направляющий диск; 2 - ось чувствительности; 3 - жидкость; 4 - опорный стержень; 5 - втулка; 6 - постоянный магнит; 7 - обмотка; 8 - сейсмический элемент; 9 - каркас катушки; 10 - паз; 11 - воздушный зазор; 12 - пружинный мост; 13 - корпус прибора); в - конструкция виброметра с индуктивным мостом (1 - опорный стержень; 2 - входная ось; 3 и 9 - немагнитная втулка; 4 - пружина; 5 - катушки; 6 - лента; 7 - сейсмический элемент; 8 - пластинчатая пружина; 10 - паз; 11 - жидкость; 12 - якорь; 13 - корпус; 14 — шток)



Применяемые в настоящее время виброметры имеют электрический выход. В качестве преобразователей перемещения в электрический сигнал используют резисторные, индуктивные, емкостные, электромагнитные, микросинные и др.

На рис. 5.6, б представлена конструкция электромагнитного линейного виброметра с направляющей опорой для сейсмического элемента. Сейсмический элемент 8 установлен на опорном стержне 4 в вязкой жидкости 3. Направляющий диск 1 втулки 5 с малым трением позволяют перемещаться сейсмическому элементу вдоль оси чувствительности 2. Величина перемещения (вибрации) определяется наведением токов в обмотке 7, постоянным магнитом 6, закрепленным в сейсмическом элементе 8.

Виброметр этого типа при объеме 90 см^3 и весе 450 г обладает собственной частотой 10 Гц , чувствительностью $0,03 \text{ В}/(\text{см} \cdot \text{с}^{-2})$ и диапазоном входных смещений $\pm 0,5 \text{ см}$.

Виброметр с индуктивным мостом (рис. 5.6, в). Сейсмический элемент 7, представляющий собой цилиндр из магнитного материала с малым гистерезисом, выполняет функции якоря 12 и перемещается между двумя катушками 5 в свободном пространстве, заполненном вязкой жидкостью 11. Сейсмический элемент 7 установлен на опорном стержне 1 с немагнитными втулками 3 и 9 и связан с корпусом прибора 13 пружинами 4 и 8. Регистрация сигнала виброметра производится на осциллографе. Виброметр при объеме 45 см^3 весит 200 г . При питании напряжением 10 В 400 Гц он обладает чувствительностью $0,01 \text{ В}/(\text{см} \cdot \text{с}^{-2})$. Прибор работает в диапазоне измерения ускорений до $10g$.

Основная литература: 1 [118–144], 5 [61–78]

Дополнительная литература: 8 [55–91]

Контрольные вопросы:

1. Как называются средства измерения и контроля параметров механического движения?
2. Какие применяются методы измерения линейных скоростей, скоростей вращения?
3. Каковы принцип действия и устройство акселерометров?
4. На чем основан принцип действия виброметров?

Лекция №6. Методы и средства измерения и контроля температуры

Температурой называется статистическая величина, характеризующая тепловое состояние тела и пропорциональная средней кинематической энергии молекул тела. За единицу температуры принимается кельвин (К). Температура может быть также представлена в градусах Цельсия ($^{\circ}\text{C}$). Нуль шкалы Кельвина равен абсолютному нулю, поэтому все температуры по этой шкале положительные. Связь между температурами t по Цельсию и T по Кельвину определяется следующим уравнением:

$$t = T - 273,16.$$

Измерить температуру непосредственно, как, например, линейные размеры, невозможно. Поэтому температуру определяют косвенно — по изменению физических свойств различных тел, получивших название термометрических.

Для измерения температуры наибольшее распространение получили следующие методы, которые основаны:

- на тепловом расширении жидких, газообразных и твердых тел (термомеханический эффект);
- изменение давления внутри замкнутого объема при изменении температуры (манометрические);
- изменение электрического сопротивления тел при изменении температуры (терморезисторы);
- термоэлектрическом эффекте;
- использование электромагнитного излучения нагретых тел.

Приборы, предназначенные для измерения температуры, называются *термометрами*. Они подразделяются на две большие группы: контактные и бесконтактные.

Контактное измерение температуры. Термометры расширения нашли широкое распространение в практике контактных измерений температуры. Основные типы механических контактных термометров, их метрологические характеристики, преимущества, недостатки и область применения представлены в табл. 2.19 [1].

Жидкостные стеклянные термометры конструктивно делятся на палочные (рис. 6.1, *а*) и технический со вложенной шкалой (рис. 6.1, *б*). Принцип их действия основан на зависимости между температурой и объемом термометрической жидкости, заключенной в стеклянной оболочке. Жидкостный термометр состоит из стеклянной оболочки 1, капиллярной трубки 3, запасного резервуара 4 и шкалы 2. Термометрическая жидкость заполняет резервуар и часть капиллярной трубки. Свободное пространство в капилляре заполняется инертным газом или из него удаляется воздух.

В качестве термометрической жидкости применяют органические заполнители: толуол, этиловый спирт, керосин, пентан. Наиболее широкое распространение получили термометры с ртутным наполнением. Это объясняется свойствами ртути находиться в жидком состоянии в широком диапазоне температур и не смачивать стекло, что позволяет использовать капилляры с небольшим диаметром канала (до 0,1 мм) и обеспечивать высокую точность измерения. Так, ртутные образцовые термометры 1-го разряда имеют доверительную погрешность $\gamma - 2\alpha - (0,002... 2)^\circ\text{C}$.

Органические заполнители характеризуются более низкой температурой применения, меньшей стоимостью, большей погрешностью измерения.

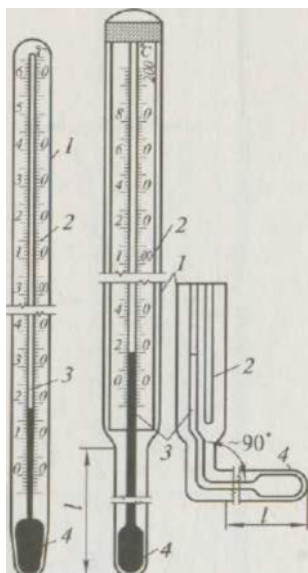


Рис. 6.1. Жидкостные стеклянные термометры:
а — палочный; *б* — технический со вложенной шкалой; 1 — стеклянная оболочка; 2 — шкала; 3 — капиллярная трубка; 4 — запасной резервуар

Стеклянные термометры в зависимости от назначения и области применения делятся на образцовые, лабораторные, технические, бытовые, метеорологические.

Лабораторные термометры обеспечивают измерение в интервале температур $0...500^\circ\text{C}$, который разбит на четыре диапазона, что позволяет получить погрешность измерений, не превышающую $\pm 0,01^\circ\text{C}$ ($0...60^\circ\text{C}$); $\pm 0,02^\circ\text{C}$ ($55... 155^\circ\text{C}$); $\pm 0,05^\circ\text{C}$ ($140...300^\circ\text{C}$) и $\pm 0,1^\circ\text{C}$ ($300... 500^\circ\text{C}$).

В качестве технических применяют только термометры с вложенной шкалой, которые имеют две модификации: прямые и угловые. Допускаемая погрешность обычно равна цене деления. При стационарной эксплуатации в различных точках технологических агрегатов термометры устанавливаются в специальных металлических защитных чехлах (кожухах).

Для обеспечения задач позиционного регулирования и сигнализации в лабораторных и промышленных установках применяются специальные электроконтактные технические термометры двух типов:

- с постоянными впаянными контактами, которые обеспечивают замыкание и размыкание электрических цепей при одной, двух или трех заранее заданных температурах;

- с одним подвижным контактом (перемещается внутри капилляра с помощью магнита) и вторым неподвижным, впаянным в капилляр, что обеспечивает замыкание и размыкание электрической цепи при любом значении выбранной температуры.

Перемещающаяся в капилляре ртуть замыкает или замыкает цепи между контактами, к которым подводится напряжение постоянного или переменного тока и нагрузка на которые не должна превышать 0,5 мА при напряжении не более 0,3 В.

Биметаллические и дилатометрические термометры основаны на свойстве твердых тел в различной степени изменять свои линейные размеры при изменении их температуры.

В основном металлы и их сплавы относятся к материалам с высоким температурным коэффициентом линейного расширения. Так, для латуни он равен $(18,3 \dots 23,6) \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, для никелевой стали $20 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. В то же время есть сплавы, имеющие низкий коэффициент линейного расширения: сплав инвар— $0,9 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, плавленый кварц— $0,55 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

На рис. 6.2, а представлена конструкция биметаллического термометра, в котором в качестве термочувствительного элемента используется двухслойная пластинка, состоящая из металлов с существенно различными коэффициентами линейного расширения: латуни 1 и инвара 2. При увеличении температуры свободный конец пластины будет изгибаться в сторону металла с меньшим коэффициентом, и по величине этого перемещения судят о температуре.

Данный тип устройств часто используется как термореле в системах сигнализации и автоматического регулирования, а также в качестве температурных компенсаторов в измерительных устройствах, например в радиационных пирометрах, манометрических термометрах и т.п.

На рис. 6.2, б приведена конструкция чувствительного элемента пневматического дилатометрического преобразователя температуры.

В корпусе 1, изготовленном из латуни (нержавеющей стали) расположены трубка 3 и стержень 2, выполненный из инвара (кварца). Стержень 2 через трубку 3 и толкатель 5 с помощью пружины 6 постоянно поджимается к нижнему концу корпуса 1. Шарик 4 исключает появление люфтов между стержнем и компенсационной трубкой, которая выполнена также из латуни и предназначена для исключения температурной погрешности при установке на объектах с различной толщиной тепловой изоляции.

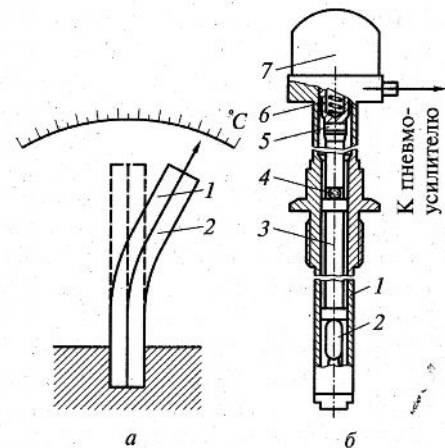


Рис. 6.2. Термометры:

а — биметаллический (1 — латунь; 2 — инвар); б — дилатометрический (1 — корпус; 2 — стержень; 3 — трубка; 4 — шарик; 5 — толкатель; 6 — пружина; 7 — преобразователь)

Изменение разности удлинений корпуса 1 и стержня 2, пропорциональное изменению температуры измеряемой среды, трансформируется в пневматический сигнал в преобразователе 7, усиливается и поступает на регистрирующий прибор.

Дилатометрические преобразователи выпускаются и с электрическим выходным сигналом. Класс точности устройств 1,5 и 2,5 с диапазоном измеряемых температур от -30 до 1000⁰С.

Жидкостные манометрические термометры (рис. 6.3) основаны на использовании зависимости между температурой и давлением термометрического вещества (газа, жидкости), заполняющего герметически замкнутую термосистему термометра. Термосистема состоит из термобаллона 4, капилляра 5 и манометрической одно-или многовитковой пружины 6. Капилляр 5 соединяет термобаллон с неподвижным концом манометрической пружины. Подвижный конец пружины запаян и через шарнирное соединение 7, поводок 3, сектор 2 связан со стрелкой прибора 1.

При изменении температуры среды изменяется давление термометрического вещества в замкнутом пространстве, в результате чего чувствительный элемент (манометрическая пружина) деформируется и ее свободный конец перемещается. Данное перемещение преобразуется в поворот регистрирующей стрелки относительно шкалы прибора.

В зависимости от термометрического вещества манометрические термометры делятся на газовые, конденсационные и жидкостные.

В *газовых термометрах* термобаллон, капилляр и манометрическая пружина заполняются каким-либо инертным газом (азотом, гелием и др.). Диапазон измерения весьма широк и лежит в пределах от критической температуры газа (азот -147°C , гелий -267°C) до температуры, определяемой теплостойкостью материала термобаллона.

В *конденсационных термометрах* насыщенные пары некоторых низкокипящих жидкостей (ацетон, метилхлорид, этилхлорид) меняют давление при изменении температуры. Диапазон измерения этих приборов от 0 до 400°C при погрешности измерений $\pm 1\%$.

В *жидкостных термометрах* термосистема заполнена хорошо расширяющейся жидкостью (ртутью, керосином, лигроином и др.). Диапазон измерения этих приборов от -30 до $+600^{\circ}\text{C}$ при погрешности измерений $+1\%$.

На показания манометрических термометров значительное влияние оказывают внешние условия: изменения температуры окружающего воздуха, различная высота расположения термобаллона и пружины, колебания атмосферного давления.

Класс точности манометрических термометров 1,0; 1,5; 2,5 и 4,0 при работе в интервале температур окружающего воздуха от $+5$ до $+50^{\circ}\text{C}$ и относительной влажности до 80% .

Манометрические термометры применяются для измерения температуры охлаждающей воды, воздуха, жидкого и газообразного топлива, на установках для заправки и т.п.

Термометры сопротивления. Термометр сопротивления состоит из чувствительного элемента в виде терморезистора, защитного чехла и соединительной головки.

Принцип действия чувствительного элемента основан на использовании зависимости электрического сопротивления вещества от температуры. В качестве материалов для их изготовления используют чистые металлы: платину, медь, никель и полупроводники. Платина является основным материалом для изготовления термометров сопротивления. В качестве чувствительного элемента в полупроводниковых термометрах сопротивления используют германий, окиси меди и марганца, титана и магния.

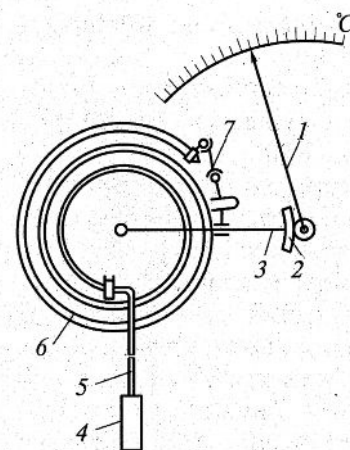


Рис.6.3. Конструкция манометрического термометра: 1 — стрелка; 2 — сектор; 3 — поводок; 4 — термобаллон; 5 — капилляр; 6 — пружина; 7 — шарнирное соединение

Для решения различных задач термометры сопротивления делятся на эталонные, образцовые и рабочие, которые в свою очередь подразделяются на лабораторные и технические.

Эталонные термометры сопротивления предназначены для воспроизведения и передачи шкалы МПТШ в интервале 13,81 ... 903,89 К. В качестве эталонных, образцовых и лабораторных приборов повышенной точности применяют платиновые термометры сопротивления.

Технические термометры сопротивления в зависимости от конструкции делятся: на погружаемые, поверхностные и комнатные; защищенные и не защищенные от действия агрессивной среды; стационарные и переносные; термометры 1-го, 2-го и 3-го класса точности и т.д.

Одна из конструкций промышленных термометров сопротивления, используемого для измерения температур жидких и газообразных сред, представлена на рис. 6.4, а. Термометр состоит из чувствительного элемента 5, расположенного в стальном защитном кожухе 3, на котором приварен штуцер 2. Провода 9, армированные фарфоровыми бусами 4, соединяют выводы чувствительного элемента 5 с клеммной колодкой 6, находящейся в корпусе головки 1. Сверху головка 1 закрыта крышкой 10, снизу имеется сальниковый

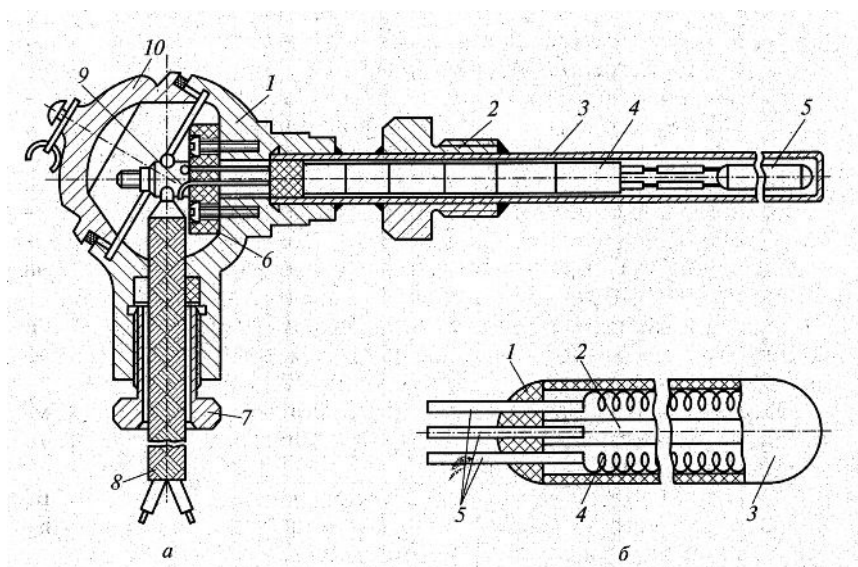


Рис.6.4. Термометр сопротивления:

а — конструкция термометра (1 — корпус головки; 2 — штуцер; 3 — защитный кожух; 4 — фарфоровые бусы; 5 — чувствительный элемент; 6 — клеммная колодка; 7 — сальниковый ввод; 8 — монтажный кабель; 9 — провода; 10 — крышка); *б* — конструкция его чувствительного элемента (1 — глазурь; 2 — пространство; 3 — каркас; 4 — платиновые спирали; 5 — выводы)

ввод 7, через который осуществляется подвод монтажного кабеля 8. Чувствительный элемент термометра сопротивления (рис. 6.4, б) выполнен из металлической тонкой проволоки толщиной 0,03... 0,1 мм с безиндукционной каркасной или бескаркасной намоткой. В качестве каркаса для платиновых термометров применяют плавленный кварц и керамику на основе окиси алюминия. В каналах каркаса 3 расположены четыре (или две) последовательно соединенные платиновые спирали 4. К верхним концам спиралей припаяны выводы 5, выполненные из платины или сплава иридия с радием. Пространство 2 между спиралями и каркасом заполнено порошком окиси алюминия. Крепление спиралей и выводов в каркасе производится глазурью 1.

Термоэлектрические термометры состоят из термопары, защитного чехла и соединительной головки, они основаны на термоэлектрических свойствах чувствительного элемента.

Сущность термоэлектрического метода заключается в возникновении электродвижущей силы в проводнике, концы которого имеют различную температуру. Для получения зависимости термо-эдс от одной температуры t_2 необходимо температуру t_1 поддерживать на постоянном уровне, обычно при 0 или 20°C. Спай, помещаемый в измеряемую среду, называют *горячим*, или *рабочим*, *концом* термопары, а спай, температуру которого поддерживают постоянной, — *холодным*, или *свободным*, *концом*.

Для увеличения чувствительности термоэлектрического метода измерения температуры в ряде случаев применяют термобатарей: несколько последовательно включенных термопар, рабочие концы которых находятся при температуре t_2 , а свободные — при известной и постоянной температуре t_1 .

В качестве термопар (ТП) наиболее часто применяются комбинации материалов, имеющих высокое значение развиваемой термоэдс, стабильность характеристик при различных температурах, воспроизводимость и линейную зависимость термоэдс от температуры, простоту технологической обработки и получения спаев, а именно: хромель-копелевые (ТХК), хромель-алюмелевые (ТХА), платинородий-платиновые (ТПП), вольфрам-рениевые (ТВР) и др. Наиболее точной является термопара ТПП, которая используется в качестве рабочих эталонов и образцовых термометров 1-го, 2-го и 3-го разряда.

На рис. 6.5 показана конструкция термоэлектрического термометра. Термопара 7 установлена в защитный кожух 6. В головке 2 термометра расположено контактное

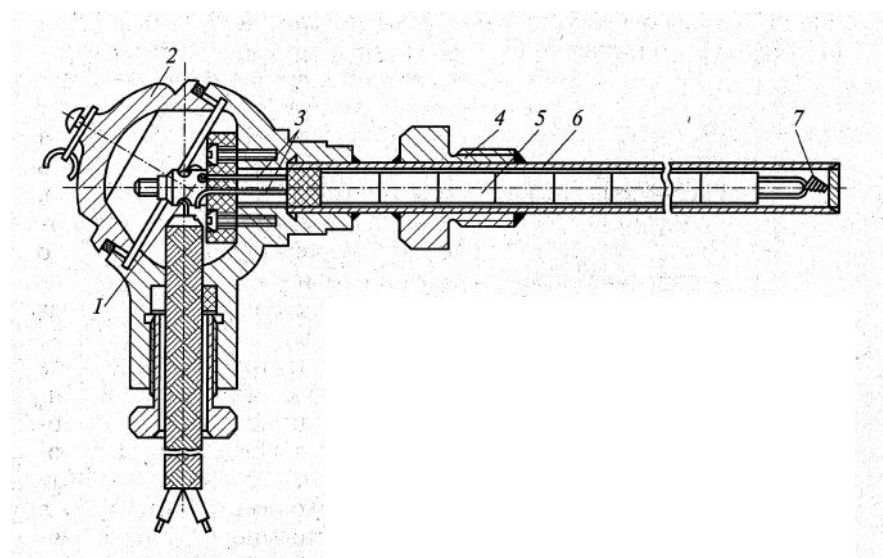


Рис. 6.5. Конструкция термоэлектрического термометра: 1 — контактное устройство; 2 — головка; 3 — термоэлектроды; 4 — штуцер; 5 — керамические трубки; 6 — защитный кожух; 7 — термопара

устройство 1 с зажимами для соединения термоэлектродов 3 с проводами, идущими от измерительного прибора к термометру. Термоэлектроды по всей длине изолированы друг от друга и от корпуса керамическими трубками 5. В качестве термоэлектродов используется проволока диаметром 0,3...0,5 мм. Спай на рабочем конце термопары 7 образуется сваркой, пайкой или скручиванием. Последний способ используется для вольфрам-рениевых и вольфрам-молибденовых термопар.

Бесконтактное измерение температуры. О температуре нагретого тела можно судить на основании измерения параметров его теплового излучения, представляющего

собой электромагнитные волны различной длины. Термометры, действие которых основано на измерении теплового излучения, называются *пирометрами*. Они позволяют измерять температуру в диапазоне от 100 до 6000 °С и выше.

Физические тела характеризуются либо непрерывным спектром излучения (твердые и жидкие вещества), либо избирательным (газы). Участок спектра в интервале длин волн 0,02...0,4 мкм соответствует ультрафиолетовому излучению, участок 0,4... 0,76 мкм — видимому излучению, участок 0,76...400 мкм — инфракрасному излучению. Интегральное излучение — это суммарное излучение, испускаемое телом во всем спектре длин волн.

Монохроматическим называют излучение, испускаемое при определенной длине волны.

На основании законов излучения разработаны пирометры следующих типов:

- суммарного (полного) излучения, в которых измеряется полная энергия излучения;
- частичного излучения (квазимонохроматические), в которых измеряется энергия в ограниченном фильтром (или приемником) участке спектра;
- спектрального распределения, в которых измеряется интенсивность излучения фиксированных участков спектра.

В пирометрах полного излучения оценивается не менее 90% суммарного потока излучения источника. При измерении температуры реального тела пирометры этого типа показывают не действительную, а так называемую радиационную температуру тела. Поэтому эти пирометры называют *радиационными*. При известном суммарном коэффициенте черноты тела возможен пересчет с радиационной температуры тела на его действительную температуру. Исходя из этого пирометры полного излучения удобно использовать при измерениях разностей температур в неизменных условиях наблюдения в диапазоне от 100...3500 °С. Основная допустимая погрешность в технических пирометрах возрастает с увеличением верхнего предела измерения температуры. Так, для 1000 °С — ±12%, для 2000 °С — ±20%.

В *радиационном пирометре* (рис. 6.6) лучи нагретого тела поступают на линзу 1, которая направляет их через диафрагму 2 на приемник излучения 3. Приемник излучения состоит из большого числа термопар (термобатарей), горячие спаи которых выполнены в виде секторных тонких пластинок. Сигнал с термопар, соединенных последовательно, подается на отсчетное устройство *ОУ*. Через окуляр 4 с фильтром 5 производится наведение пирометра на объект измерения.

Они подразделяются на электрические (термобатареи, болометры, тепловые индикаторы, пироэлектрические кристаллы), пневматические (детектор Голея) и оптические (жидкие кристаллы). Наибольшая чувствительность (10^5 В-Вт¹) у пневматических приемников. У электрических она составляет от 10^{-4} до 10^3 В-Вт¹.

Приемники полного излучения отличаются тем, что их спектральная чувствительность постоянна в широком диапазоне длин волн от дальней инфракрасной области к ближней ультрафиолетовой.

Пирометры полного излучения подразделяются на пирометры с преломляющей оптической системой и пирометры с отражающей оптической системой.

Пирометры частичного излучения работают в узком диапазоне волн, они называются *квазимонохроматическими пирометрами*. К данному типу пирометров относят оптические и фотоэлектрические пирометры. Разновидностями оптических пирометров являются пирометр «с исчезающей нитью», пирометр «с оптическим круговым клином», фотоэлектрические монохроматические пирометры.

Данный тип пирометров позволяет измерять температуры в интервале 700... 8000 °С. Основная допустимая погрешность измерения для интервала температур 1200... 2000 °С составляет ±20 °С.

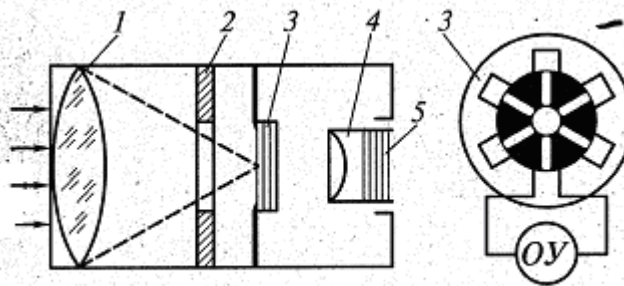


Рис. 6.6. Схема радиационного пирометра:
 1 — линза; 2 — диафрагма; 3 — приемник излучения; 4 — окуляр; 5 — фильтр; ОУ — отсчетное устройство

Пирометр с оптическим круговым клином. В нем яркостную температуру нити лампы накаливания поддерживают постоянной, а уравнивание яркостей осуществляется перемещением оптического клина, пропускающего больше или меньше света от объекта. По положению клина судят о яркостной температуре объекта излучения.

В фотоэлектрических пирометрах с пределами измерения $500\text{...}1100^\circ\text{C}$ применяют кислородно-цезиевый фотоэлемент, а в приборах со шкалой $800\text{...}4000^\circ\text{C}$ — вакуумный сурьмяно-цезиевый. Пределы допускаемой погрешности до 2000°C не превышают $\pm 1\%$.

Фотоэлектрические пирометры характеризуются малой инерционностью (до 10^{-3} с), поэтому их используют для регистрации быстропротекающих температурных процессов, а также для измерений температуры малых объектов.

Пирометры спектрального распределения измеряют цветовую температуру объекта по отношению интенсивностей излучения в двух определенных участках спектра. Основное преимущество таких пирометров заключается в независимости их показаний от излучательной способности объекта, а также от наличия дыма, пыли и испарений в пространстве между объектом и пирометром.

В *пирометрах сравнения* (рис. 6.7, а) отношение спектральных интенсивностей оценивается субъективно по цветовому ощущению, создаваемому смесью двух монохроматических пучков. Излучение от объекта измерения 1 через объектив 2, нейтральный оптический клин 3 и двойной светофильтр направляется к фотометрическому кубику 5. Двойной светофильтр 4 выполнен в виде двух клиньев (красного и зеленого), относительным перемещением которых можно изменять соотношение между интенсивностями красного и зеленого цветов. На фотометрический кубик поступает также излучение от лампы 9 через матовое стекло 10, красный и зеленый светофильтр 11 и объектив 12. Через окуляр 6 глаз оператора 8 видит два участка, соответствующих излучению от объекта измерения 1 и лампы 9, окрашенных смесью зеленого и красного цветов с различным соотношением их интенсивности. Взаимным смещением оптических клиньев двойного светофильтра 4 уравнивают соотношение излучения объекта измерения 1 и излучения лампы 9. Для уравнивания соотношения цветов необходимо равенство яркостей излучения объекта и лампы. Этого добиваются изменением положения нейтрального оптического клина 3. После уравнивания положения нейтрального клина определяют яркостную температуру, а положение одного из клиньев двойного светофильтра определяет цветовую температуру объекта.

Оператор, работающий с пирометром сравнения, должен обладать хорошим цветоощущением.

В *пирометрах спектрального отношения* (рис. 2.87, б) вводится модуляция светового потока. Световой поток от объекта измерения 1 прерывается обтюратом 4

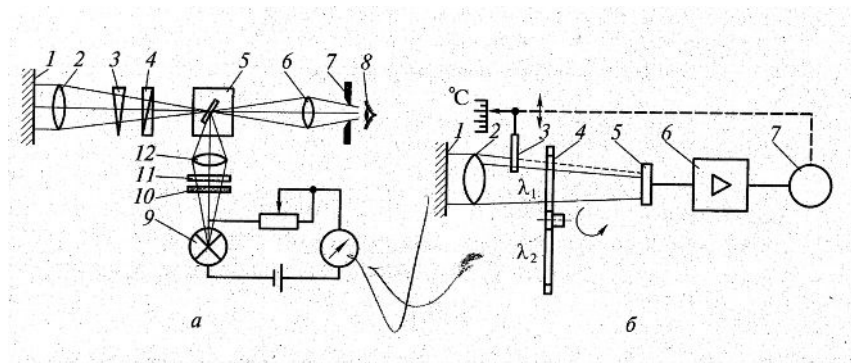


Рис. 6.7. Схемы пирометров спектрального распределения

с двумя светофильтрами, пропускающими излучение на двух длинах волн λ_1 и λ_2 к фотоэлементу

5. Переменная составляющая выходного сигнала фотоэлемента усиливается в усилителе 6 и подается на реверсивный двигатель 7, который перемещает уравнивающий фильтр 3 до тех пор, пока не уравниваются интенсивности излучения на обеих длинах волн. В положении равновесия перемещение фильтра 3 является мерой измеряемой температуры.

Основная литература: 1 [159–186], 5 [112–177]

Дополнительная литература: 8 [78–87]

Контрольные вопросы:

1. Что такое температура и какой единицей она оценивается?
2. Как работают контактные термометры расширения?
3. Что такое термометр сопротивления и каков принцип его работы?

Лекция №7. Измерение и контроль электрических и магнитных величин

Методика измерения в электрических цепях. Измерение постоянного и переменного напряжения. Измерение как постоянного, так и переменного напряжения может производиться непосредственно вольтметрами, рассчитанными для работы соответствующего типа напряжения. В тех случаях, когда необходимо измерить напряжение больше того, на которое рассчитан вольтметр, необходимо последовательно с ним включить добавочный резистор. Тогда часть измеряемого напряжения будет падать на добавочный резистор, а часть — на прибор. Подбирая величину сопротивления добавочного резистора, можно в широких пределах расширять возможности измерения больших напряжений. Если известно сопротивление вольтметра R_{np} и выбран коэффициент расширения пределов расширения:

$$n = \frac{U_x}{U_{np}}; \quad (7.1)$$

где U_x — максимальное напряжение на входе схемы, подлежащее измерению; U_{np} — максимальные пределы измерения непосредственно вольтметром.

Величина сопротивления добавочного резистора может быть найдена по следующей формуле:

$$R_{доб} = R_{np} (n - 1). \quad (7.2)$$

Обычно для удобства производства отсчетов коэффициент n выбирают кратным 2; 5 или 10.

Для измерения высоких переменных напряжений могут быть использованы так называемые измерительные трансформаторы напряжения.

Они представляют собой понижающие трансформаторы, т. е. такие, у которых число витков вторичной обмотки W_2 , к которой подключается вольтметр, меньше числа витков W_1 первичной обмотки. Коэффициент расширения пределов измерения $n = W_1/W_2$. Схемы подключения вольтметров для измерения напряжения приведены на рис. 2.101.

Измерение электродвижущей силы (эдс) E имеет свои особенности. При подключении вольтметра к источнику эдс для ее измерения через него всегда будет проходить ток, а так как любой источник эдс обладает внутренним сопротивлением $R_{вн}$, то напряжение на таком источнике

$$U = E - IR_{вн} \quad (7.3)$$

и вольтметр будет измерять величину меньшую, чем эдс E .

Если нет требований к высокой точности измерения эдс, то для уменьшения тока можно воспользоваться вольтметром с большим внутренним сопротивлением, например электронным. В этом случае можно считать, что измеренное напряжение $U = E$.

Измерение тока можно производить непосредственно амперметром, включенным в разрыв измеряемой цепи. При необходимости расширить пределы измерения амперметра необходимо параллельно амперметру включить резистор, который чаще всего называют просто *шунтом*. Тогда через амперметр будет проходить только часть тока, а остальная — через шунт. Так как сопротивление амперметров обычно небольшое, то для существенного расширения пределов измерения сопротивление шунта должно быть очень небольшим. Обычно это доли Ома. Существуют формулы для расчета сопротивления шунта, но обычно на практике приходится вручную подгонять его сопротивление, контролируя ток эталонным амперметром.

Для измерения больших переменных токов часто используют измерительные трансформаторы токов.

Совершенно по-иному производят измерение токов в электронных схемах, которые обычно спаяны, изготовлены на печатных платах; произвести какой-либо разрыв в них практически невозможно. Обычно для измерения токов в этих случаях используют вольтметры (обычно электронные с большим внутренним сопротивлением для устранения влияния прибора на работу электронной схемы), подключая их к резисторам схемы, величины которых либо известны, либо могут быть предварительно измерены. Воспользовавшись законом Ома, можно определить силу тока:

$$I = U/R. \quad (7.4)$$

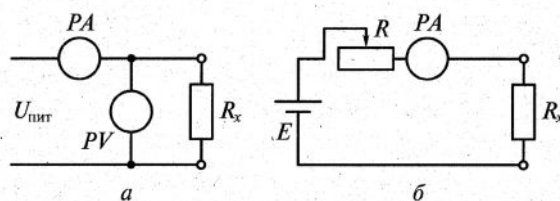


Рис. 7.1. Схема для измерения сопротивлений методом амперметра и вольтметра (а) и схема омметра (б)

Измерение сопротивлений. Часто при работе с электрическими установками или при наладке электронных схем необходимо производить измерение различных сопротивлений. Простейший способ измерения сопротивлений заключается в использовании двух измерительных приборов: амперметра и вольтметра. С их помощью

измеряют напряжение и ток в сопротивлении R , подключенном к источнику питания, и по закону Ома находят величину искомого сопротивления:

$$R = U/I \quad (7.5)$$

Однако этот способ измерения сопротивлений не позволяет получить результаты измерения с высокой точностью, так как на результаты измерения оказывают влияние собственные внутренние сопротивления амперметра и вольтметра. Так, на приведенной на рис. 7.1, а схеме амперметр измеряет не только ток, проходящий через сопротивление, но и ток, проходящий через вольтметр, чем вносится методическая погрешность измерений. Этим способом производят измерение обычно в тех случаях, когда нет специальных приборов — омметров. Одна из возможных схем омметра (рис. 7.1, б) — последовательная, она состоит из автономного источника питания E , переменного резистора R и миллиамперметра магнитоэлектрического типа PA . В качестве источника питания обычно используются сухие элементы или батареи напряжением 1,4...4,5 В. Если к выводам прибора подключить сопротивление R_x , величину которого необходимо определить, то по цепи пойдет ток, величина которого будет зависеть от величины сопротивления. Так как миллиамперметр измеряет этот ток, то его шкала может быть непосредственно отградуирована в омах. Шкала у такого омметра обратная, т. е. нуль находится в правой части шкалы, так как при сопротивлении на входе, равном нулю (режим короткого замыкания), через амперметр будет протекать максимальный ток. Если внешняя цепь разорвана, что соответствует бесконечно большому сопротивлению на входе, то стрелка миллиамперметра будет находиться в самой левой части шкалы, где стоит знак ∞ . Шкала такого омметра резко нелинейная, что в какой-то мере затрудняет считывание результатов. Переменный резистор омметра служит для установки прибора на нуль перед началом работы с ним. Для этого замыкают выводы омметра накоротко и, вращая ручку переменного резистора, добиваются нулевых показаний прибора. Так как эдс элемента питания с течением времени за счет разряда уменьшается, такую установку нуля необходимо периодически контролировать. С помощью подобных омметров можно измерять сопротивления от единиц Ом до нескольких сотен кОм.

Измерение больших сопротивлений до 100 МОм обычно производится с помощью мегомметров (рис. 7.2, а). В своем классическом виде он представляет собой комбинацию автономного источника питания и измерительного прибора — логометра. Логометр — разновидность магнитоэлектрического прибора, у которого вместо одной рамки имеются две, соединенные жестко между собой под некоторым углом.

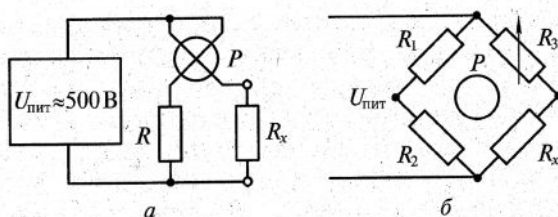


Рис. 7.2. Схемы мегомметра (а) и электрического моста (б)

Измерение малых сопротивлений (меньше 1 Ома), а также измерения других сопротивлений в широком диапазоне значений с высокой точностью могут проводиться с помощью электрических мостов.

Точность измерения с помощью мостов постоянного тока может быть очень велика. Результирующие значения сопротивлений могут иметь более пяти значащих цифр. В то же время мост не позволяет оперативно производить измерения, так как процесс балансировки требует определенного времени и навыка оператора.

Измерение емкостей. Определение емкости конденсатора или других устройств емкостного характера так же может осуществляться различными способами. Простейший из них — метод амперметра — вольтметра (рис. 7.3, а). Он во многом аналогичен такому же методу измерения сопротивлений, с той только разницей, что схема питается переменным синусоидальным напряжением от генератора низкой или высокой частоты (или от сети). Емкостное сопротивление конденсатора определяется по следующей формуле:

$$x_c = \frac{1}{2\pi fC}, \quad (7.6)$$

где f — частота переменного напряжения.

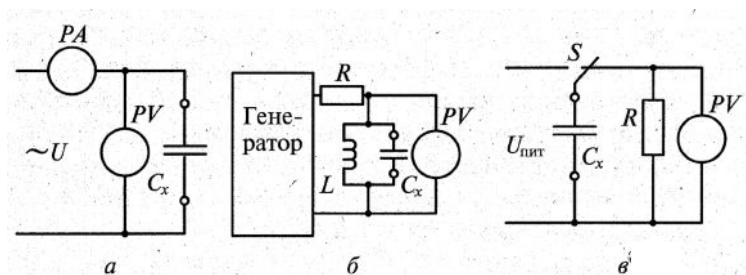


Рис.7.3. Схемы измерения емкости

Емкостное сопротивление находится по закону Ома по показаниям приборов

$$x_c = U/I \quad (7.7)$$

Измерение малых по величине емкостей удобнее производить методом резонанса (рис. 2.106, б). Измеряемый конденсатор C_x подключается к известной индуктивности L , образуя колебательный контур. На контур подается синусоидальное напряжение от генератора. С помощью электронного вольтметра измеряют напряжение на контуре. При резонансе оно достигает максимума. Известно, что резонансная частота контура может быть выражена следующей формулой:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_x}}. \quad (7.8)$$

Следовательно, при известной величине индуктивности в контуре и определенной по максимальным показаниям вольтметра частоте резонанса можно найти искомое значение емкости C_x .

Измерение больших емкостей (например, электролитических конденсаторов) проще всего производить путем разряда конденсатора на известное сопротивление R . Известно, что за время, равное постоянной времени цепи разряда конденсатора, его напряжение уменьшается в e раз, где $e = 2,71\dots$ — основание натурального логарифма. Постоянная времени цепи разряда конденсатора на резистор определяется соотношением

$$\tau = RC. \quad (7.9)$$

Схема измерения емкости этим методом (рис. 2.106, в) состоит из источника постоянного напряжения питания, известного по величине сопротивления резистора R , электронного вольтметра PV , переключателя S и клемм для подключения конденсатора. С помощью переключателя S конденсатор C_x заряжается до напряжения источника

питания, а после переключения конденсатора на разряд с помощью секундомера измеряют время t , по истечении которого конденсатор разрядится до напряжения U_{num}/e . Емкость конденсатора определяется по формуле

$$C = \frac{t}{R}. \quad (7.10)$$

Емкости конденсаторов можно измерять также с помощью мостов переменного тока.

Измерение мощности в электрических цепях удобнее рассматривать отдельно для цепей постоянного и переменного тока.

На постоянном токе основные формулы для определения мощности следующие:

$$P = UI;$$

$$P = U^2/R;$$

$$P = RI^2.$$

В соответствии с приведенными формулами мощность в каком-то сопротивлении нагрузки R можно измерить тремя способами: с помощью вольтметра и амперметра (рис. 7.4, *а*), только вольтметром (рис. 7.4, *б*) и только амперметром (рис. 7.4, *в*). Во всех случаях после снятия показаний с приборов необходимо провести математические расчеты для определения собственно мощности.

Этого можно избежать, если для измерения мощности воспользоваться специальным прибором ваттметром. Как правило, выпускаемые промышленностью ваттметры изготавливаются на базе ферродинамического прибора. У ваттметров имеются две обмотки и соответственно четыре вывода. Одна из обмоток является токовой, через нее проходит ток к нагрузке, расходуемая мощность в которой подлежит измерению, а вторая — обмоткой напряжения. Она подключается непосредственно к источнику питания.

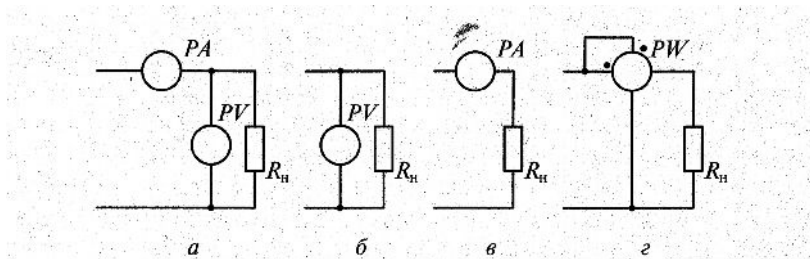


Рис.7.4. Схемы измерения мощности в цепях постоянного тока

Измерение мощности на переменном токе имеет свои особенности. Во-первых, здесь существуют три различные мощности:

- полная мощность

$$S = UI;$$

- активная мощность

$$P = UI \cos \varphi ;$$

- реактивная мощность

$$Q = UI \sin \varphi .$$

В этих формулах φ — угол сдвига по фазе между током и напряжением.

Чаще всего интересуются полной и активной мощностями. Знание полной мощности необходимо для расчета токов в нагрузке, выбора сечения проводов и предохранителей. Активная мощность важна потому, что именно она характеризует ту мощность, которая в нагрузке преобразуется в тепло, свет, звук и т.д.

Измерение полной мощности обычно производят, измеряя напряжение и ток вольтметром и амперметром и перемножая полученные значения. Активная мощность чаще всего измеряется с помощью ферродинамических ваттметров, которые кроме напряжения и тока учитывают и так называемый коэффициент мощности $\cos \phi$. При подключении обмоток ваттметра к нагрузке, так же как и при постоянном напряжении, ваттметр непосредственно произведет измерение активной мощности.

Методика измерения магнитных величин. Измерение магнитных величин в практике встречается реже, чем измерение электрических. К чисто магнитным величинам, с которыми приходится сталкиваться при разработке различных, в первую очередь электротехнических, изделий обычно относятся магнитная индукция B , магнитный поток Φ и напряженность магнитного поля H_m . Все эти величины связаны друг с другом функциональными зависимостями. Для вакуума и практически для воздуха соотношения между ними следующие:

$$B = \mu_0 H_m; \quad (7.11)$$

$$\Phi = s B, \quad (7.12)$$

где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м — магнитная постоянная; s — сечение (магнитопровода), через которое проходит магнитный поток.

Из-за функциональной связи магнитных величин достаточно экспериментально определить одну из них, а остальные могут быть определены расчетным способом. Существует большое число методов их измерения и различных, в большинстве случаев достаточно сложных, приборов для этих целей. Практически все они предварительно преобразовывают магнитные величины в электрические, а затем с помощью электрических приборов осуществляется их измерение.

Простейший прибор для измерения магнитной индукции — теслометр (рис. 7.5) представляет собой измерительную катушку, намотанную на рамке из немагнитного материала 1, укрепленную на валу электродвигателя 3, который вращает катушку со строго постоянной частотой.

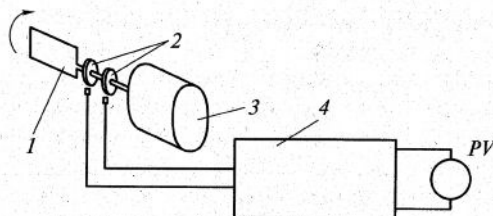


Рис.7.5. Схема прибора для измерения индукции: 1-рамка из немагнитного материала; 2-контактные кольца; 3-вал электродвигателя; 4-выпрямитель

Известно, что если через вращающуюся катушку проходит магнитный поток, то в ней наводится эдс, тем большая, чем больше этот магнитный поток. (На этом принципе работают практически все электрогенераторы.) Следовательно, по величине эдс в катушке можно судить о величине магнитной индукции B .

Для ее измерения на оси вала двигателя устанавливают контактные кольца 2. С помощью неподвижных щеток переменное напряжение с катушки поступает на выпрямитель 4, а с его выхода — на измерительный прибор, чаще всего магнитоэлектрической системы. Этот прибор может быть непосредственно отградуирован в величинах магнитной индукции. Диаметры измерительных катушек обычно лежат в пределах 1,5...25 мм. Катушки малого диаметра могут помещаться в довольно узкие воздушные зазоры магнитопроводов. При достаточной простоте рассмотренного прибора он имеет один крупный недостаток — наличие подвижных частей. Этого

недостатка лишен прибор для измерения магнитной индукции, использующий эффект Холла.

Для того чтобы понять принцип работы такого прибора, необходимо рассмотреть физику самого эффекта Холла (рис. 7.6, а). Если взять пластину, изготовленную из полупроводника типа *n*, (т.е. с электронной проводимостью) и к граням *a* и *b* приложить постоянное напряжение, то в цепи за счет движения свободных электронов полупроводника возникнет ток *I*. Если при этом через плоскость полупроводниковой пластины проходит магнитный поток, то он будет стремиться сдвинуть поток электронов в одну из сторон (*c* или *d* в зависимости от знака магнитного потока), что приведет к появлению эдс между гранями *c* и *d*. Величина этой эдс связана с магнитной индукцией *B* следующим соотношением:

$$E = R_x \frac{IB}{h} \quad (7.13)$$

где R_x — постоянная Холла, зависящая от материала полупроводника; *I* — ток в цепи между гранями *a* и *b*; *B* — магнитная индукция; *h* — толщина полупроводниковой пластины.

Если к пластине приложить переменное напряжение, то и на других гранях также появится переменная эдс, так как из-за изменения направления тока в пластине поток электронов в ней будет отклоняться в разные стороны.

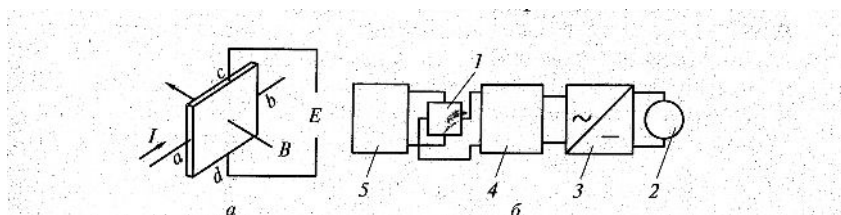


Рис.7.6. Эффект Холла (а) и измеритель магнитной индукции, основанной на эффекте Холла (б): 1-датчик Холла; 2-магнитоэлектрический индикатор; 3-выпрямитель; 4- усилитель переменного напряжения; 5-источник переменного напряжения питания

Упрощенная схема прибора на эффекте Холла приведена на рис. 2.113, б. Она включает источник переменного напряжения питания 5 (чаще всего частотой порядка 1000 Гц), датчик Холла 1, усилитель переменного напряжения 4, выпрямитель 3 и магнитоэлектрический индикатор 2. Так как толщина полупроводниковой пластины обычно не превышает 1 мм, то с помощью такого прибора можно определять магнитную индукцию в очень узких зазорах электрических машин.

При разработке новых электротехнических изделий, таких как электрические машины, трансформаторы, электромагнитные реле, бывает необходимо определить основные характеристики ферромагнитных материалов, используемых в этих изделиях. Аналогичные задачи возникают и при создании новых сплавов ферромагнитных материалов с новыми свойствами и более качественными характеристиками. Определение таких характеристик представляет собой непростой процесс, требующий подчас сложной и дорогостоящей аппаратуры. Наиболее доступный метод определения особо важной характеристики ферромагнитных материалов, которые используются в переменных магнитных полях, — основная кривая индукции. Для ее определения необходимо изготовить из материала, подлежащего исследованию, тороидальное кольцо и намотать на нем две обмотки. Одна из них — первичная — служит для создания магнитного потока в сердечнике в виде кольца (рис. 7.7). Если измерить ток *I* в этой

обмотке и зная число витков в ней W_1 , то можно определить значение амплитуды напряженности магнитного поля по формуле

$$H_m = \frac{\sqrt{2IW_1}}{l_{cp}}, \quad (7.14)$$

где I — действующее значение переменного синусоидального тока в первичной обмотке; l_{cp} — средняя длина магнитной линии магнитопровода.

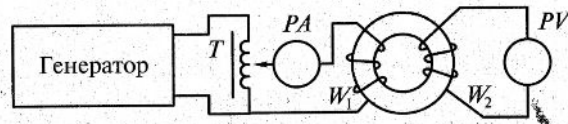


Рис. 7.7. Схема для снятия динамической кривой намагничивания

Для получения более точных результатов первичная обмотка наматывается равномерно по всей длине тороидального магнитопровода. Вторичная обмотка с числом витков W_2 располагается компактно на любом участке магнитопровода. Измерение напряжения на этой обмотке U_2 дает возможность определить максимальное амплитудное значение магнитной индукции в тороидальном сердечнике:

$$B_m = \frac{U_{2cp}}{4fW_2S}, \quad (7.15)$$

где U_{2cp} — среднее значение напряжения на вторичной обмотке; f — частота переменного напряжения; W_2 — число витков вторичной обмотки; S — сечение тороидального магнитопровода.

Схема для снятия описанной выше динамической кривой намагничивания приведена на рис. 7.7. В ней предусмотрен источник синусоидального напряжения, автотрансформатор для регулирования тока в первичной обмотке, тороидальный сердечник с двумя обмотками и два измерительных прибора: амперметр и вольтметр. Последние должны быть выбраны из тех соображений, чтобы амперметр измерял так называемое действующее значение силы тока, а вольтметр — среднее значение переменного напряжения. Так как в схеме используются только два прибора, то сам метод получил название метода амперметра и вольтметра. Частота генератора переменного напряжения выбирается примерно такой же, какая будет использоваться в изделиях из испытуемого материала. Если оно будет работать на промышленной частоте, то в качестве источника питания обычно используется промышленная (городская) сеть частотой в 50 Гц.

Процесс снятия характеристики заключается в последовательном увеличении тока в первичной обмотке и записи показаний амперметра и вольтметра. После пересчета этих значений в величины напряженности магнитного поля и магнитной индукции строят соответствующую зависимость $B_m=f(H_m)$, вид которой приведен на рис. 7.8. Полученные значения позволяют также определить абсолютное значение амплитудной магнитной проницаемости

$$\mu_m = \frac{B_m}{H_m}. \quad (7.16)$$

При необходимости аналогично можно построить используемую при различных расчетах зависимость $m_m=f(H_m)$.

Довольно часто при расчетах интересуются относительной магнитной проницаемостью, показывающей, во сколько раз магнитная проницаемость данного материала больше магнитной проницаемости вакуума:

$$\mu_r = \frac{\mu_m}{\mu_0}.$$

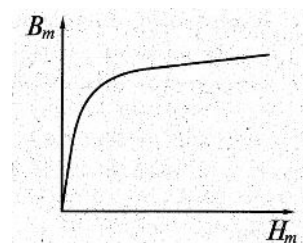


Рис.7.8. Динамическая кривая намагниченности

Исследование магнитных материалов иногда требует проведения измерений и других параметров, но они, в большинстве случаев, сложны, применяются только в специальных лабораториях с уникальной аппаратурой, создаваемой подчас в единичных экземплярах и потому описание этих методов можно найти чаще всего в литературе преимущественно физического профиля.

Основная литература: 1 [196 – 220], 5 [87 – 95]

Дополнительная литература: 5 [147 – 167]

Контрольные вопросы:

1. Какие существуют основные системы электроизмерительных приборов?
2. Чем отличается методика измерения напряжения от измерения электродвижущей силы?
3. Как подключаются добавочный резистор к вольтметру и шунт к амперметру для расширения пределов их измерения?
4. На каком принципе работает измерительный прибор для измерения магнитной индукции в воздухе?
5. В чем заключается принцип компенсационного метода измерения и где он применяется?

Лекция №8. Измерение величин оптического излучения

В качестве основных принципов светотехнических измерений, которые положены в основу измерения и построения многообразных средств измерения и контроля величин оптического излучения, рассматриваются физиологические и физические принципы.

Физиологические принципы светотехнических измерений. Электромагнитное излучение, как отмечалось выше, в диапазоне длин волн 370...770 нм оценивается фотометрически, т.е. в соответствии с физиологическим распределением чувствительности глаза человека.

Кроме чувствительности глаза в качестве физиологических принципов светотехнических измерений принимаются следующие: адаптация, контрастная чувствительность, инерция зрительного восприятия, ощущение яркости, цветовое ощущение, одновременный цветовой контраст и другие.

Явление адаптации глаза заключается в том, что различно окрашенные поверхности, которые кажутся одинаково светлыми адаптированному к свету глазу, различаются по яркости. Если она принимает значение ниже 3 кд/м², цветовое восприятие исчезает.

Критерием различимости светлое-темное является контрастная чувствительность. При наблюдении двух расположенных рядом полей, имеющих различные яркости, они только тогда воспринимаются, когда их разность достигает некоторой пороговой величины.

Инерция зрительного восприятия характерна тем, что глаз воспринимает кратковременные, периодические и следующие через длительные

интервалы времени световые стимулы. При чередовании световых стимулов возникает мерцание.

Ощущение яркости. Два одинаковых пучка, падающих на соседние участки сетчатки глаза, вызывают различное ощущение яркости. Эта субъективная яркость наибольшая при центральном положении пучка и имеет тенденцию к уменьшению с увеличением расстояния пучка от оси глаза.

Цветовое ощущение. Два одинаковых монохроматических пучка, падающих на соседние участки сетчатки глаза, вызывают различные цветовые ощущения, если световые пучки проходят через середину или край зрачка. Кроме того, различие цветовых ощущений зависит от длительности наблюдения.

Одновременный цветовой контраст — это зрительный контраст, который появляется, когда светлый объект на темном фоне кажется еще светлее, а один и тот же цвет имеет разные оттенки в зависимости от цвета окружающего его фона.

Физические принципы фотометрических измерений. Основными физическими принципами фотометрических измерений и построения фотоэлектронных преобразователей являются: внешний фотоэффект, внутренний фотоэффект, фотоэффект в фотоэлементах с запирающим слоем, терморезистивный эффект, термоэлектрический эффект и ряд других.

Внешний фотоэффект основывается на эмиссии фотонов. Свет, состоящий из отдельных фотонов, падает на светочувствительный слой металла (фотокатод). Каждый фотон имеет энергию:

$$E = h\nu, \quad (8.1)$$

где $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ Дж*с — постоянная Планка; ν — частота излучения.

Он вызывает выход электронов, энергия которых представляет собой начальную кинетическую энергию. Свободные электроны ускоряются положительным анодным напряжением по направлению к аноду с помощью источника напряжения 2 и вызывают во внешней цепи электрический ток, оцениваемый амперметром 7. Значение силы тока в этой цепи является мерой светотехнической входной величины.

Внешний фотоэффект используется в фотоэлементах и фотоумножителях.

Внутренний фотоэффект или эффект в полупроводниках основан на явлении фотопроводимости в полупроводниках и изоляторах (рис. 8.1, б). Фотоэлектроны, освобождающиеся при поглощении света (x_1 x_2), остаются в полупроводнике и формируют первичный ток. Они оставляют положительные пространственные заряды «дырки», собственная подвижность которых меньше подвижности фотоэлектронов. При заполнении положительного пространственного заряда электроны «впитываются» электродами 7 и 4. При появлении определенного количества «дырок» возникает вторичный фотопоток, который фиксируется амперметром 3.

При недостаточной подаче электронов фотопроводимость снижается и появляется фотоэлектрическая усталость, которая усиливается с возрастанием интенсивности падающего излучения и в зависимости от длины волны излучения.

Внутренний фотоэффект используется в фотоэлементах, фотодиодах, фототранзисторах и фоторезисторах.

Фотоэффект в фотоэлементах с запирающим слоем возникает в системе металл — полупроводник (рис. 8.1, в). Между материалом и полупроводником находится униполярно заряженный запирающий слой. При соприкосновении металла с полупроводником электроны переходят из проводящего слоя металла в полупроводник и накапливаются в акцепторах. В участке соприкосновения у металла наблюдается преобладание положительного заряда, а у полупроводника — преобладание отрицательного заряда. Это электрическое поле препятствует дальнейшему перемещению электронов и «дырок».

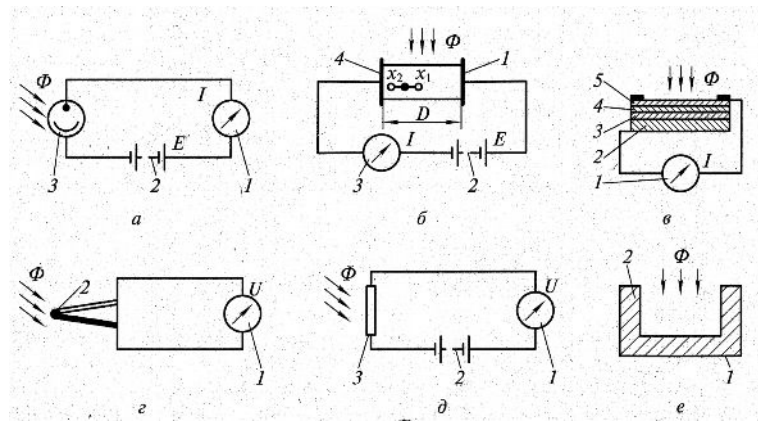


Рис. 8.1. Схемы физических принципов фотометрических измерений

При падении света на отрицательный запирающий слой возникают свободные фотоэлектроны. Они проходят через проводящий слой полупроводника к металлу и компенсируют положительный пространственный заряд. Возникающие одновременно «дырки» компенсируют отрицательный заряд в полупроводнике.

Полупроводник граничит другой стороной со слоем металла. Находящийся здесь запирающий слой не облучается и остается ненарушенным. Между нарушенным и ненарушенным запирающими слоями возникает фотонапряжение. Если пластина-основание и покровный слой соединены друг с другом, то во внешней цепи возникает электрический ток. Сила тока является мерой светового потока на входе системы.

Фотоэффект в фотоэлементах с запирающим слоем используется при изготовлении фотоэлементов с пределами измерений от 10 до 10^8 лм с чувствительностью 10^{-4} А/лм. Они имеют высокую инерционность (до 10^{-2} с).

Эффект термоэлектродвижущей силы. В термоэлектрических фотопреобразователях место контакта чернится, он поглощает падающее излучение. Возникающее в результате этого изменение температуры спая пропорционально падающему излучению. Неравенство температур мест соединения двух различных проводников, связанных в единый контур, вызывает разность потенциалов, которая может служить мерой разности температур, а следовательно, и величины излучения.

Терморезистивный эффект заключается в том, что падающее излучение нагревает тонкую металлическую проволочку или тонкую полоску металла. В результате изменяется электрическое сопротивление первичного измерительного преобразователя — болометра, что фиксируется вольтметром. Изменение сопротивления является характеристикой падающего излучения. Рассмотренный эффект применяется в фотоболометрах.

Световая энергия может быть использована для изменения оптической плотности (почернения) фотографических пленок и пластин (рис. 8.1, е). Фотографическая эмульсия пленок и пластин выполнена на основе бромистого серебра и желатина. При падении светового излучения зерна бромистого серебра разлагаются на серебро и бром. Частицы серебра после фотографического проявления становятся темными. Степень оптической плотности или почернения полученного таким путем негатива является мерой световой экспозиции, на которой основаны съемки кино-, фотоаппаратурой.

Визуальные методы и средства фотометрии. Все визуальные фотометрические измерения силы света, яркости, светового потока, освещенности и световой энергии основываются на визуальном сравнении видимых яркостей. Визуально невозможно

оценить абсолютное значение яркости. Визуально можно только установить, что две поверхности приблизительно одинаково яркие.

В общем существуют две разновидности визуальных методов: прямой метод и метод замещения. При реализации прямого метода измерения в визуальном фотометре предусмотрены два фотометрических поля (рис. 8.2, а). Яркость поля фотометра является функцией измеряемого параметра источника излучения X . Другое поле фотометра освещается образцовым источником излучения N с известными светотехническими параметрами. Яркости обоих полей фотометра воспринимаются визуально. Свет от источника излучения X изменяют при помощи компенсационного элемента до тех пор, пока глаз не увидит равнояркие фотометрические поля.

При реализации метода замещения кроме исследуемого источника излучения X и образцового излучателя N вводят дополнительный излучатель сравнения V (рис. 8.2, б). Сначала проводят фотометрическое сравнение потоков источников излучения X и V . Затем источник излучения X заменяют источником излучения N и проводят фотометрическое сравнение потоков излучения источников излучения N и V . Искомый светотехнический параметр источника излучения X определяют исходя из известных значений параметров источника излучения N и результатов сравнения потоков излучения.

Физические фотометрические методы и средства измерения и контроля светотехнических параметров. Все физические фотометрические методы измерения силы света, яркости, светового потока, освещенности и световой энергии основаны на определении освещенности в плоскости первичного измерительного преобразователя. При этом в физических фотометрах световая энергия преобразуется в другие формы энергии или в энергию химических реакций.

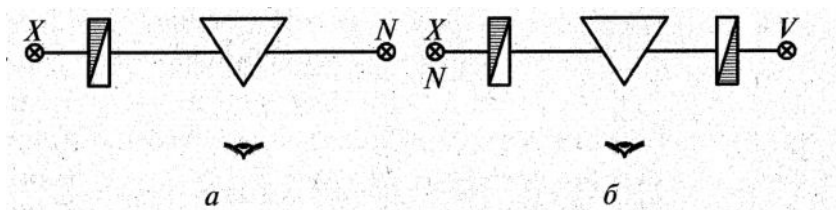


Рис.8.2. Схемы визуальных методов фотометрии: а-прямой метод; б- метод замещения

Различают метод прямого отсчета и компенсационный метод.

Метод прямого отсчета (рис. 8.3, а) характерен тем, что источники излучения X и N должны располагаться на одинаковом расстоянии от фотоэлектрического преобразователя 1. При этом на приемник попеременно направляются измерительный поток и поток сравнения.

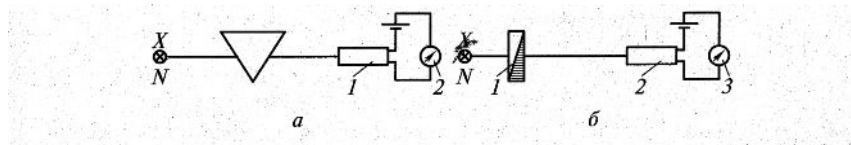


Рис.8.3. Схемы физических фотометрических методов измерения и контроля светотехнических параметров: а — прямого отсчета (1 — фотоэлектрический преобразователь; 2 — амперметр); б — компенсационного (1 — компенсационный элемент; 2 — первичный преобразователь; 3 —

Исходя из полученного соотношения значений освещенности и известных светотехнических параметров источника излучения N , находят искомое значение параметра источника излучения X . Если освещенности пропорциональны

соответствующим значениям силы тока, определяемого амперметром 2, то можно вместо отношения освещенности использовать отношение сил тока.

При реализации компенсационного метода (рис. 8.3, б) источники излучения X и N попеременно устанавливаются перед первичным преобразователем 2. При этом измеряемый поток и поток сравнения изменяются с помощью компенсационного элемента 1 таким образом, чтобы формируемые токи имели одинаковое значение.

Искомое значение светотехнического параметра источника излучения X определяется путем умножения известного параметра источника излучения N на соответствующий коэффициент.

К физическим фотометрическим средствам измерения светотехнических параметров относятся: «фотометрическая скамья» с кремниевым фотоэлементом (для измерения силы света), фотометр с фотоумножителем (для измерения яркости), прибор для измерения распределения силы света с кремниевым элементом, фотометрический шар с фотоэлементом (для измерения светового потока), люксметр с кремниевым фотоэлементом (для измерения освещения), прибор Льемта и Врена (для измерения световой энергии) и др.

Основная литература: 1 [223 – 241]

Дополнительная литература: 8 [167 – 186]

Контрольные вопросы:

1. Чем характеризуется оптический спектр электромагнитного излучения и каковы единицы его измерения?
2. Каковы основные принципы светотехнических измерений и их сущность?
3. Какие визуальные методы и средства фотометрии применяются в машиностроении?

Лекция №9. Измерение акустических величин

Средства измерения. Основным средством измерения акустических параметров в газовой (воздушной) среде являются микрофоны. По принципу действия их можно разделить на несколько групп. Простейшим из них является угольный микрофон (рис. 9.1). Основу его составляет угольный порошок, расположенный в капсуле микрофона. К порошку плотно прижата тонкая металлическая пластина — мембрана. Она находится в непосредственном контакте с порошком, и с ней связан один из выводов микрофона. Второй вывод располагается в задней части капсулы. Внутреннее сопротивление микрофона определяется сопротивлением угольного порошка в пространстве между мембраной и задним выводом. Звуковые волны вызывают колебания мембраны, оказывающей воздействие на угольный порошок, крупинки которого оказываются по-разному прижаты друг к другу. При этом изменяется внутреннее сопротивление микрофона в такт с приложенным к нему звуковым воздействием. Угольный микрофон может работать примерно до частот в 10... 12 кГц, но за счет хаотичных контактов крупинок угольного порошка его сопротивление так же хаотично меняется, что приводит к появлению «шума», который накладывается на полезный сигнал и ограничивает чувствительность микрофона.

Лучшими характеристиками обладает микрофон электродинамического типа (см. рис. 9.1). Он представляет собой постоянный магнит 7, в воздушный зазор которого помещена звуковая катушка 4, механически связанная с мембраной 5. Под воздействием звуковых волн колебания мембраны 5 передаются на звуковую катушку 4, в которой за счет перемещения в магнитном поле постоянного магнита возникает эдс. Величина эдс и ее частота определяются амплитудой и частотой звукового воздействия. В отличие от угольного микрофона электродинамический микрофон обратим, т. е. он может служить не только приемником звуковых колебаний, но и их источником. Для этого необходимо к звуковой катушке 4 приложить напряжение, тогда мембрана 5 будет колебаться частотой приложенного напряжения, вызывая звуковые волны.

На этом принципе работают практически все динамические головки (громкоговорители) в радиоаппаратуре и телевизорах. Только в них вместо мембраны используют диффузор, связанный с катушкой, который обычно изготавливается из плотного картона.

Конденсаторный микрофон (рис. 9.2, а) представляет собой конденсатор, у которого одна пластина не подвижна и укреплена на корпусе 1 микрофона, а вторая, изготовленная чаще всего из алюминия, является мембраной 3. Звуковые волны, воздействующие на мембрану 3, заставляют ее колебаться, изменяя расстояние между пластинами.

Как следствие, меняется емкость конденсатора в такт с приложенным к мембране 3 звуковым давлением. Пьезоэлектрический микрофон (рис. 9.2, б) основан на пьезоэффекте, согласно которому при деформации (изгибе) тонкой пластины, например из кварца или кристалла сегнетовой соли, на ее сторонах образуется разность потенциалов. При переменных механических воздействиях на пластину с нее можно снять переменное напряжение,

которое будет зависеть от амплитуды и частоты механических воздействий.

Такой микрофон представляет собой тонкую мембрану, воспринимающую звуковые волны, связанную с кварцевой пластинкой так, что колебания мембраны вызывают ее деформацию. Пьезоэлектрические микрофоны относятся к группе наиболее дешевых микрофонов, обладающих в то же время достаточно хорошими характеристиками. Они, в частности, хорошо работают в ультразвуковом диапазоне и так же, как и электродинамический микрофон, обратимы, т.е. могут применяться в качестве источников звука.

Для измерения звуковых волн в жидкой среде (например, воде) применяются гидрофоны, конструкция одного из которых приведена на рис. 9.3. Он, как и большинство других типов гидрофонов, работает с использованием пьезоэффекта. Пьезоэлемент 4 в нем выполнен в виде полусферы. Внешнее и внутреннее покрытия из напыленного металла образуют элементы съема эдс с пьезокерамики. С внешней стороны гидрофон для исключения влияния жидкости (воды) на работу пьезоэлемента покрыт тонким слоем резины 3. В некоторых типах гидрофонов внутренняя полость заполняется касторовым маслом 2, чтобы исключить деформацию пьезоэлемента 4 от статического давления среды, в которой он работает. Рассмотренная конструкция является практически всенаправленной, одинаково воспринимающей звуковое давление со всех сторон. В гидролокации используются приемники звука, работающие также с использованием пьезоэффекта, но имеющие определенную диаграмму направленности для определения направления на подводную цель (подводные и надводные суда, косяки рыбы, скалы и т.д.).

Для работы в области ультразвука находят широкое применение приемники и излучатели звуковых колебаний, работающие на принципе магнитострикции. Магнито-стрикция —

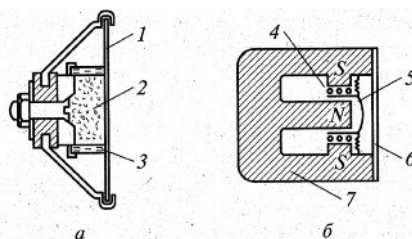


Рис.9.1. Угольный (а) и электродинамический (б) микрофоны: 1 и 5 – мембрана; 2 – угольный порошок; 3 – войлочное кольцо; 4 – звуковая катушка; 6 – защитная сетка; 7 – магнит

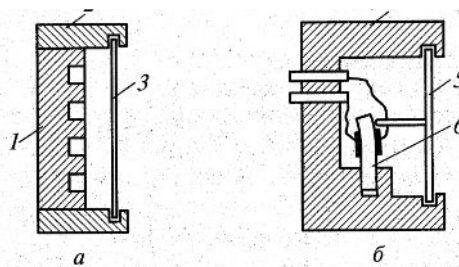


Рис.9.2. Конденсаторный (а) и пьезоэлектрический (б) микрофоны: 1 – корпус; 2 – изоляционная шайба; 3 и 5 – мембрана; 4 – корпус из изоляционного материала; 6 – пьезоэлемент

явление, связанное с изменением геометрических размеров изделий из некоторых металлов (основной из которых никель) под воздействием магнитного поля.

Если на стержень, изготовленный из никеля, намотать катушку и пропустить через нее ток, то под воздействием магнитного поля катушки длина стержня изменится. Если по катушке пропустить переменный ток, то и длина стержня будет совершать продольные колебания с частотой приложенного к катушке напряжения, тем самым создавая своим концом звуковые или ультразвуковые волны. Такая система в принципе обратима, т.е. если на стержень падает звуковая волна, то под действием переменного звукового давления

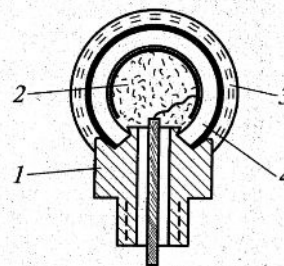


Рис.9.3. Конструкция гидрофона: 1-корпус; 2-касторовое масло; 3-резина; 4-пьезоэлемент

стержень начнет колебаться (то расширяясь, то сжимаясь), а это наведет в катушке, намотанной на стержне, переменную эдс той же частоты, что и звуковые колебания. Магнитострикционные генераторы и приемники ультразвуковых сигналов применяются в гидролокации, эхолотах, а также в радиоэлектронике для создания ультразвуковых линий задержки (используются в цветных телевизорах) и во многих других устройствах.

Методика проведения акустических измерений. Одним из основных и наиболее важных параметров, подлежащих измерению в акустике, является звуковое давление, измеряемое в паскалях (Па). При технических измерениях для этой цели служит микрофон. Для получения численных значений звукового давления используемый микрофон должен быть откалиброван, т. е. величина его выходного напряжения должна быть жестко связана со значениями звукового давления. Такая калибровка производится в специальных лабораториях, и она достаточно сложна. Так как напряжение на выходе микрофона может быть слишком мало для непосредственного измерения вольтметром, то в этих случаях напряжение с выхода микрофона подается на электронный усилитель со строго фиксированным коэффициентом усиления.

Скорость распространения звука в любой среде чаще всего определяется по времени прохождения импульса (кратковременной посылки) звука от его источника до приемника — микрофона. Измерение времени осуществляется электронными методами, широко используемыми в радиоэлектронике.

Зная расстояние от источника звука до приемного микрофона, можно определить скорость распространения звуковой волны.

Определение коэффициента отражения звуковой волны. Измеряют, посылая в сторону среды, отражение от которой должно быть измерено, кратковременный звуковой импульс, и с помощью приемника, расположенного рядом с источником звука, регистрируют уровень отраженного сигнала, возвратившегося от отражающей

поверхности (рис. 9.4). Если приемное устройство не зарегистрирует возвращение посланного импульса, то коэффициент отражения равен нулю. По силе отраженного сигнала можно судить об отражающей способности исследуемого материала, среды и т. п. Хотя теоретически такие измерения не представляют серьезных трудностей, на практике должны быть приняты специальные меры, исключаящие отражение сигналов от предметов, находящихся за

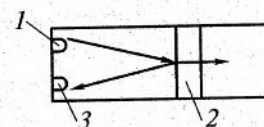


Рис.9.4. Определение коэффициента отражения: 1-источник звука; 2-отражающий материал; 3-микрофон

средой, коэффициент отражения которой определяется. Кроме того, должно быть учтено ослабление сигнала на участке движения звуковой волны к измеряемой среде и обратно и многое другое.

Использование отраженных звуковых волн находит широкое применение в технике. Учитывается тот факт, что отражение звука происходит практически от границы раздела любых сред, имеющих различную плотность.

Так, если направить ультразвук на изделие из металла, внутри которого имеются полости (например, из-за брака отливок), то можно зафиксировать отражение от границ этой полости. На этом принципе построены ультразвуковые дефектоскопы. С их помощью проверяют качество ответственных изделий для авиации и космической техники. Отражение ультразвука происходит и от трещин в металлических изделиях, которые также можно диагностировать.

Основная литература: 1 [249 – 254]

Дополнительная литература: 8 [375 – 401]

Контрольные вопросы:

1. Какие основные приемники звуковых сигналов используются в акустических измерениях?
2. Каковы особенности слуха человека по восприятию звука?
3. Как измеряется скорость распространения звуковой волны?

Лекция №10. Методы и средства измерения и контроля давления

Широкое использование давления, его перепада и разрежения в технологических процессах вызывает необходимость применять разнообразные методы и средств измерения и контроля давления.

Методы измерения давления основаны на сравнении сил измеряемого давления с силами:

- давления столба жидкости (ртути, воды) соответствующей высоты;
- развиваемыми при деформации упругих элементов (пружин, мембран, манометрических и anerоидных коробок, сильфонов и манометрических трубок);
- тяжести грузов;
- упругими силами, возникающими при деформации некоторых материалов и вызывающими электрические эффекты.

В соответствии с указанными методами средства измерения параметров давления можно разделить на жидкостные, деформационные, грузопоршневые и электрические.

Средства измерения давления подразделяются на барометры (для измерения атмосферного давления), манометры (для измерения избыточного давления), вакуумметры (для измерения вакуумметрического давления), мановакуумметры (для измерения избыточного и вакуумметрического давления), манометры абсолютного давления (для измерения давления, отсчитываемого от абсолютного нуля), дифференциальные манометры (для измерения разности (перепада) давления).

Жидкостные средства измерения давления. Действие жидкостных средств измерений основано на гидростатическом принципе, при котором измеряемое давление уравнивается давлением столба затворной (рабочей) жидкости. Разница уровней в зависимости от плотности жидкости является мерой давления.

Простейшим прибором для измерения давления или разности давлений является двухтрубный (или U-образный) манометр (рис. 10.1, а), представляющий 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 изменяется давление. Его значение определится из выражения

$$p = h \rho g \quad (10.1)$$

где p — измеряемое давление, Па; h — разность уровней жидкости, м; ρ — плотность жидкости, кг/м^3 ; g — ускорение силы тяжести, м/с^2 .

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 , точностью определения плотности рабочей жидкости ρ и не зависеть от сечения трубки.

Более удобным средством измерения давления является однотрубный (чашечный) манометр (рис. 10.1, б), в котором одна из трубок заменена сосудом, диаметр его, как

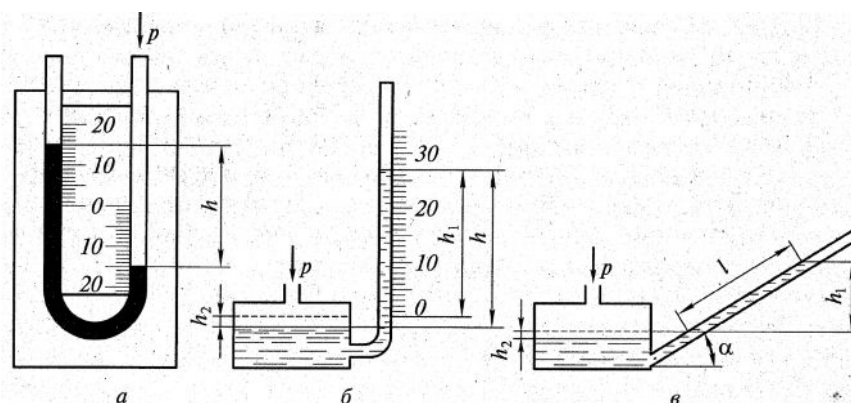


Рис.10.1. Жидкостные манометры: а- U-образный; б- чашечный; в- микроманометр

правило, в 20 раз больше диаметра трубки. Принцип действия манометра аналогичен рассмотренному выше, однако давление или разрежение будет определяться по формуле:

$$p = h \rho g \left(1 + \frac{d^2}{D^2}\right) = h \rho g \left(1 + \frac{f}{F}\right), \quad (10.2)$$

где d, D — диаметры трубки и широкого сосуда соответственно, м; f, F — сечения трубки и широкого сосуда, м^2 .

Так как соотношение диаметров или сечений трубки и сосуда значительны, понижением уровня h_2 при изменении давления можно пренебречь и отсчет вести только по стеклянной трубке, т.е. по h_1 .

Однотрубные манометры имеют верхний предел измерения 1,6... 10 кПа, приведенная погрешность измерения составляет 0,25...0,4%.

На рис. 10.1, в показан однотрубный микроманометр, основанный на том же принципе, который применяется для измерения малых величин давления (до 2 кПа). В этом манометре стеклянная трубка расположена под углом α к горизонту. При этом точность измерения увеличивается в несколько раз.

Учитывая, что $h_1 = l \sin \alpha$ и пренебрегая малостью величины f/F , измеряемое давление можно определить из выражения

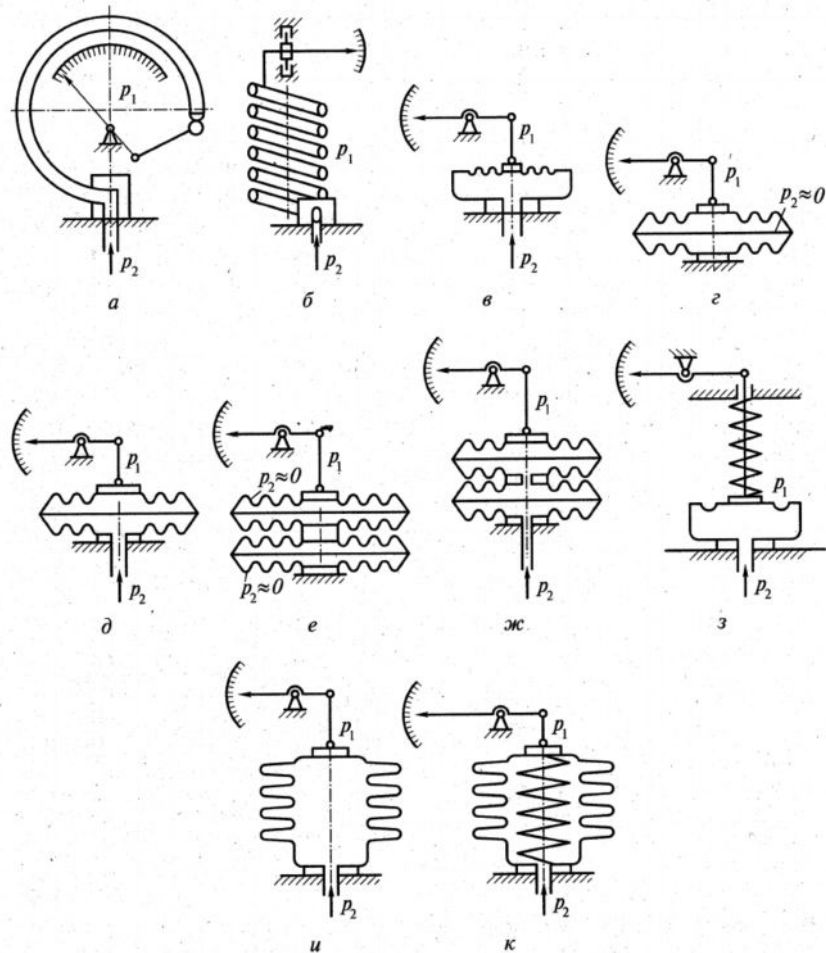
$$p = l \rho g \sin \alpha. \quad (10.3)$$

С уменьшением угла наклона трубки уменьшаются пределы измерения манометром и увеличивается точность измерения.

Деформационные средства измерения давления основаны на уравнивании силы, создаваемой давлением или вакуумом контролируемой среды на чувствительный элемент, силами упругих деформаций различного рода упругих элементов. Эта деформация в виде линейных или угловых перемещений передается регистрирующему устройству (показывающему или самопишущему) или преобразуется в электрический (пневматический) сигнал для дистанционной передачи.

В качестве чувствительных элементов используют одновитковые трубчатые пружины (рис. 10.2, а), многовитковые трубчатые пружины (рис. 10.2, б), упругие мембраны (рис. 10.2, в), упругие мембранные коробки (рис. 10.2, г, д), двойные упругие мембранные коробки (рис. 10.2, е, ж), пружинно-мембранные с гибкой мембраной (рис. 10.2, з), сифонные (рис. 10.2, и) и пружинносифонные (рис. 10.2, к).

Для изготовления мембран, сифонов и трубчатых пружин применяются бронза, латунь, хромоникелевые сплавы, отличающиеся достаточно высокой упругостью, антикоррозийностью, малой зависимостью параметров от изменения температуры.



10.2. Деформационные чувствительные элементы средств измерения давления

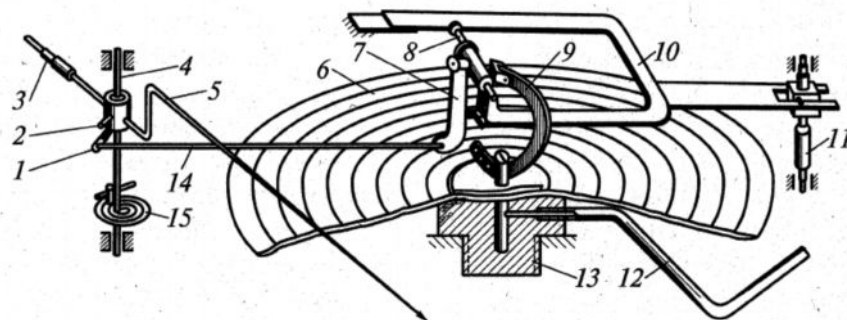


Рис. 10.3. Конструкция мембранного вакуумметра с профильной шкалой

Мембранные приборы применяются для измерения небольших давлений (до 40 кПа) нейтральных газовых сред. Класс точности данных приборов 2,5. На рис. 10.3 показана конструкция мембранного вакуумметра с профильной шкалой от 250 до 25 000 Па. Чувствительным элементом служит мембранная коробочка 6, соединенная с изменяемой средой с помощью трубки 12. Мембрана прикреплена к корпусу прибора с помощью штуцера 13. Изменение давления измеряемой среды вызывает соответствующее изменение прогиба мембранной коробочки 6. При этом поводок 9, прикрепленный к верхней части мембранной коробочки 6, поворачивает рычаг 7, установленный на оси 8. Для увеличения жесткости упругой системы ось 8 закреплена на плоской пружине 10. Поворот рычага 7 вызывает перемещение тяги 14 и рычага 1, установленного на оси 4. На этой же оси с помощью стопорного винта 2 закреплена указательная стрелка 5 с противовесом 3. Конец указательной стрелки 5 перемещается вдоль горизонтальной профильной шкалы. Спиральная пружина 15 служит для устранения влияния зазоров в сочленениях рычажного механизма. Для установки стрелки на начальную отметку шкалы служит винт 11 корректора нуля.

Сильфонные приборы предназначены для измерения избыточного и вакуумметрического давления неагрессивных газов с пределами измерений до 40 кПа, до 400 кПа (как манометры), до 100 кПа (как вакуумметры), в интервале -100...+300 кПа (как мановакуумметры).

Применяют сильфоны диаметром 8... 150 мм толщиной стенки 0,1...0,3 мм, с числом волн 4; 6; 10 и 16.

Трубчато-пружинные приборы принадлежат к числу наиболее распространенных манометров, вакуумметров и мановакуумметров.

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

На рис. 10.4 представлено устройство простейшего пружинного манометра. Оно состоит из корпуса 1; полая трубка 2, выполненная в форме согнутой по кругу на угол 270° с поперечным овальным сечением, с одной стороны свободна и наглухо закрыта, а с другой — впаяна в держатель, который присоединен к источнику измеряемого давления при помощи штуцера 8. Закрытый конец трубки поводком 7 соединен с зубчатым сектором 6, который зацеплен с шестерней 5, установленной на одной оси с показывающей стрелкой 4. Под действием избыточного давления трубка разгибается, ее свободный конец перемещается и тянет поводок 7, который поворачивает связанный с ним зубчатый сектор 6. Последний вращает шестерню 5 и стрелку 4, указывающую по шкале

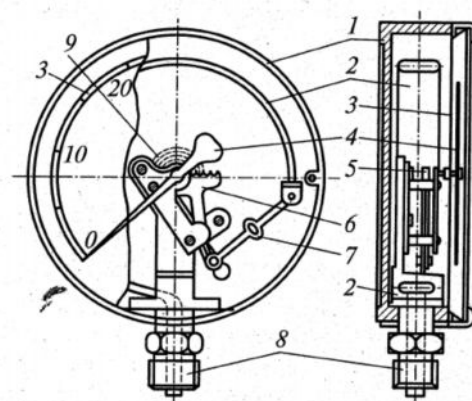


Рис.10.4. Устройство пружинного манометра: 1-корпус; 2-полая труба; 3-шкала; 4-стрелка; 5-шестерня; 6-зубчатый сектор; 7-поводок; 8-штуцер; 9- пружина

3 величину измеряемого давления. Для устранения мертвого хода между зубьями сектора и шестерни применена спиральная пружина 9.

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

Электрические манометры и вакуумметры. Развитие полупроводниковой техники и микроэлектроники позволяет разрабатывать и создавать более совершенные средства измерения давления в широких диапазонах величин.

Действие приборов этой группы основано на свойстве некоторых материалов изменять свои электрические параметры под действием 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). Конструкция преобразователя пьезоэлектрического манометра

Измеряемое давление через мембрану 7 действует на пьезоэлементы 8 и 9, расположенные так, что на их внутренних гранях, соприкасающихся с металлической прокладкой 4, возникают одноименные заряды. Потенциал с внутренних граней пластинок снимается изолированным проводником 3, присоединенным к прокладке 4, а с внешних граней пьезоэлементов — через корпус и металлические прокладки 2 и 5, мембрану 7 и шарик 10, крышку 1. Штуцер 6, зажимающий мембрану 7, служит для присоединения чувствительного элемента к объекту измерения.

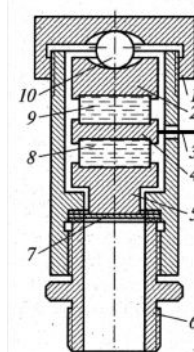


Рис. 10.5. Конструкция преобразователя пьезоэлектрического манометра

Тензометрические манометры имеют малые габаритные размеры, простое устройство, высокую точность и надежность в работе. Верхний предел показаний 0,1 ...40 МПа, класс точности 0,6; 1 и 1,5. Применяются в сложных производственных условиях.

В качестве чувствительного элемента в тензометрических манометрах применяются тензорезисторы, принцип действия которых основан на изменении сопротивления под действием деформации.

Принцип действия тепловых вакуумметров (рис. 10.6) основан на зависимости теплопроводности газовой среды от степени ее разрежения.

Дифференциальные манометры применяются для измерения разности (перепада) давления жидкостей и газов. Они могут быть использованы для измерения расхода газов и жидкостей, уровня жидкости, а также для измерения малых избыточных и вакуумметрических давлений.

Наиболее широкое распространение в промышленности в последнее время получили мембранные и сильфонные дифференциальные манометры.

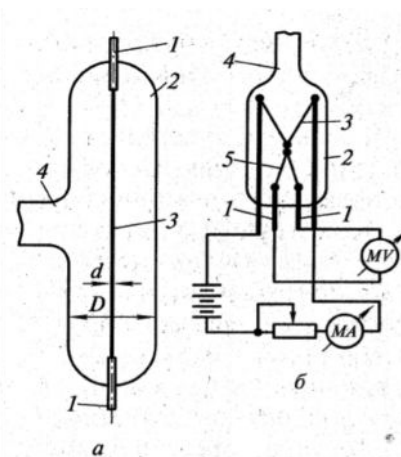


Рис.10.6. Тепловые вакуумметры: а-сопротивления; б-термопарный: 1-электрические вводы; 2-вакуумный баллон; 3-платиновая нить; 4-соединительная трубка; 5-термопара

Мембранные дифференциальные манометры являются бесшкальными первичными измерительными приборами, предназначенными для измерения давления неагрессивных сред, преобразующими измеряемую величину в унифицированный аналоговый сигнал постоянного тока 0...5 мА, переменного тока взаимной индукции 0... 10 мГн или в пневматический сигнал давлением 20... 100 кПа. Схема мембранного дифференциального манометра типа ДМ с дифференциально-трансформаторным преобразователем представлена на рис. 10.7, а. Чувствительным элементом этого манометра является мембранный блок, состоящий из двух мембранных коробок 1 и 3, закрепленных в корпусе 2.

Мембранные коробки изготовлены из гофрированных мембран, выполненных из немагнитного хромоникелевого сплава. Внутренние полости коробок заполнены дистиллированной водой и через отверстие в перегородке сообщаются между собой. С центром верхней мембраны связан сердечник 4 дифференциально-трансформаторного преобразователя 5. Сердечник 4 перемещается внутри разделительной трубки 6, выполненной из немагнитной стали. Давление p_1 и p_2 в камеры дифференциального манометра подводится трубками через запорные вентили, причем давление p_1 больше давления p_2 . Под действием измеряемой разности давлений ($p_1 - p_2$) нижняя мембранная коробка 1 сжимается и жидкость из нее перетекает в верхнюю мембранную коробку 3, вызывая перемещение центра мембраны верхней коробки, а вместе с ней и сердечника 4 преобразователя до тех пор, пока усилие от приложенной к мембранному блоку разности давлений не уравнивается упругими силами мембранных коробок. Перемещение сердечника 4 приводит к изменению напряжения выходного сигнала пропорционально измеряемому перепаду давления.

Дифференциальные манометры типа ДМ выпускаются на предельные перепады давления 1,6...630 кПа.

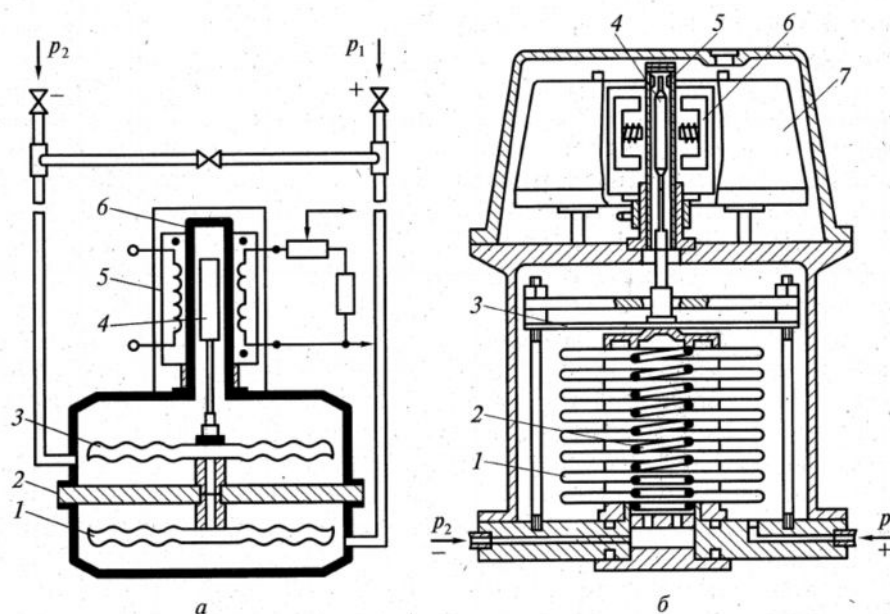


Рис. 10.7. Дифференциальные манометры

Сильфонные дифференциальные манометры. На рис. 10.7, б показана конструкция сильфонного дифференциального манометра с магнитным преобразователем. Измерительный блок дифференциального манометра состоит из сильфона 1, в который встроена пружина 2, ее жесткость определяет диапазон измеряемого перепада давления. Сильфон 1 жестко соединен с плоской пружиной

подвеской 3. с которой связан магнитный сердечник 4. Магнитный сердечник находится внутри разделительной трубки 5 из немагнитной стали, на которой установлен преобразователь 6 с магнитной компенсацией. Рядом преобразователем 6 расположен транзисторный усилитель 7. Подвод давления p_1 и p_2 в камеры дифференциального манометра осуществляется через импульсные трубки. Под действием разности давлений ($p_1 - p_2$) сильфон 1 сжимается, вызывая перемещение его дна. При этом перемещается магнитный сердечник 4 преобразователя 6, воздействующий на магнитный усилитель, выходной сигнал которого дополнительно усиливается и в виде унифицированного сигнала 1...5 мА поступает ко вторичному прибору.

Сильфонные дифференциальные манометры выпускаются на предельные перепады давления 1...4 кПа, они рассчитаны на предельно допустимое рабочее избыточное давление 25 кПа.

Основная литература: 1 [260 – 273], 5 [95 – 110]

Дополнительная литература: 8 [55 – 91]

Контрольные вопросы:

1. Какими величинами определяются расход и количество жидкостей, газа, пара?
2. На чем основаны методы измерения величин давления?
3. Какие средства измерения параметров давления нашли применение в промышленности?

Лекция №11. Средства измерения и контроля расхода и количества газа и жидкости

Средства измерения, определяющие количество вещества, протекающего через поперечное сечение трубопровода за определенный промежуток времени, называются *счетчиком количества*.

Средства измерения, определяющие количество вещества, протекающего через поперечное сечение трубопровода в единицу времени, называются *расходомерами*.

Помимо деления всех устройств для измерения объема и массы, представленных счетчиками и расходомерами, существует классификация их методов измерения по тем физическим законам, которые лежат в основе принципа действия этих устройств.

Существуют следующие методы измерения:

- объемный;
- переменного и постоянного перепада давления (дросселирующие устройства и расходомеры обтекания);
- скоростного напора (напорные трубки);
- переменного уровня (щелевые расходомеры);
- тепловой, ультразвуковой, электромагнитный, тахометрический, инерциальный, оптический, маркерный и др.

При использовании объемного метода применяются обратимые насосы: шестеренчатые, лопастные и др. При подаче на насос перепада давления ротор начинает вращаться, подавая порции жидкости при каждом обороте. Измерение расхода сводится к определению числа порций жидкости, проходящих в единицу времени, т. е. к измерению частоты вращения ротора насоса.

Вязкость жидкости при этом методе не оказывает влияния на показания прибора, что является преимуществом объемного метода измерения. Однако изменение температуры жидкости существенно влияет на точность измерения.

Метод переменного перепада давления основан на дресселировании, т. е. сужении потока вещества, движущегося по трубопроводу. Сужение потока приводит к возрастанию средней скорости потока, а следовательно, к увеличению его кинетической энергии и уменьшению потенциальной согласно закону сохранения энергии. Соответственно статическое давление в месте сужения уменьшается и возникает разность (перепад) давлений потока до сужения и в суженном сечении. Измерение

расхода сводится к измерению перепада, связанного со скоростью потока жидкости или газа. Для образования переменного перепада давления, пропорционального скорости потока, применяют напорную трубку, трубку Вентури, сопло и диафрагму.

Напорная трубка (рис. 11.1, а) помещается в трубопровод навстречу потоку, в результате чего давление на выходе трубки складывается из статического давления и скоростного напора.

Для напорной трубки в случае несжимаемости жидкости можно получить зависимости:

объемного расхода

$$V = S \sqrt{\frac{2(p_2 - p_1)}{\rho}}; \quad (11.1)$$

массового расхода

$$q = S \sqrt{2(p_2 - p_1)\rho}, \quad (11.2)$$

p_1 — давление при отсутствии скорости; ρ — плотность жидкости.

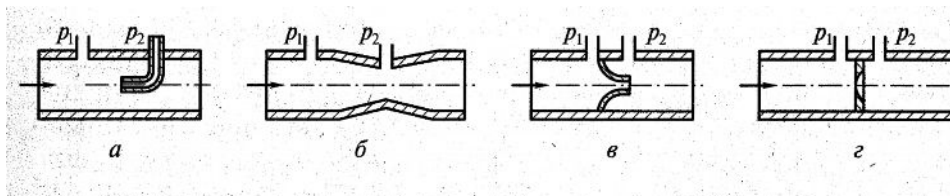


Рис.11.1. Конструкции расходомеров метода переменного перепада давления: а – напорная трубка; б – трубка Вентури; в – сопло; г - диафрагма

Трубка Вентури (рис. 11.1, б) состоит из двух конических трубок, соединенных узкими частями между собой. Диаметры широких частей равны диаметру трубопровода, по которому течет жидкость или перемещается газ.

Сопло (рис. 11.1, в) в качестве дроссельного элемента применяется при измерении расхода воздуха и газов. Параметры сопел стандартизованы.

Диафрагма (рис. 11.1, г) представляет собой тонкий круглый диск с отверстием концентричным трубопроводу. Со стороны входа жидкости отверстие имеет острую кромку, а дальше — конус с углом 45°.

Зависимость объемного и массового расходов несжимаемой жидкости от разности давлений для дросселирующих устройств (трубки Вентури, сопла, диафрагмы) определяется следующими выражениями:

$$V = \frac{\lambda S}{\rho} \sqrt{2\rho(p_2 - p_1)}; \quad (11.3)$$

$$q = \lambda g S \sqrt{2\rho(p_2 - p_1)}, \quad (11.4)$$

где λ — коэффициент расхода, зависящий от вязкости жидкости, типа и размеров дросселя, характера течения и т.д.; g — ускорение силы тяжести.

Если жидкость или газ сжимаемы, что чаще всего и встречается, то коэффициент X еще зависит от отношения давлений $\{p_1/p_2\}$.

При реализации метода постоянного перепада давления скорость оцениваемого потока постоянна. Перепад давления возникает при прохождении среды через суженное сечение, причем площадь проходного сечения изменяется в зависимости от изменения расхода. Постоянный перепад давления, возникающий в месте сужения,

создается подвижным чувствительным элементом, изменяющим свое положение в потоке, и определяется главным образом массой этого элемента. Пределы измерения расхода составляют от 0,00025 до 10 000 м³/ч.

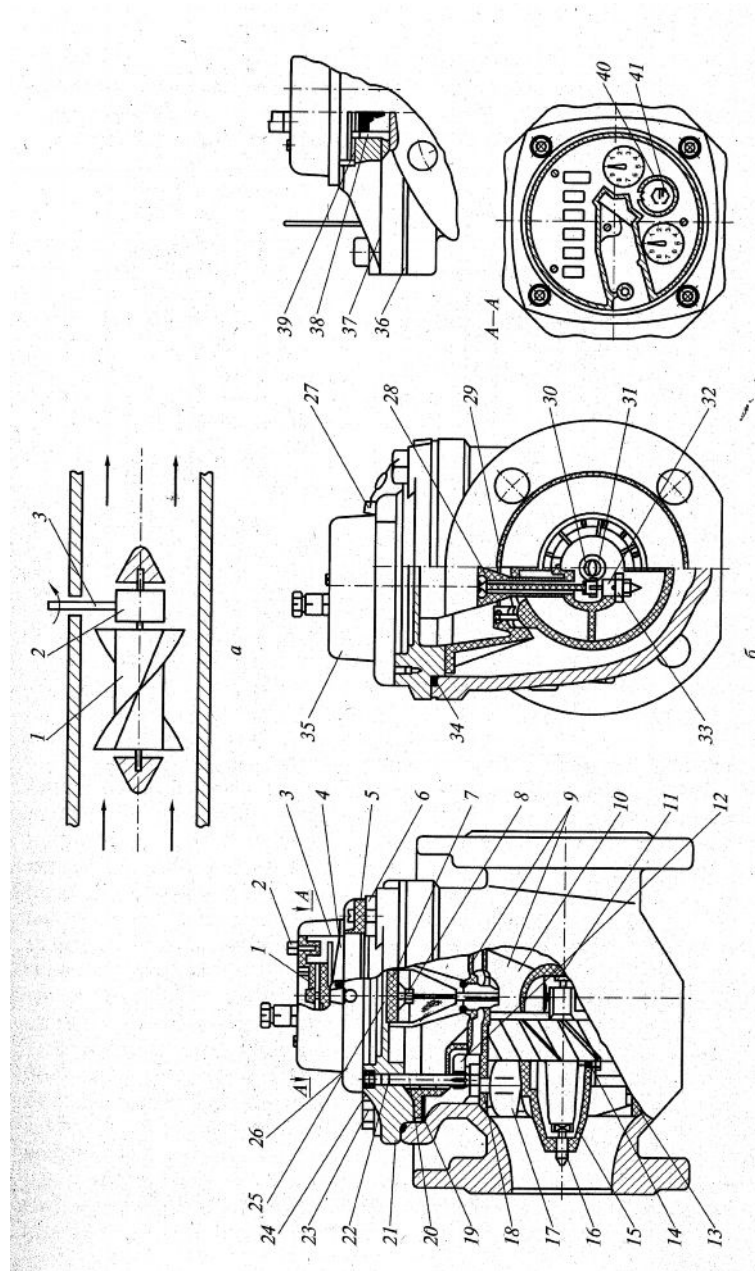


Рис. 11.2. расходомеры турбинного типа:
 а – принципиальная схема;
 б – конструкция счетчика воды типа ВСТ.

На практике используются три вида расходомеров постоянного перепада давления: поплавковые, поршневые и ротаметры.

Метод скоростного напора. Скоростные счетчики количества жидкости основаны на суммировании числа оборотов помещенного в поток вращающегося элемента за определенный промежуток времени. Вращающийся элемент приводится в движение за счет кинетической энергии самого потока. Скорость вращения пропорциональна средней скорости протекающей жидкости, а следовательно, и расходу.

По конструктивному исполнению чувствительного элемента эти счетчики делятся на аксиальные и тангенциальные. Первые чаще называют турбинными, а вторые —

крыльчатыми счетчиками. Аксиальный рабочий орган размещается горизонтально, тангенциальный — вертикально. Такие приборы позволяют измерять расход количества жидкости от 3 до 13 000 м³/ч.

Скоростной (турбинный) расходомер (рис. 11.2, *a*) состоит из собственно самой турбинки (вертушки) 1, представляющей собой многоходовой (4...6) заходный винт, червячной передачи 2 и валика 3, передающего скорость вращения турбинки в потоке на измерительный прибор или преобразователь.

В качестве примера конкретной конструкции скоростного расходомера жидкости рассмотрим конструкцию счетчика воды типа ВСТ.

Счетчик воды турбинного типа (рис. 11.2, *б*) komponуется из трех основных частей: корпуса, измерительного блока 21, счетного устройства 4. Измерительный блок 21 состоит из фланца кронштейна 19, на котором монтируются измерительная камера-кронштейн 10, регулятор, механизм передачи вращения 28. Измерительная камера-кронштейн 10 предназначена для преобразования скорости потока воды во вращение турбинки 14. Она устанавливается и закрепляется одновременно со счетным устройством и состоит из струевыпрямителя 15, измерительной камеры-кронштейна 10, турбинки 14 с осью 11. Струевыпрямитель 15 предназначен для выравнивания потока и направления его на лопасти турбинки.

Аксиальная турбинка 14 с винтовыми лопастями жестко связана с осью 11, вращающейся в подшипниках скольжения 32.

Механизм передачи вращения состоит из пластмассового червячного колеса 31, жестко посаженного на валу турбинки, вертикального вала червячного колеса 29, на верхнем конце которого жестко закреплена магнитная полумуфта 8.

Счетное устройство 4 состоит из кожуха 3, магнитного экрана 35, магнитной полумуфты 8, редуктора, шести цифровых роликов, двух — четырех стрелочных индикаторов, магнита 41 и узла датчика 1.

Угловая скорость вращения вертикального вала 29 через магнитные полумуфты и ведущее зубчатое колесо передается на редуктор, который приводит в движение цифровые ролики, стрелки циферблатов и магнит 41 магнитоуправляемого контакта, который формирует сигналы, передаваемые на исполнительные органы.

Счетчики рассмотренной конструкции применяются для измерения объема сетевой воды по СНИП 2.04.07—86 и питьевой воды по ГОСТ 2874—82, протекающей в обратных или подающих трубопроводах закрытых и открытых систем теплоснабжения, системах холодного и горячего водоснабжения при давлении до 1,6 МПа, температуре 5...150°С, расходе воды 0,03... 1200 м³/ч с порогом чувствительности 0,01...8 м³/ч (в зависимости от расхода).

Тепловой метод реализуется в основном в двух вариантах. Если чувствительный элемент расходомера выполнить в виде тонкой нити из материала с большим температурным коэффициентом сопротивления и нагреть нить током, то температура нити, а следовательно, и сопротивление будут зависеть от скорости потока. Мерой скорости (расхода) будет сила тока или падение напряжения на сопротивлении нити.

Если сопротивление нити выполнить из материала с нулевым температурным коэффициентом и нагреть нить током, то температуру нити, зависящую от скорости потока, можно измерить с помощью термопары.

При реализации *ультразвукового метода* измерение расхода можно свести к определению разности времени излучения и приема сигналов, разности фаз и разности частот при прохождении ультразвуковых волн (частотой выше 15 кГц) вдоль и против направления движущегося потока.

Ультразвуковые расходомеры обеспечивают погрешность измерения, не превышающую 0,5 % от измеряемого значения при скорости движения до 10 м/с и диаметре трубопроводов до 2 м.

Электромагнитный метод измерения расхода применим для агрессивных, ядовитых, воспламеняющихся и других опасных жидкостей, обладающих удельным электрическим сопротивлением, не превышающим $10^5 \text{ Ом}\cdot\text{см}^3$ при температуре $-40\dots+180^\circ\text{C}$. Достоинством расходомеров, построенных на принципе электромагнитной индукции при движении электропроводной жидкости, пересекающей магнитное поле, является отсутствие в их конструкции каких-либо движущихся или неподвижных элементов, вносимых в движущийся поток и способных влиять на скорость, создавать потерю давления, независимость показаний от вязкости и плотности жидкости.

Функциональная схема *индукционного расходомера* (рис. 11.3) включает в себя электромагнит 1, который наводит переменное магнитное поле в движущемся потоке; съемные электроды 3, установленные на трубопроводе 2, сигнал с которых подается на симметричный катодный повторитель КП, усилитель У и далее на отсчетное устройство ОУ.

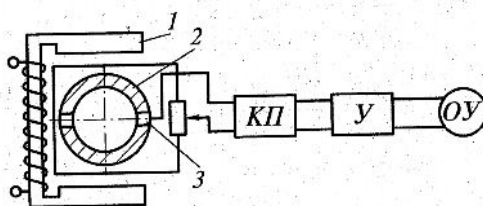


Рис.11.3. Схема электромагнитного метода измерения расхода.

Выпускаемые расходомеры данного типа рассчитаны на избыточное давление до 2,5 МПа и имеют класс точности от 0,6 до 1,6. Они обеспечивают измерение расходов в диапазоне $1\dots 25\ 000 \text{ м}^3/\text{ч}$ в трубопроводах с диаметром $3\dots 1000 \text{ мм}$ при средних скоростях движения жидкости, не превышающих 10 м/с.

Оптические расходомеры появились с разработкой оптических квантовых генераторов (лазеров), позволяющих на основе использования эффектов Доплера конструировать измерители потоков прозрачных газов и жидкостей. Достоинствами их

являются высокая чувствительность, малая инертность, бесконтактный способ измерения, неограниченный диапазон измеряемых скоростей независимо от физических свойств, протекающей среды (за исключением требования к ее прозрачности в диапазоне волн, излучаемых лазером), инвариантность по отношению к направлению потока.

Схема устройства, реализующая оптический метод измерения расхода, представлена на рис. 11.4. Лазер генерирует две встречные волны, бегущие навстречу друг другу по замкнутому оптическому пути, образованному зеркалами 1, 5 и 11.

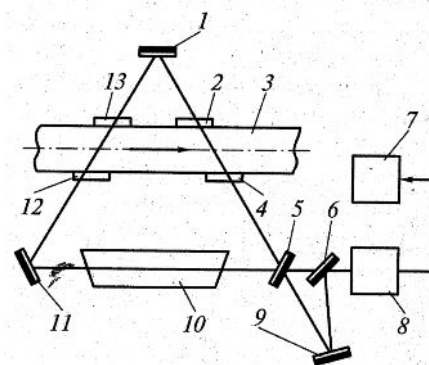


Рис. 11.4. Схема оптического метода измерения расхода

Поток жидкости или газа, движущийся на некотором участке через трубопровод 3 с прозрачными окнами 2, 4, 12 и 13, создает вследствие эффекта увлечения (изменение скорости света в прозрачной движущейся среде) разные частоты колебаний лучей, которые, суммируясь на зеркалах 6 и 9, создают интерференционную картину. Ее

изображение направляется на фотоприемник 8, сигнал которого регистрируется измерительным прибором 7.

Этот сигнал пропорционален скорости потока, интегрируемой по длине луча, и носит линейный характер. Погрешность лазерных расходомеров находится в пределах 0,5%.

Основная литература: 1 [273 – 286], 5 [110 – 119]

Дополнительная литература: 8 [218 – 233]

Контрольные вопросы:

1. Какими методами и средствами измерений и контроля определяется расход жидкостей и газа?

2. Каковы принцип действия и устройство ротаметра?

3. Каковы принцип действия и устройство скоростных счетчиков количества жидкости?

Лекция №12. Средства измерения и сигнализации уровня жидкости

Измерение, контроль и сигнализация уровня жидкости имеют большое значение в технике, особенно при обслуживании технических систем с непрерывной подачей и отбором жидкости.

Средства измерения уровня жидкой среды называют *уровнемерами*. Они нашли широкое применение для измерения количества топлива в баках транспортных средств — летательных аппаратов, автомобилей, кораблей (они называются *топливомерами*); для измерения уровня топлива в топливозаправочных баках, уровня жидкости (воды) в котельных агрегатах, водонапорных системах и т.п.

Существуют следующие методы измерения уровня жидкости: поплавковый, манометрический, емкостный, ультразвуковой, радиационный, радиочастотный и др.

Поплавковый метод. Простейшими уровнемерами, применяемыми для контроля уровня жидкости, находящейся в резервуаре под атмосферным давлением, являются поплавковые уровнемеры. На рис. 12.1, а представлена конструкция механического уровнемера с поплавком 1, плавающим на поверхности жидкости 4. Положение поплавка и, следовательно, связанного с ним уравновешивающего груза 2 относительно шкалы 3 определяет уровень жидкости.

Чаще применяются тонущие поплавки-буйки, частично погруженные в жидкость (рис. 12.1, б). Бук 6 подвешен на рычаге 2 и пружине 1. При изменении уровня жидкости изменяются степень погружения буйка и, следовательно, растягивающее усилие пружины 1 под действием массы буйка. Благодаря этому каждому уровню соответствует определенное положение буйка. Перемещение буйка через рычаг 2 передается на ось 5, на которой установлена стрелка 4, показывающая по шкале 3 уровень жидкости. Положение буйка или поплавок, преобразуемое в линейное или угловое перемещение, может быть передано на показывающий прибор или преобразовано в электрический сигнал для дистанционной передачи. На рис. 12.1, в приведена схема поплавкового электрического уровнемера. В ней определенный уровень жидкости X с помощью поплавка и потенциометра преобразователя R_x , измерительного моста $R_1...R_4$ фиксируется на магнитоэлектрическом логометре, сопротивление которого R_{k1} и R_{k2} . Преобразователь уровнемера включается в мостовую схему таким образом, что одновременно изменяются два соседних плеча моста. В такой схеме достигается температурная компенсация.

При использовании *манометрического метода* измерения уровня определяется давление столба жидкости в резервуаре. Для измерения уровня жидкости в барабанах парогенераторов, котлов-утилизаторов и системах испарительного охлаждения широко применяют мембранные дифманометры, отградуированные в единицах уровня. На рис. 12.2 показана схема манометрического уровнемера с применением электрической

схемы преобразования сигнала. Жесткий центр манометра через шар давит на тензорезистор

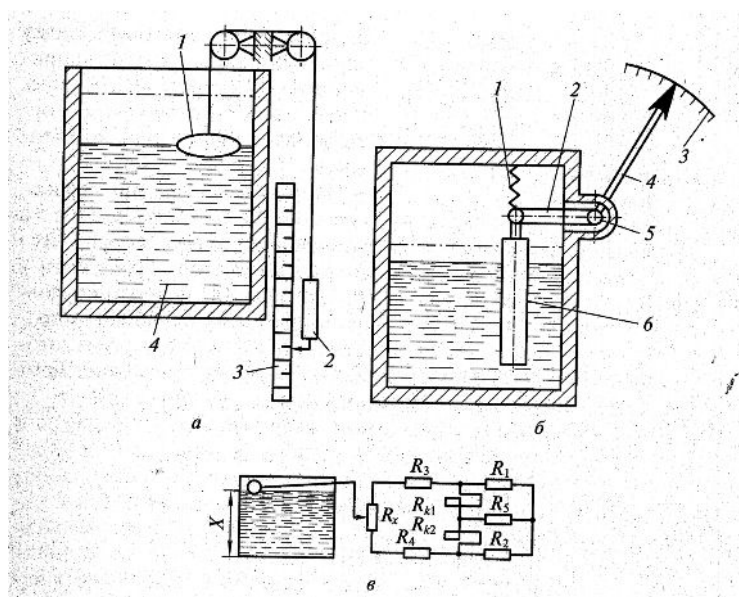


Рис. 12.1. Поплавковые методы измерения уровня жидкости

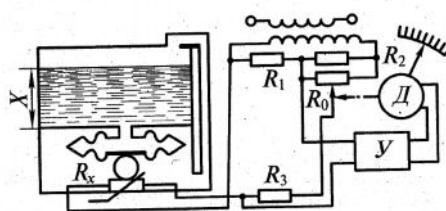


Рис. 12.2. Схема манометрического уровнемера: $R_0...R_3$ – сопротивления плеч моста; Д-двигатель; У-усилитель; R_x – тензорезистор

R_x , включаемый в плечо моста. При изменении уровня жидкости меняется тензосопротивление, что приводит к разбалансу моста. Сигнал рассогласования, снимаемый с моста, усиливается в усилителе У и подается на двигатель Д. Последний уравнивает мост и через редуктор перемещает стрелку показывающего или сигнализирующего устройства.

Емкостный метод измерения уровня основан на том, что электрическая емкость специального конденсатора, установленного в резервуаре с жидкостью, зависит от ее уровня.

В зависимости от электрических характеристик жидкости, уровень которых измеряют емкостным методом, разделяют на неэлектропроводные и электропроводные.

На рис. 12.3, а показано устройство емкостного преобразователя для измерения уровня неэлектропроводной жидкости. В среду опущен электрод 1, изолированный от корпуса втулкой 3. Вторым электродом является заземленный корпус преобразователя 2. Таким образом, преобразователь состоит из двух параллельно соединенных

конденсаторов: конденсатора $C_{ж}$, образованного частью электрода и диэлектриком — жидкостью, уровень которой измеряется, и конденсатора $C_{в}$, образованного остальной частью электрода и диэлектриком — воздухом.

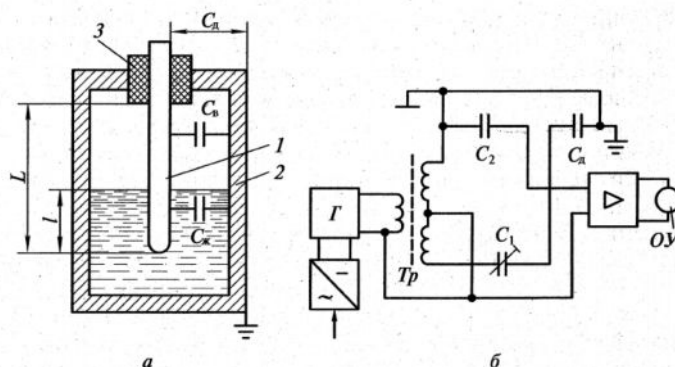


Рис.12.3 Устройство емкостного преобразователя для измерения уровня неэлектропроводной жидкости (а) и его электрическая схема (б)

Измерение электрической емкости $C_{д}$ производится индуктивно-емкостным мостом (рис. 12.3, б), состоящим из индуктивностей двух вторичных обмоток трансформатора Tr , конденсаторов Q , C_2 и емкости $C_{д}$. Измерительный мост питается от генератора $Г$ частотой 100 Гц. С изменением уровня жидкости изменяется глубина погружения электрода, что вызывает изменение емкости $C_{д}$ и разбалансировку моста.

Сигнал разбаланса, пропорциональный уровню жидкости, подается на вход усилителя, выходное напряжение которого измеряется вторичным прибором $ВП$ (потенциометром или миллиамперметром).

Диапазон измерения зависит от типа электрода, его длины, характеристики измеряемой жидкости.

Ультразвуковой метод. Ультразвуковые уровнемеры (рис. 12.4) находят применение в технологических процессах, связанных с использованием токсичных и взрывоопасных сред, а также сред, находящихся в условиях высоких температур и давлений.

Действие средств измерения и контроля уровня этого типа основано на свойстве ультразвуковых колебаний проникать через металлические стенки резервуаров практически любой толщины и отражаться от границ раздела сред. Это свойство реализуется в двух вариантах.

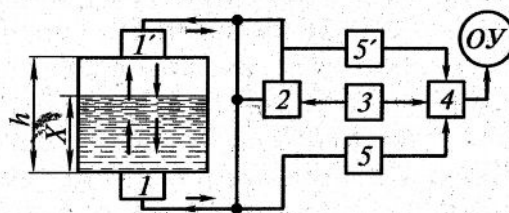


Рис. 12.4. Принципиальная схема ультразвукового уровнемера

Для реализации обоих методов пьезоэлектрический преобразователь $Г$ или $Г'$ устанавливают в верхней или в нижней части резервуара. Преобразователь посылает пучок импульсов в пространство над жидкостью (или в жидкость).

Отраженный от жидкой (газовой) границы сигнал воспринимается тем же преобразователем. Электрические сигналы, подаваемые на пьезоэлектрический преобразователь $1'$ или 1 формируется высокочастотным генератором импульсов 2 . Для формирования кратковременного пучка импульсов служит генератор пакетов 3 , который одновременно управляет генератором импульсов 2 и схемой измерения 4 . Выходной сигнал, подаваемый на указатель $ОУ$, формируется путем автоматического слежения за длительностью сигнала t — времени распространения пучка от излучателя до поверхности раздела и обратно. Поскольку пьезоэлектрические преобразователи $1'$ и 1

работают в режиме излучения — приема, после подачи пучка импульсов они же начинают прием отраженных сигналов. Так как скорость звука зависит от температуры воздуха, то для возникающих температурных погрешностей при измерении уровня жидкости применяют температурную компенсацию.

Ультразвуковые измерители уровня имеют диапазон измерения от 1 до 15 м при погрешности, не превышающей 2,5%.

Принцип действия радиационного метода измерения уровня жидкости представлен на рис. 12.5. Радиоизотопный источник *Из*, например кобальтовый ^{60}Co , помещается в верхней части резервуара, а детектор *Дет*, состоящий из нескольких пластмассовых сцинтилляторов, светодетекторов и общего фиксирующего устройства, — в нижней части резервуара. Сигналы с детектора поступают на усилитель *У* и отсчетное устройство *ОУ*.

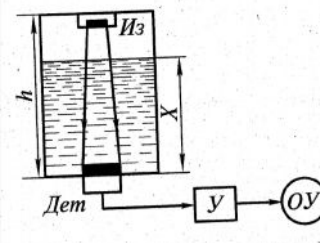


Рис. 12.5.
Принципиальная
схема радиационного
уровнемера

С изменением уровня жидкости *X* изменяется число импульсов в секунду, воспринимаемых детектором. Уровнемеры, работающие по этому методу, имеют незначительные погрешности (не более 2...3%), однако требуют защиты от излучения. Они предназначены для непрерывного бесконтактного дистанционного измерения уровней различных жидкостей, в том числе расплавленных металлов и пластмасс.

Основная литература: 1 [286 – 291], 5 [119 – 123]

Дополнительная литература: 8 [218 – 233]

Контрольные вопросы:

1. Какие методы и средства измерения и сигнализации уровня жидкости применяются в машиностроении?
2. Какие преимущества и недостатки присутствуют в поплавковых уровнемерах?
3. Каковы принцип действия и устройство манометрических средств измерения уровня?
4. Каковы принцип действия и схема средств измерения уровня емкостных, ультразвуковых и радиационных уровнемеров?

Лекция №13. Анализаторы газов и жидкости

Классификация автоматических анализаторов газов и жидкостей. В соответствии с техническими требованиями, предъявляемыми к автоматическим газоанализаторам жидкостей, они классифицируются по пределам и диапазонам измерений, классам точности, допустимому углу наклона, стабильности, динамическим свойствам и времени прогрева.

Пределы измерения для газоанализаторов не регламентированы, однако в зависимости от верхнего предела измерений они делятся на газоанализаторы: для макроконцентраций (с верхним пределом от 10^{-2} до 100% по объему), микроконцентраций (от 10^{-4} до 10^{-2} % по объему) и ультрамикроконцентраций (менее 10^{-4} % по объему).

Для анализаторов жидкости верхние и нижние пределы измерений выбирают из нормального ряда предпочтительных чисел по ряду R10.

Класс точности автоматических анализаторов должен принадлежать следующему ряду:

- для газоанализаторов—1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 4,0; 5,0; 6,0; 10,0; 15,0; 20,0;

- для анализаторов жидкости— 0,1; 0,15; 0,2; 0,25; 0,4; 0,5; 0,6; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 4,0; 6,0; 10,0; 15,0.

В зависимости от значения допустимого угла наклона анализатора от нормального положения приборы делятся на независимые (допустимый угол свыше 5° , для газоанализаторов — до 20°), зависимые (с углом до 5°) и не допускающие наклона (в пределах точности уровня).

По стабильности автоматические газоанализаторы подразделяются на пять групп в зависимости от времени сохранения постоянства показаний при допускаемой основной приведенной погрешности. Так, для группы СП-1 время сохранения показаний составляет свыше 30 сут., для СП-2 — 15...30 сут., для МП-5— 1 ...3 сут.

По динамическим свойствам автоматические анализаторы подразделяются на быстродействующие (время переходного процесса не более 10 с); малоинерционные (10...30 с); инерционные (30...60 с для газоанализатора, 30...80 с — для анализатора жидкостей); с большой инерционностью (для газоанализаторов — 60... 120 с); медленно действующие (для газоанализаторов — свыше 120 с, для анализаторов жидкостей — свыше 180 с).

Для анализаторов одним из важных динамических показателей является время прогрева, а также установление теплового равновесия прибора. По этому показателю газоанализаторы делятся на три группы: приборы, практически не требующие предварительного прогрева (время прогрева— не более 10 мин); приборы с предварительным прогревом (до 60 мин); приборы с длительным прогревом (до 180 мин).

Анализаторы газов. Механические газоанализаторы основаны на изменении молекулярно-механических параметров состояния или свойств анализируемой смеси. Величинами, характеризующими концентрацию определенного компонента, в таких приборах являются:

- изменение объема или давления пробы газовой смеси (при постоянном объеме или давлении) в результате химического воздействия на определенный компонент;
- вязкость газовой смеси;
- плотность газовой смеси и некоторых свойств, зависящих от плотности, например скорость распространения звука и ультразвука, скорость диффузии.

К механическим относятся *объемно-поглотительные газоанализаторы* (рис. 13.1), предназначенные для циклического измерения концентрации, например аммиака в газовых смесях, не содержащих компонентов, способных взаимодействовать с серной кислотой.

Анализируемый газ поступает через реперное устройство 1 на вход дозатора 2, который дискретно отбирает пробу постоянного объема и прокачивает ее с определенной скоростью через реактор 3, где определяемый компонент реагирует с поглотителем и поглощается им. Непоглотившийся газ на выходе из реактора очищается защитным фильтром 4 от паров поглотителя и поступает в преобразователь 5, в котором непоглотившаяся часть пробы преобразуется в давление путем вытеснения непоглощенного газа в емкость известного объема.

В узле масштабирования и запоминания выходного сигнала 6 из преобразователя отбирается часть объема непоглотившейся пробы газа, преобразующейся с определенным коэффициентом в давление выходного сигнала, которое запоминается на время очередного цикла анализа.

Синхронная работа всех узлов газоанализатора обеспечивается

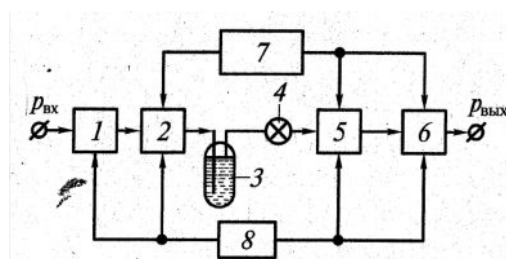


Рис. 13.1. Схема объемно-поглотительного газоанализатора

командным устройством 7, формирующим дискретные управляющие сигналы.

Необходимые для работы газоанализатора опорные давления задаются стабилизатором опорных давлений 8.

Наибольшее распространение из группы *объемно-химических газоанализаторов* получили переносные газоанализаторы, применяемые для анализа газов на три компонента: CO_2 ; O_2 и CO . Их работа основана на последовательном удалении анализируемых компонентов из взятой на анализ пробы газа при проведении химических реакций.

Принцип действия термокондуктометрических газоанализаторов основан на измерении теплопроводности анализируемой газовой смеси, которая зависит от концентрации в ней определяемого компонента. Так как абсолютные значения теплопроводностей газов чрезвычайно малы и их непосредственное измерение вызывает трудности, в термокондуктометрических газоанализаторах производится относительное измерение

Термохимический метод анализа основан на измерении теплового эффекта реакции каталитического окисления, в которой принимает участие определяемый компонент анализируемой смеси. Наибольшее распространение этот метод получил при измерении концентрации горючих газов (водорода, метана и др.) в избытке кислорода, а также при измерении концентрации окиси углерода в присутствии кислорода и концентрации кислорода в избытке горючих газов.

Термохимические газоанализаторы выпускают двух основных типов:

- к первому типу относятся приборы, в которых реакция каталитического окисления происходит на твердом гранулированном катализаторе, причем полезный тепловой эффект реакции измеряется по изменению температуры в слое катализатора термометром сопротивления или другим термочувствительным элементом;

- ко второму типу относятся приборы, в которых реакция каталитического окисления определяемого компонента происходит на поверхности нагретой каталитически активной нити, одновременно являющейся термочувствительным элементом для измерения полезного теплового эффекта реакции.

Термомагнитные газоанализаторы построены на магнитных свойствах различных газов, оцениваемых величиной магнитной восприимчивости. Для

парамагнитных газов (O_2 ; NO ; воздух) их магнитная восприимчивость — величина положительная (газ способен притягиваться магнитом), а для диамагнитных газов (N_2 ; H_2 ; CH_4 ; CO_2) магнитная восприимчивость — величина отрицательная (газ отталкивается от магнита).

Основной узел термомагнитного газоанализатора — измерительная ячейка. В зависимости от способа теплообмена различают измерительные ячейки с внутренней и внешней конвекцией.

На рис. 13.2 изображена схема измерительной цепи и кольцевой камеры с внутренней конвекцией (термомагнитного газоанализатора). Камера 2 представляет собой полое металлическое кольцо с диаметральной каналом 7 в виде тонкостенной трубки, в которой расположены термоэлементы R_x и R_2 из

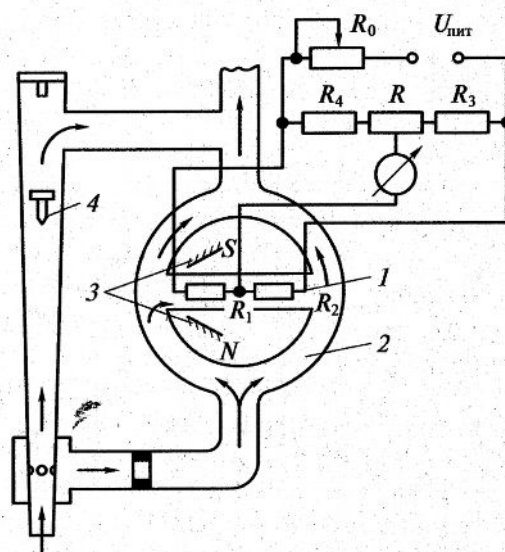


Рис. 13.2. Схема измерительной цепи термомагнитного газоанализатора

тонкой платиновой проволоки, включенные в мостовую измерительную схему и нагреваемые электрическим током. Термоэлемент Л, расположен в поле постоянного магнита 3. Через кольцевую камеру прокачивается анализируемый газ, причем его расход поддерживается постоянным ротаметром 4. Благодаря парамагнитным свойствам кислорода, находящегося в анализируемой газовой смеси, газ под действием магнитного поля втягивается в поперечную трубку. Попадая в область левого подогреваемого термоэлемента, кислород нагревается и его магнитные свойства уменьшаются. В результате этого частицы нагретого газа непрерывно выталкиваются из магнитного поля холодным газом и в поперечной трубке образуется поток газа слева направо. Возникает так называемая термомагнитная конвекция. В зависимости от содержания кислорода в анализируемой смеси изменяется скорость движения газа в поперечной трубке, следовательно, изменяется и теплообмен между термоэлементами и газом. Левый термоэлемент R_1 охлаждается, а правый термоэлемент R_2 нагревается.

Изменение температуры термоэлементов приводит к нарушению равновесия моста, степень которого зависит от концентрации кислорода в анализируемой газовой смеси. Измерительный прибор регистрирует величину разбаланса.

При отсутствии кислорода в анализируемом газе поток газа в поперечной трубке отсутствует и мост, состоящий из сопротивлений термоэлементов R_1 и R_2 , постоянных сопротивлений R_3 и R_4 , сопротивления установки величины тока R_0 и сопротивления установки нуля R , находится в равновесии.

Газоанализаторы инфракрасного поглощения относятся к группе абсорбционных оптических анализаторов. Их принцип действия основан на измерении степени поглощения энергии электромагнитного излучения, проходящего через слой анализируемого вещества. Каждый газ поглощает инфракрасное излучение в определенной, свойственной только ему, области спектра. Например, окись углерода поглощает лучистую энергию в инфракрасной области спектра с длиной волны 4,7 мкм; двуокись углерода — 2,7 и 4,3 мкм; метан — 3,3 и 7,6 мкм и т.д.

Гигрометры — анализаторы газов, которые предназначены для измерения содержания паров воды.

В настоящее время применяют гигрометры следующих типов: точки росы (конденсационные), кулонометрические, с подогревными электролитическими чувствительными элементами (гидрометрического равновесия), с электролитическими чувствительными элементами, психрометрические.

Гигрометры точки росы. Принцип действия гигрометров этого типа основан на охлаждении при постоянном давлении ненасыщенного газа до состояния насыщения и измерении температуры, при которой наступает насыщение (выпадение капель влаги). На практике конденсация происходит не над поверхностью воды, как это следовало бы из определения температуры точки росы, а над плоской металлической поверхностью, охлаждаемой в атмосфере анализируемого влажного газа.

Принцип действия *кулонометрических гигрометров (влагомеров)* основан на непрерывном поглощении влаги анализируемого газа пленкой гидрофильного вещества (пятиоксида фосфора) из точно дозируемого объема газа и на одновременном электролизе обрабатываемого раствора фосфорной кислоты. Мерой влажности служит сила тока электролиза, которая регистрируется вторичным прибором.

Психрометрические гигрометры основаны на измерении температуры газовой среды двумя термометрами, один из которых обернут влажной тканью. Эти два термометра будут иметь разные показания. Понижение температуры влажного термометра происходит в результате затраты тепла на испарение жидкости в окружающую среду. Чем ниже влажность окружающей среды, тем интенсивнее идет испарение влаги с поверхности мокрого термометра. Следовательно, разница в показаниях сухого и мокрого термометров будет тем больше, чем ниже влажность в измеряемой точке. По разности температур ($t_c - t_m$), называемой психрометрической разностью, и температуре

сухого термометра t_c с помощью таблиц (при ручном способе определения влажности) или соответствующих электронных схем (в случае автоматического определения) узнают о влажности анализируемого газа.

Хроматографы предназначены для определения количественного состава смесей газов, паров и испаряемых жидкостей. От других анализаторов состава хроматографы отличаются тем, что содержат два преобразователя: один обеспечивает разделение сложной смеси на отдельные компоненты (хроматографическая колонка), а другой — определение количества каждого компонента (система детектирования). Подбирая свойства каждого из этих преобразователей, можно разделить и определить состав многих производственных смесей.

Принцип хроматографического разделения анализируемого газа, состоящего, например, из четырех компонентов A , B , C и D , показан на рис. 13.3. Проба анализируемого газа вводится в хроматографическую колонку 1 и перемещается газом-носителем через слой наполнителя (сорбента) колонки. Если компоненты газовой смеси A , B , C и D обладают различной сорбируемостью (поглощаемостью) по отношению к наполнителю колонки, то скорости продвижения этих компонентов будут различны. С наименьшей скоростью будет двигаться наиболее сорбирующий компонент. Через некоторое время вперед уйдет компонент B как менее сорбирующийся, за ним D и, наконец, более сорбирующиеся и поэтому медленнее движущиеся компоненты A и C . При дальнейшем их продвижении компоненты окончательно разделяются, в результате из хроматографической колонки будут выходить составляющие компоненты газовой смеси раздельно либо газ-носитель, либо бинарная смесь газ-носитель — компонент.

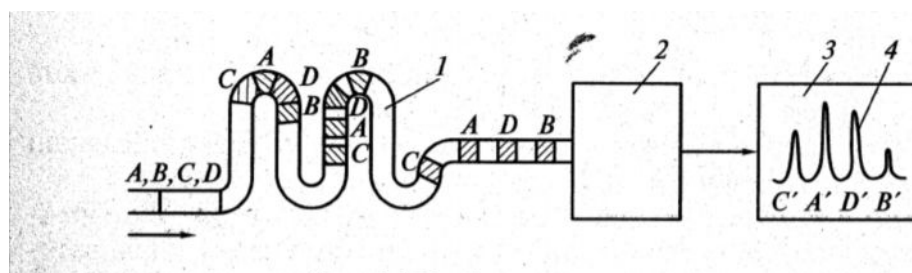


Рис. 13.3. Схема хроматографа

В качестве газа-носителя применяют инертный по отношению к сорбенту газ (воздух, азот, водород, аргон, гелий).

В качестве сорбента при газоадсорбционной хроматографии применяют пористые вещества: активированный уголь, силикагель, окись алюминия и др.

На выходе колонки устанавливается детектор 2, который определяет разделенные компоненты в порядке их выхода. Регистрирующий прибор 3 записывает сигнал детектора на диаграмме (хроматограмме) 4.

Измерительные колонки выполняются в виде спиральных или U-образных трубок с внутренним диаметром 4... 8 мм, длиной 1... 3 м.

Анализаторы жидкостей. Для определения количественного состава смесей жидкостей непосредственно на технологических установках широкое применение нашли автоматические хроматографы, принцип действия которых не отличается от газовой хроматографии. Проба анализируемой жидкости доводится до температуры испарения, и в измененном агрегатном состоянии (газообразном) она потоком газа-носителя вносится в хроматографическую колонку.

Кондуктометры основаны на измерении электрической проводимости (электропроводности) растворов электролитов (анализируемых жидкостей). Они применяются для измерения концентрации или удельной электропроводности агрессивных и неагрессивных жидких сред (обессоленной и дистиллированной воды, ра-

створов солей, кислот и щелочей, концентрированных и загрязненных электролитов и т.д.).

По типу чувствительного элемента (измерительной ячейки) методы измерения удельной электропроводности делятся на контактные и бесконтактные. Простейшим чувствительным элементом является двухэлектродная ячейка, которая преобразует измеряемый параметр — удельную электропроводность раствора—в сопротивление:

$$R = \frac{1}{\sigma k} = \frac{U}{I},$$

где R — сопротивление, Ом; σ — удельная электропроводность, См/м; k — константа измерительной ячейки, м; U — напряжение, приложенное к электродам, В; I — сила тока в цепи электродов, А.

Потенциометрические анализаторы основаны на принципе определения активности ионов в растворах электролитов, а также измерения окислительно-восстановительного потенциала различных сред. Они чаще всего применяются для определения кислотности или щелочных свойств водных растворов, а также для контроля очистки сточных вод.

Фотометрические анализаторы основаны на измерении ослабления излучения вследствие избирательного поглощения, определяемого растворенным веществом в некоторой области спектра излучения.

Метод таких анализов носит еще название абсорбционного спектрального анализа. Различают спектрофотометрический (в монохроматическом излучении) и фотометрический (когда излучение ограничено некоторым спектральным интервалом) методы анализа.

Наибольшее аналитическое применение для оценки состава жидкостей имеют ультрафиолетовая (200...400 нм) и видимая (400...800 нм) области спектра.

На рис. 13.4 изображена функциональная схема фотометра, предназначенного для измерения оптической плотности микробиологической суспензии (активный ил) на станциях биологической очистки сточных вод предприятий коммунального хозяйства, нефтехимической, химической и других отраслей промышленности.

Световой поток от лампы просвечивания рабочего канала фокусируется в параллельный пучок при помощи линз 2. Из общего спектра при помощи цветных фильтров 3 выделяется необходимая спектральная область 700... 800 нм. Далее световой поток проходит оптический клин 7, измерительную камеру 8 и попадает в интегрирующий фотометрический шар 9, на котором установлен светоприемник 10.

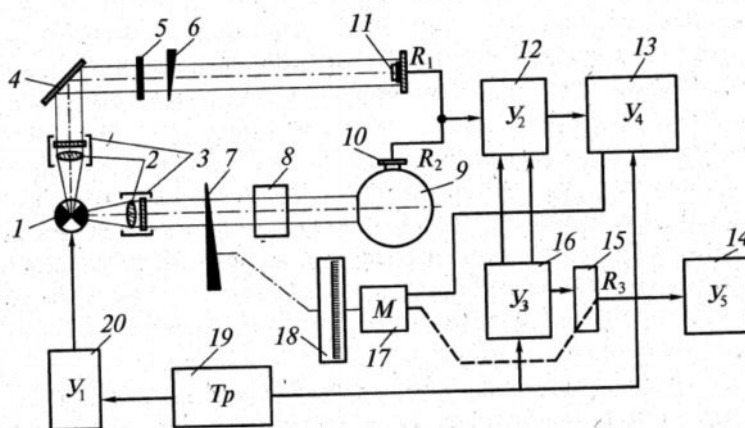


Рис. 13.4. Функциональная схема фотометра

Аналогично световой поток сравнительного канала от лампы 1 проходит через линзы 2 и фильтры 3, отражается при помощи зеркала 4, пройдя через нейтральный светофильтр 5 и оптический клин 6, и попадает на светоприемник 11.

В исходном положении световые потоки, падающие на светоприемники 10 и 11 рабочего и сравнительного каналов, уравновешены.

При изменении оптической плотности измеряемой среды в измерительной камере 8 нарушается равновесие световых потоков и, тем самым меняется освещенность светоприемника 10 рабочего канала. В результате этого возникает электрический сигнал разбаланса измерительной схемы прибора, который поступает на согласующий усилитель 12, обеспечивающий согласование высокоомной измерительной схемы с низкоомным входом реверсивного усилителя 13. Последний приводит во вращение двигатель 17, на валу которого закреплены измерительный оптический клин 7, шкала прибора 18 и реостат 15 источника калиброванного сигнала.

Электродвигатель вращает измерительный оптический клин 7 до тех пор, пока снова не уравновесятся световые потоки рабочего и сравнительного каналов. Угол поворота оптического клина 7 фиксируется по шкале прибора 18 в единицах оптической плотности.

Основная литература: 1 [291 – 317]

Дополнительная литература: 8 [236 – 258]

Контрольные вопросы:

1. Что такое анализатор и какие показатели он оценивает?
2. Чем характеризуются состав и физико-химические свойства газов и жидкостей?
3. Какие блоки включает в себя автоматический анализатор?
4. Какие анализаторы газов нашли применение в промышленности?
5. Каковы принцип и схема механического газоанализатора химического поглощения?

Лекция №14. Анализаторы состава и физико-химических свойств нефти и нефтепродуктов

Наряду с автоматическими анализаторами общепромышленного назначения в нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности применяют специализированные приборы для анализа состава и физико-химических свойств нефти и нефтепродуктов.

Анализаторы температуры вспышки. *Температурой вспышки* называется температура, при которой загорается смесь паров нефтепродукта с воздухом при наличии источника пламени и происходит взрыв паровоздушной смеси без воспламенения жидкости. Этот параметр характеризует содержание в нефтепродукте легколетучих компонентов.

Анализаторы типа АВН обеспечивают регистрацию температуры вспышки и преобразование ее в унифицированный электрический или пневматический сигнал.

Анализатор предназначен для работы при температуре окружающего воздуха 5...50°C, относительной влажности 30...80%.

Его основные технические характеристики:

Пределы измерения, °С..... 0... 150; 150...300

Основная допускаемая абсолютная

погрешность измерения, °С ±(1 ...3)

Дополнительная допускаемая погрешность

измерений в долях основной погрешности.....0,5...0,6

Анализируемое вещество в месте отбора пробы должно иметь следующие параметры:

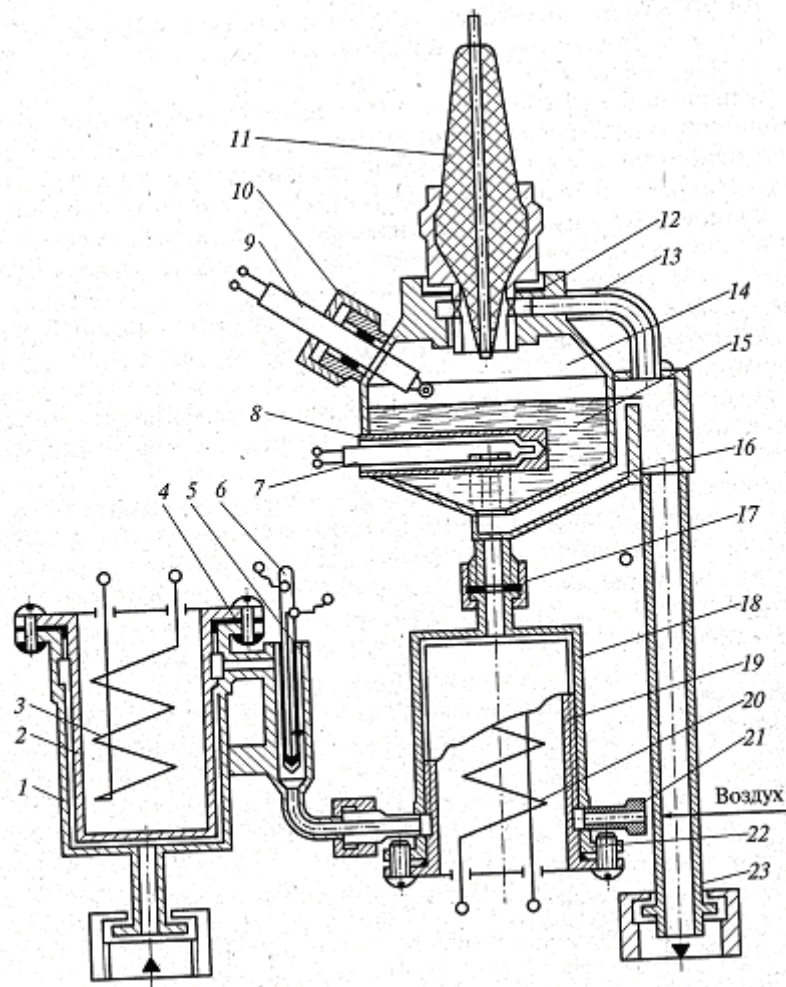


Рис.14.1. Конструкция технологического блока анализатора АВН-70 для измерения температуры вспышки

Температура от 150°С до следующей минимальной, °С:
для веществ с вязкостью от 4 сСт

при температуре 20 °С..... 5

для веществ с вязкостью до 10 сСт

при температуре 100 °С..... 80

Давление, МПа..... 1 ...5

Содержание воды, об.%..... до 5

Содержание механических примесей, кг/м³ до 2

Вязкость при температуре 100°С, сСт не более 10

В комплект анализатора входят первичный преобразователь, блок подготовки пробы, нормирующий преобразователь, потенциометр и стабилизатор напряжения.

Рассмотрим принцип действия основных блоков анализатора. Анализируемый продукт, предварительно очищенный от механических примесей, поступает на вход блока подготовки пробы. Блок подготовки пробы предназначен для охлаждения или нагревания анализируемого продукта и ручного задания расходов нефтепродукта и воздуха, подаваемых на вход первичного преобразователя. На рис. 14.1 изображена конструкция технологического блока первичного преобразователя для измерения температуры вспышки в пределах 24... 100 °С на продуктах вязкостью до 4 сСт при температуре 20° С.

Работа этого блока протекает следующим образом. Анализируемый продукт последовательно проходит вспомогательный нагревательный элемент 3, основной нагревательный элемент 20, камеру вспышки 14 и сбрасывается самотеком в сборную емкость по сливной трубке 23, находящейся под атмосферным давлением. При включении электропитания нагревательные элементы 3 и 20 начнут подогревать продукт. В камеру вспышки 14 свече 11 периодически подается электрическая искра, генерируемая генератором. Вспомогательный нагревательный элемент 3 будет нагревать проходящий через него нефтепродукт до тех пор, пока температура на выходе не достигнет заданной ртутным термоконтактором 6. В предварительно подогретый нефтепродукт дозируется необходимое количество воздуха по штуцеру 21. Смесь поступает в основной нагревательный элемент 20, подогревается и подается в камеру вспышки 14. Если температура поступившего в камеру продукта достигла температуры вспышки, то происходит вспышка паровоздушной смеси от электрической искры. Наличие пламени вспышки воспринимает термопара 9. Сигнал с термопары 9 подается на вход регулятора основного нагрева, который отключает электропитание основного нагревательного элемента 20. Если произойдет несколько вспышек подряд, основной нагревательный элемент 20 это время остается отключенным. Включение вновь произойдет после первой искры, при которой вспышки не будет.

Таким образом, осуществляется регулирование температуры анализируемого нефтепродукта, протекающего через камеру вспышки 14, на наименьшем уровне, при котором происходит вспышка. Температура продукта в камере вспышки 14 измеряется термопарой 7, сигнал которой подается на вход электронного потенциометра — регистратора температуры вспышки.

Автоматические анализаторы кислотного числа. *Кислотным числом* называется количество едкого калия (КОН), выраженное в мг, необходимое для нейтрализации 1 г испытуемого нефтепродукта.

Автоматические анализаторы типа АК4 предназначены для определения кислотного числа окисленного парафина (оксидата) в процессе производства синтетических жирных кислот. Основные характеристики этих приборов:

Пределы измерений КОН/г, мг	0...100
Основная допускаемая приведенная погрешность измерения, %	4
Параметры анализируемого вещества на входе:	
плотность (при 90 °С), кг/м ³	776...820
температура, °С	90... 105
давление, МПа	0,5... 1,5

Принцип действия прибора основан на использовании экзотермической реакции нейтрализации жирных кислот раствором щелочи и определении тепла, выделенного в результате реакции, количество которого пропорционально кислотному числу.

Анализаторы упругости паров. Упругость паров (давление насыщенных паров) является характеристикой качества светлых нефтепродуктов. Наиболее существенные требования предъявляются к упругости паров бензиновых фракций, так как этот параметр характеризует качество стабилизации бензинов, косвенно отражая содержание низкокипящих фракций в продукте.

Индикатор состава (типа ИС) предназначен для определения состава бинарных смесей в системах автоматического регулирования процессов ректификации. Он обеспечивает измерение разности между упругостью эталонной жидкости и абсолютным давлением в ректификационной колонне.

Датчик упругости паров (типа ДУ) предназначен для измерения упругости паров бензина и преобразования ее в унифицированный пневматический сигнал 0,2... 1 МПа.

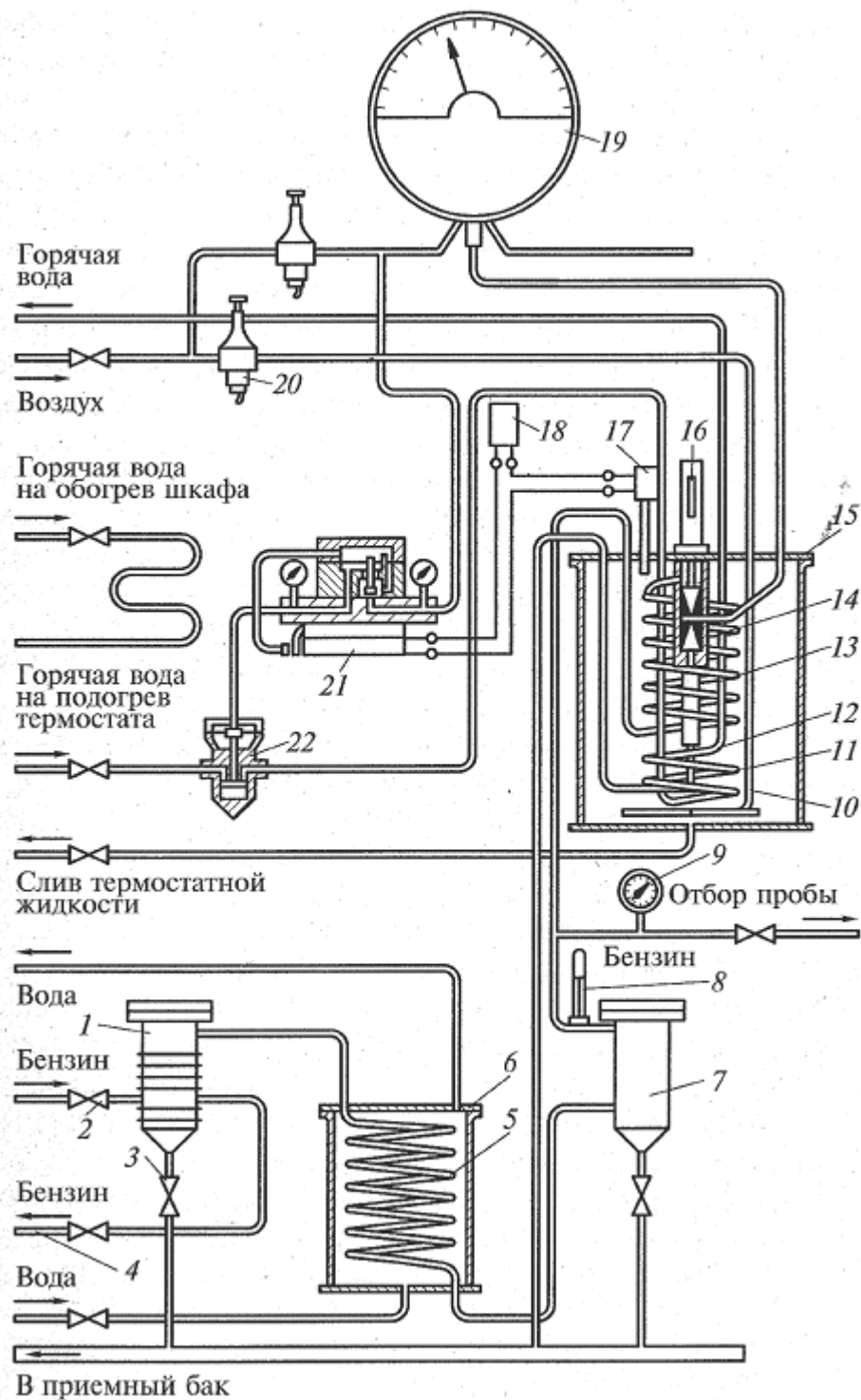


Рис.14.2. Конструкция первичного преобразователя упругости паров бензина ДУ-1М

Его основные технические характеристики:

Пределы измерения, Па $3,3 \cdot 10^4 \dots 8,7 \cdot 10^4$

Основная допустимая абсолютная погрешность измерения, Па $\pm 0,2 \cdot 10$

Бензин на входе в первичный преобразователь должен иметь следующие характеристики:

Температура, °С До 105

Давление, МПа 6...12
Расход, л/мин 0,8

В основу действия прибора положен принцип измерения вакууметром динамического равновесия между вакуумом, образующемся в межсопловом пространстве струйного насоса, через который протекает анализируемый бензин, и давлением его паров при температуре термостатирования 38°C . Степень компенсации вакуума парами исследуемого бензина зависит от упругости его паров.

Конструкция первичного преобразователя прибора представлена на рис. 14.2. Бензин, отбираемый с технологической установки на анализ, поступает в фильтр грубой очистки 1. Часть бензина проходит через фильтр, очищается от механических примесей и, предварительно охладившись, попадает в холодильник 6. Остальная (основная) часть бензина по трубопроводу 4 возвращается в технологическую линию. Пройдя через змеевик 5 холодильника, который омывается проточной водой, бензин охлаждается до температуры $25...35^{\circ}\text{C}$, попадает в фильтр тонкой очистки 7 и далее в термостат 15. Пройдя по змеевику 13, помещенному в термостатную жидкость (антифриз), анализируемый бензин нагревается до температуры термостатирования $+38^{\circ}\text{C}$ и поступает в струйный насос 14. Струя бензина, проходя через сопло струйного насоса, создает около сопла разрежение (вакуум), которое заполняется парами бензина. Разрежение измеряется вакуумметром 19 и преобразуется им в пневматический выходной сигнал преобразователя. Из струйного насоса 14 бензин через сифонную трубку 12 самотеком поступает в приемный бак на утилизацию. Система термостатирования, обеспечивающая необходимую температуру анализируемого бензина, состоит из термостата 15, ртутного контактного термометра 17, отсекающего пневматического клапана 22, блока реле 21 и блока электропитания 18. При изменении температуры термостатной жидкости контактный термометр замыкает или размыкает электрическую цепь питания якоря блока реле, который используется в качестве заслонки воздушного сопла. Таким образом, электрический сигнал от термоконтактора преобразуется в пневматический. Усиленный пневмосигнал от блока реле поступает на исполнительный пневмоклапан, который открывает или закрывает подачу теплоносителя в змеевик подогрева. Температура бензина после фильтра тонкой очистки и в термостате измеряется соответственно термометрами 8 и 16. Градуировка и поверка рассмотренного прибора осуществляются по результатам лабораторных анализов контрольных проб анализируемого вещества.

Анализаторы влажности жидких сред в нефтепереработке и нефтехимии предназначены для измерения содержания влаги в ацетоне, метилом, этиломе, бутиломе спиртах, изопрене, толуоле и других веществах переработки нефтепродуктов.

Принцип действия измерительных преобразователей у этих анализаторов основан на измерении степени поглощения жидкой влагой энергии излучения в инфракрасной области спектра на определенной характеристической полосе с максимумами 1,89; 1,91; 2,7 мкм. Пределы измерений приборов соответствуют диапазонам изменения влажности жидких материалов, используемых в нефтепереработке (0... 10 % по объему). Основная допускаемая приведенная погрешность в зависимости от пределов измерения составляет $\pm(2,5...6)\%$.

Градуировка анализаторов проводится с помощью контрольных смесей, аттестованных на содержание влаги лабораторным анализом. Поверка выполняется сравнением показаний анализатора с результатами лабораторных анализов контрольных проб.

Индикаторы цветности нефтепродуктов предназначены для сигнализации об отклонениях нормы цвета нефтепродуктов и других жидкостей в технологическом потоке. Принцип действия наиболее распространенных индикаторов цветности основан на измерении оптической плотности (цвета) продукта путем определения светопоглощения в видимой области спектра в диапазоне 450...700 нм. В качестве

первичного преобразователя в индикаторах типа АФИТ применяется однолучевой фотометр с одним источником и одним приемником излучения с непосредственным отсчетом показаний.

Анализаторы фракционного состава. Фракционный состав — основной параметр качества продуктов нефтепереработки. Нефть представляет собой сложную смесь углеводородов различного химического состава. Нефтепродукты разделяют путем перегонки на отдельные части, каждая из которых является менее сложной смесью. Такие части принято называть фракциями или дистиллятами. Нефтяные фракции не имеют постоянной температуры кипения. Они выкипают в определенных интервалах температур, т. е. имеют температуры начала и конца кипения, которые зависят от химического состава фракции.

Фракционный состав нефтепродуктов определяется в лабораторных условиях путем их перегонки. Для определения содержания отдельных фракций в светлых нефтепродуктах по температуре кипения или вспышки применяются агрегатированные комплексы анализатора фракционного состава нефтепродуктов АКТК. Структурная схема агрегатированного комплекса АКТК изображена на рис. 2.189.

Анализируемый продукт поступает на вход технологического комплекса, который выполняет функции отбора и подготовки пробы для анализа (фильтрация, обезвоживание, стабилизация давления, дозирование и охлаждение). Пройдя через функциональные блоки технологического комплекса проба попадает в измерительный преобразователь 2, где непрерывно автоматически выполняется анализ по определению температуры кипения или температуры вспышки. При этом измеряемая величина преобразуется в эдс термопары, которая является выходным сигналом измерительного преобразователя. Этот сигнал подается на вторичный прибор — электронный потенциометр 3 или через нормирующий преобразователь 4 на электронный миллиамперметр 5.

Основная литература: 1 [317 – 323]

Дополнительная литература: 8 [236 – 258]

Контрольные вопросы:

1. Как работает анализатор температуры вспышки?
2. Принцип действия анализатора кислотного числа.
3. Для чего предназначены индикаторы цветности нефтепродуктов?
4. Принцип действия анализатора фракционного состава.

Лекция №15. Выбор средств измерения и контроля

Правильный выбор средств измерения и контроля, с одной стороны, обеспечивает получение достоверной информации об измеряемом объекте, а это гарантия качества изготавливаемых изделий, а с другой стороны — позволяет оптимизировать затраты производства на контрольные операции.

Выбор средств измерения и контроля зависит от целого ряда факторов, таких как масштаб производства, организационно-технические формы контроля, принятые на производстве, конструктивные особенности объекта измерения и контроля, экономические и другие факторы, а также от обязательных и дополнительных показателей, устанавливаемых ГОСТ 14.306—73.

Масштаб (объем) производства определяет тип средства измерения и контроля, а также необходимую производительность процесса измерения и контроля, а следовательно, уровень его автоматизации или механизации.

Так, в индивидуальном и мелкосерийном производствах номенклатура выпускаемых изделий достаточно широкая, объем выпуска небольшой и часто изменяемый. Высокое качество изделий, в большинстве своем, зависит от индивидуальных навыков и квалификации операторов. Оно не гарантируется принудительно ходом технологического процесса. И поэтому в этих условиях особенно необходимы тщательный пооперационный контроль

изготавливаемых изделий, наличие соответствующих универсальных средств измерения и контроля, а также контролеры достаточно высокой квалификации. При индивидуальном производстве, как правило, не проектируют специальной контрольно-измерительной оснастки, что объясняется не только экономической нецелесообразностью, но также во многих случаях и невозможностью задерживать изготовление изделий на длительные сроки, необходимые для проектирования, изготовления и отладки специальных средств измерения и контроля.

При серийном производстве, как правило, изготавливают взаимозаменяемые детали, узлы и изделия, номенклатура которых не меняется в течение достаточно продолжительного времени. Однородность деталей по качеству достигается применением специализированного оборудования, инструмента и оснастки, которые чаще всего выполняют в виде сменных приспособлений и устройств к универсальным станкам. Работу ведут по отработанной технологии. Поэтому соответствующий пооперационный контроль необязателен. Контрольные операции выполняют после ряда операций или после окончательного изготовления деталей универсальными измерительными средствами, специализированными контрольными приспособлениями, жесткими предельными калибрами и шаблонами.

При массовом производстве номенклатура изделий постоянна: в больших количествах в течение длительного времени изготавливаются взаимозаменяемые детали, узлы и изделия. Качество изделий обеспечивается отработанной технологией, широким применением специализированного оборудования, приспособлений и инструмента, а также введением контрольных операций, являющихся обязательной составной частью единого технологического процесса. В таких производствах широко используют высокопроизводительные механизированные и автоматические контрольно-измерительные средства. Применение контрольных автоматов должно быть экономически обоснованно, так как стоимость их достаточно высока и для обслуживания требуются квалифицированные наладчики. Эти автоматы особенно эффективны при контроле деталей простой геометрической формы небольшой массы с малым числом контролируемых параметров и в особенности при многодиапазонной сортировке и селективной сборке.

Активные средства контроля целесообразно применять как в массовом, так и серийном производствах.

Универсальные средства измерения и контроля в массовом производстве имеют ограниченное применение. Их используют преимущественно при наладке технологической оснастки.

С позиций **организационно-технических форм контроля** различают:

- 100% - ный контроль, который назначается при сортировке деталей на размерные группы и применении селективной сборки, а также при измерении функциональных параметров, определяющих эксплуатационные показатели изделия в целом. В этих случаях для условий массового производства назначают специальные контрольно-сортировочные автоматы и устройства, а для условий индивидуального и мелкосерийного производства — универсальные (реже специализированные) средства измерения с достаточно высокой точностью измерения;

- выборочный контроль с установлением процента выборки в зависимости от стабильности технологического процесса, совокупности контролируемых признаков, задач и целей контрольных операций. В зависимости от объема выборки назначают как специальные, так и универсальные средства измерения с допустимой погрешностью измерения;

- статистический метод выборочного контроля применяют для приемки готовых изделий (приемочный контроль) и для управления точностью в процессе производства (управляющий контроль). В первом случае выбор средств измерения во многом зависит от объема производства, точностных показателей процесса измерения, конструктивных особенностей объекта измерения, экономических и других

факторов. Для управляющего контроля в условиях массового производства применяют различные средства автоматизации измерения, в том числе средства активного контроля, управляющие системы различного уровня.

Конструктивные особенности объекта измерения и контроля (форма, число контролируемых параметров, габаритные размеры и масса деталей) также влияют на выбор типа средства измерения и контроля. Так, детали больших габаритных размеров и массы измеряют и контролируют переносными средствами измерения и контроля. При большом числе контролируемых параметров рекомендуется применять многомерные средства измерения и контроля.

При выборе средства измерения необходимо учитывать материал контролируемой детали, жесткость ее конструкции и шероховатость поверхности с позиций повреждаемости объекта измерения. Измерение тонкостенных деталей и деталей из легких сплавов и пластмасс следует выполнять бесконтактным методом или средствами с малыми измерительными усилиями.

В соответствии с ГОСТ 14.306—73 установлены обязательные показатели процесса измерения и контроля. К ним отнесены: точность измерения, достоверность, трудоемкость и стоимость. В качестве дополнительных показателей для выбора средств измерения и контроля используют: объем, полноту, периодичность, продолжительность и другие показатели.

Рассмотрим подробно наиболее важный показатель выбора средств измерения и контроля — точность измерения.

Точность измерения в соответствии с ГОСТ 16263—70 — это качество измерений, отражающее близость их результатов к истинному значению измеряемой величины. Она зависит в основном от погрешности измерения, являющейся следствием проявления ряда причин, создающих суммарный эффект. Таких причин в зависимости от применяемого метода, объекта измерения и условий измерения может быть очень много, но не все они в одинаковой мере оказывают влияние на общую погрешность измерения. В общем случае на точность показания средств измерения (СИ) оказывают влияние погрешности и факторы:

- установки объекта измерения в СИ или установки СИ на объект измерения;
- измерительного устройства и передаточных элементов при нормированных условиях;
- установочных мер, используемых для настройки измерительных средств;
- температурных колебаний, возникающих от комплекса причин, обобщенных понятием «температурный режим»;
- вызванные упругими деформациями от воздействия усилий закрепления объекта измерения в СИ и колебаниями измерительных усилий средств измерения;
- вызванные нарушением первичной настройки измерительных средств;
- обусловленные наличием шероховатости измеряемой поверхности;
- связанные с конструктивными особенностями измерительных средств;
- зависящие от оператора (субъективные погрешности) и др.

Погрешность установки объекта измерения в СИ_к, суммируется из погрешностей базирования, закрепления и погрешности положения объекта, вызываемой неточностью получения линейных размеров установочных элементов или выполнения технических требований на изготовление СИ.

Погрешность измерительного устройства $A_{иу}$ является в большинстве случаев основной составляющей, оказывающей доминирующее влияние на суммарную погрешность измерения. Как отмечалось выше, ошибки измерительных устройств могут быть систематическими и случайными. Систематическая погрешность может быть уменьшена в \sqrt{n} раз многократными измерениями.

При считывании показаний со шкалы обычного (с незеркальной шкалой) средства измерения возникает погрешность считывания как следствие имеющегося зазора между

стрелкой и шкалой и различных углов наклона глаза наблюдателя относительно шкалы. Это явление называется явлением *параллакса*. В общем случае это перспективное (кажущееся) смещение рассматриваемого объекта, вызванное смещением точки наблюдателя.

Погрешности установочных мер, используемых для настройки измерительных средств Δ_m . В качестве установочных мер применяют универсальные (концевые меры длины) и специальные (изготовленные по виду измеряемого объекта). Погрешность измерения будет меньше, если установочная мера будет максимально подобна измеряемой детали по конструкции, массе, материалу, его физическим свойствам, способу базирования и т.д.

Погрешности от концевых мер длины возникают из-за погрешности их изготовления, включая измерение (классы), или погрешности аттестации (разряды), а также из-за погрешности от притирания.

При назначении концевых мер длины отдельно не учитывается их нагрев от рук оператора. В некоторых случаях это обстоятельство может внести дополнительную погрешность. При этом нагрев мер осуществляется значительно быстрее, чем остывание. Последнее необходимо учитывать при определении времени, которое должно пройти от сборки блока до использования его при настройке СИ.

При применении в качестве установочной меры специальных (эталонных) деталей погрешность изготовления будет состоять из систематической погрешности Δ'_m и случайных погрешностей Δ''_m . В первом случае учитываются отклонения действительных размеров меры от номинальных, а во втором — отклонения от соосности, параллельности, перпендикулярности и т. п., которые косвенно влияют на точность измерения. В этом случае погрешность установочной меры определится суммированием $\Delta'_m + \Delta''_m$. В практических расчетах аттестация эталонных деталей должна выполняться с точностью, принятой для аналогичных размеров концевых мер длины.

Погрешности, возникающие от температурных деформаций, Δ_T (температурные погрешности). Выявление суммарного влияния температурных деформаций на погрешность измерения сложно и связано с необходимостью иметь данные о физических свойствах материалов деталей средства измерения и объекта измерения и температурных полях в этих деталях. Точный расчет в связи с этим трудоемок, поэтому выполняется упрощенный расчет с использованием так называемого температурного режима.

Температурный режим — это условная, выраженная в градусах Цельсия, разность температур объекта измерения и измерительного средства, которая при определенных «идеальных» условиях вызовет ту же температурную погрешность, что и весь комплекс реально существующих причин.

Эффективным методом сокращения погрешности от температурных деформаций является создание условий измерения, при которых этими погрешностями можно пренебречь. В действующем производстве применяются следующие конкретные меры для этого: выравнивание температур СИ и объекта измерения; применение термостатированных помещений и стабилизация температур измеряемых объектов; применение теплоизоляционных колпаков или кожухов; введение в конструкцию СИ теплоизоляционных накладок, рукояток и т.п.

Погрешности, вызванные деформацией элементов СИ или объекта измерения в результате воздействия силовых факторов — усилий закрепления объекта измерения в СИ и измерительных усилий средства измерения. Как отмечалось выше, при измерении на объект измерения действуют силы от средства измерения и от зажимных элементов приспособления. Для обеспечения надежного контакта объекта измерения с установочными элементами СИ, предупреждения его смещения в процессе измерения необходимо обеспечить условие равновесия от действующих на него усилий.

Максимальное усилие, возникающее в этом случае, следует учитывать при расчете контактных деформаций, влияющих на погрешность $\Delta_{\text{кк}}$.

Погрешности настройки СИ $\Delta_{\text{н}}$ возникают в результате неточного его выполнения, износа установочных элементов, случайных внешних факторов. Значения этих погрешностей устанавливаются в процессе аттестации средств измерения.

Погрешности, обусловленные наличием шероховатости измеряемой поверхности $\Delta_{\text{ш}}$. Влияние шероховатости объекта измерения на погрешность измерения СИ с точечными контактами определяют исходя из высоты и шага микронеровностей и радиуса измерительной поверхности наконечника. Особенно это заметно при измерении внутренних поверхностей. Так, при измерении отверстия диаметром 35 мм нутромером с ценой деления 0,01 мм погрешность измерения составляет 4 мкм для шлифовальных поверхностей и 8 мкм — для расточенных. Это объясняется тем, что в зависимости от высотных и шаговых параметров шероховатости измеряемый размер изменяется даже при незначительном перемещении измерительного наконечника. Скачкообразное изменение размера и является основным источником погрешности измерения. При увеличении радиуса сферы измерительной поверхности наконечников это изменение уменьшается и погрешность снижается.

Наиболее простым способом, который можно рекомендовать для уменьшения влияния шероховатости на погрешность измерения, является нанесение небольшого слоя смазки или смазочно-охлаждающей жидкости на измеряемую поверхность.

Погрешности, связанные с конструктивными особенностями измерительных средств, входят в общую погрешность измерительного устройства $\Delta_{\text{иу}}$ и могут быть учтены при разработке СИ. Эти погрешности являются случайными и независимыми. Например, наличие дополнительных погрешностей СИ, связанных с отличием условий поверки и измерения; изменением нагрева СИ от рук оператора; отличием условий поверки и измерения при наличии арретирующих устройств и т.п.

Погрешности, зависящие от оператора (субъективные погрешности). Возможны четыре вида субъективных погрешностей:

- субъективные погрешности присутствия;
- субъективные погрешности считывания показаний;
- субъективные погрешности действия;
- профессиональные субъективные погрешности.

Субъективная погрешность присутствия проявляется в виде влияния теплоизлучения оператора на температуру окружающей среды.

Субъективные погрешности считывания показаний рассмотрены выше и включают в себя погрешность измерителя в пределах цены деления и погрешность параллакса.

К субъективным погрешностям действия относятся погрешности, вносимые оператором при настройке средства измерения, подготовке объекта измерения или установочных мер и т.д.

Они перекликаются с профессиональными субъективными погрешностями. Последние непосредственно связаны с квалификацией оператора, его отношением к процессу измерения, с той ролью, которую занимает измерение в выполняемых оператором производственных функциях.

Определение суммарной погрешности измерения. Точность показаний СИ определяется суммарной погрешностью, составляющими которой являются систематические и случайные погрешности. Независимые случайные погрешности, в большинстве своем, подчиняются закону нормального распределения, и поэтому суммируют их по правилам теории вероятности для независимых случайных величин.

Экономические показатели выбора средств измерения занимают важное место в процедуре выбора и его обоснования. К ним относят стоимость средства измерения, продолжительность его работы до ремонта, срок окупаемости, время настройки средства

измерения и время, затраченное на измерение, необходимую квалификацию оператора и др.

ГОСТ 14.306—73 определяет экономическое обоснование выбора средства измерения по его экономической эффективности.

Основная литература: 1 [440 – 451]

Дополнительная литература: 8 [9 – 55]

Контрольные вопросы:

1. От каких факторов зависит выбор средств контроля и измерения?
2. Как влияет масштаб производства на выбор средств измерения и контроля?
3. Как различаются организационно-техническая форма контроля?
4. Какие факторы и погрешности влияют на точность показания средств измерения и контроля?
5. От чего зависят экономические показатели выбора средств измерения и контроля?

2.3. Планы практических занятий

Тема № 1. «Изучение методов и средств измерения температур» - 2 ч.

Задание:

1. Ознакомиться с методами технических средств измерения температур применяемых в промышленности..
2. Изучить устройства технических средств измерения температур.
3. Оценить достоинства и недостатки, области применения технических средств измерения температур.

Методические рекомендации:

1. Для проведения работы необходимо предварительно внимательно изучить по рекомендуемой литературе методы измерения температур, применяемые конструкции термометров и схемы их подключения во избежания погрешностей измерения.
2. При использовании термоэлектрических термометров особое внимание обратить на соблюдение полярности электродов и компенсацию холодного спая.
3. Приступать к измерениям только с разрешения руководителя занятий.

Основная литература: 1 [159 – 186]

Дополнительная литература: 5 [59 – 86]

Контрольные вопросы:

1. Перечислите все средства измерения температур, применяемые в технике.
2. Какие типы термоэлектрических термостатов вы знаете, их области применения?

Тема № 2. Проверка и тарировка термопар и термосопротивлений – 2 ч.

Задание:

1. Ознакомиться с конструкцией термоэлектрических термометров и термометров сопротивления.
2. Собрать схемы измерения и подключить к прибору.
3. Провести измерение, построить их градуировочные характеристики.

Методические рекомендации:

1. Для проведения работы необходимо предварительно внимательно изучить по рекомендуемой литературе методы измерения температур, применяемые конструкции термометров и схемы их подключения во избежания погрешностей измерения.
2. При использовании термоэлектрических термометров особое внимание обратить на соблюдение полярности электродов и компенсацию холодного спая.
3. Приступать к измерениям только с разрешения руководителя занятий.

Основная литература: 1 [159 – 186]

Дополнительная литература: 5 [59 – 86]

Контрольные вопросы:

1. Какие типы термосопротивлений вы знаете, их области применения?
2. Укажите схемы подключения термопар и термосопротивлений в измерительную цепь?
3. На чем основан принцип измерения температуры термопарами, термосопротивлениями?

Тема № 3. «Изучение устройств и средств измерения давления» - 2 ч.

Задание:

1. Ознакомиться с конструкцией манометров, вакуумметров, электрическими приборами давления.
2. Изучить сведения о методах измерения давления с их помощью.
3. Собрать схемы проверки и тарировки и провести измерения. Построить градуировочную кривую, оценить погрешность.

Методические рекомендации:

1. Для проведения работы внимательно изучить по рекомендуемой литературе методы и средства измерения давления, особенности их применения, правильность монтажа и эксплуатации.
2. Не использовать несоответствующие приборы для измерения давления.
3. Соблюдать правила безопасности при проведении измерений. Не приступать к работе без разрешения руководителя занятий.

Основная литература: 1 [260 – 273]

Дополнительная литература: 5 [86 – 96]

Контрольные вопросы:

1. Перечислите средства измерений давлений и их области применения.
2. На чем основан их принцип измерения давления?
3. Какими приборами измеряется разность давлений?
4. Объясните конструкцию приборов давления с упругими чувствительными элементами.
5. Приведите схемы установок манометров для измерения давлений жидкости и газов в трубопроводах.

Тема № 4. «Изучение устройств и средств измерения расхода жидкости» - 2 ч.

Задание:

1. Ознакомиться с конструкцией расходомеров жидкости.
2. Изучить методики измерения расходов жидкости.
3. Собрать схему измерения.
4. Провести измерения и построить градуировочную характеристику.

Методические рекомендации:

1. Для проведения работы внимательно изучить по рекомендуемой литературе методы и средства измерения расходов жидкости, особенности их монтажа и эксплуатации.
2. Изучить теорию измерения расходов и количества жидкостей по перепаду давления в сужающем устройстве, о методах расчета сужающих устройств и погрешностях измерения.
3. Приступать к измерениям только с разрешения руководителя занятий.

Основная литература: 1 [273 – 286]

Дополнительная литература: 5 [96 – 106]

Контрольные вопросы:

1. На чем основан принцип измерения расхода жидкости сужающими устройствами?
2. Что такое коэффициент расхода?

3. Тахометрические расходомеры, принцип их работы.
4. Теория измерения расходов ротаметрами и их конструкции?
5. Индукционные и электромагнитные расходомеры, принцип их действия?

Тема №5. «Изучение устройств и средств измерения расхода газа» - 2 ч.

Задание:

1. Ознакомиться с конструкцией расходомеров газа.
2. Изучить методики измерения расходов газа.
3. Собрать схему измерения.
4. Провести измерения и построить градуировочную характеристику.

Методические рекомендации:

1. Для проведения работы внимательно изучить по рекомендуемой литературе методы и средства измерения расходов газа, особенности их монтажа и эксплуатации.
2. Изучить теорию измерения расходов и количества газа по перепаду давления в сужающем устройстве, о методах расчета сужающих устройств и погрешностях измерения.
3. Приступать к измерениям только с разрешения руководителя занятий.

Основная литература: 1 [273 – 286]

Дополнительная литература: 5 [115 – 128]

Контрольные вопросы:

1. На чем основан принцип измерения расхода газа сужающими устройствами?
2. Что такое коэффициент расхода газа?
3. Тахометрические расходомеры газа, принцип их работы.
4. Теория измерения расходов ротаметрами и их конструкции?
5. Индукционные и электромагнитные расходомеры газа, принцип их действия?

Тема № 6. «Изучение методов и средств измерения электрических величин» - 2 ч.

Задание:

1. Изучит конструкции приборов для измерения величин токов, напряжений и сопротивлений.
2. Изучить схемы их подключения при измерении ими постоянного и переменного токов.
3. Собрать схемы измерения.
4. Провести измерения и заполнить журнал.

Методические рекомендации:

1. Для проведения работы ознакомиться с рекомендуемой литературой. Особое внимание обратить на правила безопасности при работе с электрическим напряжением.
2. Изучить конструкцию вольтметра, амперметра и омметра, схему их подключения, правила пользования ими.

Основная литература: 1 [196 – 226]

Дополнительная литература: 5 [129 – 136]

Контрольные вопросы:

1. Отличается ли схема подключения вольтметра в цепь постоянного и переменного токов?
2. На чем основан принцип измерения величин токов токоизмерительными клещами и шунтами?
3. Чем и как определить сопротивление изоляции электроустановок?

Тема № 7. «Обработка данных экспериментальных данных» - 3 ч.

Задание: систематизировать полученные результаты и построить соответствующие графики.

Методические рекомендации: для проведения работы ознакомиться с темой «Основы теории измерения».

Основная литература: 1 [21 – 30]

Дополнительная литература: 5 [140 – 157]

Контрольные вопросы:

1. Какие вы знаете группы погрешности измерения?
2. В чем причины появления случайной и систематической погрешностей измерения?
3. Каковы правила округления результатов расчетов?

2. 4. Планы занятий в рамках самостоятельной работы студентов под руководством преподавателя (СРСП)

№	Задания	Методические рекомендации	Форма проведения	Литература
1	Погрешность прибора и погрешность измерения прибором.	Систематические и случайные погрешности. Обработка результатов измерения для определения погрешности измерения. Составляющие погрешности измерения.	Доклад и обсуждение	Осн 2[24-36]
2	Плоскопараллельные концевые меры длины	Основные технические требования к концевым мерам длины. Области применения концевых мер длины. Методы и средства поверки концевых мер длины.	Доклад и обсуждение	Осн 2[37-45]
3	Пневматические измерительные средства постоянного перепада давления	Схема ротаметра. Конструкция длиномера высокого давления. Погрешности измерения.	Дискуссия	Осн 2[158-165]
4	Пневматические измерительные средства переменного перепада давления	Схема солекса. Основные технические характеристики. Погрешности измерения	Дискуссия	Осн 2[158-165]
5	Измерительные средства с оптико-механическим преобразованием.	Оптиметры. Длиномеры. Интерферометры.	Дискуссия	Осн 2[174-194]
6	Двухкоординатные измерительные приборы	Измерительные микроскопы: конструкция, погрешности измерения, перспективы развития	Дискуссия	Осн 2[144-205]
7	Контроль качества нефтепродуктов на основе лабораторных методов анализа	Ошибки при контроле качества одной партии нефтепродуктов. Ошибки при контроле качества множества партии нефтепродуктов.	Дискуссия	Доп 6[13-28]
8	Контроль качества с	Оценка вероятностей	Доклад и	Доп 6[47-81]

	помощью автоматических промышленных анализаторов	состояний автоматического промышленного анализатора. Количественная оценка достоверности измерительной информации. Требования к автоматическим промышленным анализаторам качества технологических потоков.	обсуждение	
9	Плотномеры	Поплавковые плотномеры. Весовые плотномеры. Гидростатические плотномеры. Ультразвуковые плотномеры. Радиоизотопные плотномеры.	Тренинг	Доп 6[120-130]
10	Вискозиметры	Капиллярные вискозиметры. Шариковые вискозиметры. Ротационные вискозиметры. Вибрационные вискозиметры.	Тренинг	Доп 6[133-144]
11	Оптические анализаторы	Колориметры. Рефрактометры.	Дискуссия	Доп 6[144-151]
12	Анализаторы условных характеристик нефтепродуктов	Анализаторы фракционного состава. Анализаторы определения давления паров. Анализаторы определения температуры вспышки. Анализаторы определения температуры застывания.	Тренинг	Доп 6[152-162]
13	Хроматографы	Назначение. Виды. Устройства. Характеристика детекторов.	Тренинг	Доп 6[162-168]
14	Анализаторы сточных вод.	Определение нефтепродуктов в промышленных сточных водах. Определение нефтепродуктов ИК-спектрофотометрами. Определение фенолов в промышленных сточных водах.	Тренинг	Доп 6[168-176]
15	Эксплуатационная надежность анализаторов качества нефтепродуктов	Сбор информации о надежности анализаторов. Программа обеспечения надежности анализатора качества нефтепродуктов на этапах эксплуатации и ремонта.	Тренинг	Доп 6[182-192]

2.5. Планы занятий в рамках самостоятельной работы студентов (СРС)

№	Задание	Методические рекомендации	Литература
1	Средства измерения и контроля с оптическим и оптико-механическим преобразованием	Оптикаторы. Оптиметр. Оптический длиномер. Интерферометр. Оптические линейки	Осн. 1 [79-97]
2	Средства измерения и контроля с пневматическим преобразованием	Приборы давления. Приборы расхода.	Осн. 1 [97-104]
3	Средства измерения и контроля с электрическим и электромеханическим преобразованием	Индуктивные приборы. Емкостные измерительные системы. Механотронные измерительные приборы. Фотоэлектрические измерительные приборы.	Осн. 1 [104-108]
4	Средства измерения и контроля с радиоактивным преобразованием	Радиоактивные измерительные приборы: принципиальные схемы, устройства и работа.	Осн. 1 [108-111]
5	Методы и средства измерения и контроля динамических величин	Динамометры. Маментомеры.	Осн. 1 [118-129]
6	Методы и средства измерения и контроля механических свойств веществ и материалов	Определение твердости вещества. Измерение плотности. Измерение вязкости.	Осн. 1 [144-159]
7	Методы и средства измерения и контроля теплофизических свойств веществ и материалов	Метод непосредственного нагревания. Метод смешения. Метод продольного теплового потока.	Осн. 1 [186-196]
8	Визуальные методы и средства фотометрии	Прямой метод. Метод замещения. Схемы визуальных фотометрических приборов.	Осн. 1 [231-237]
9	Основы волоконной оптики и волоконно-оптические средства измерения	Основные элементы волоконно-оптических систем. Принцип действия волоконного световода.	Осн. 1 [241-249]
10	Средства измерения зубчатых колес	Измерение параметров, характеризующих кинематическую точность, плавность работы, боковой зазор.	Осн 2 [344-358]
11	Средства измерения резьбы	Основные элементы цилиндрической метрической резьбы. Комплексные средства контроля резьбы. Измерение отдельных элементов резьбы.	Осн 2 [233-237]
12	Методы и средства измерения углов	Классификация методов измерения. Методы и средства измерения углов.	Осн 2 [254-272]
13	Средства измерения	Нормируемые параметры	Осн 2 [363-375]

	шероховатости	шероховатости. Бесконтактные и контактные средства измерения шероховатости.	
14	Средства автоматизации измерения размеров	Основные виды средства автоматизации и механизации процесса измерения. Контрольные автоматы. Автоматизированные измерительные устройства.	Осн 2[378-404]
15	Средства измерения отклонений формы поверхностей	Средства измерения отклонений от плоскостности, прямолинейности в плоскости и формы цилиндрических деталей	Осн 2[292-344]

2.6 Тестовые задания для самоконтроля

1. Дайте определение размеру физической величины (ФВ)

А) количественное содержание в данном объекте свойства, соответствующего понятию «физическая величина»;

В) оценка физической величины в виде некоторого числа принятых для ее единиц, причем отвлеченное (безразмерное) число, входящее в значение ФВ, называется числовым значением (например, 1 м, 5 г, 10 А и т.д.);

С) значение ФВ, которое идеальным образом отражало бы в количественном и качественном отношениях соответствующее свойство объекта;

Д) значение ФВ, найденное экспериментальным путем и настолько приближающееся к истинному, что для данной цели может быть использовано вместо него;

Е) совокупность ФВ, связанных между собой зависимостями.

2. Дайте определение значению физической величины (ФВ)

А) количественное содержание в данном объекте свойства, соответствующего понятию «физическая величина»;

В) оценка физической величины в виде некоторого числа принятых для ее единиц, причем отвлеченное (безразмерное) число, входящее в значение ФВ, называется числовым значением (например, 1 м, 5 г, 10 А и т.д.);

С) значение ФВ, которое идеальным образом отражало бы в количественном и качественном отношениях соответствующее свойство объекта;

Д) значение ФВ, найденное экспериментальным путем и настолько приближающееся к истинному, что для данной цели может быть использовано вместе него;

Е) совокупность ФВ, связанных между собой зависимостями.

3. Дайте определение истинному значению физической величины (ФВ)

А) количественное содержание в данном объекте свойства, соответствующего понятию «физическая величина»;

В) оценка физической величины в виде некоторого числа принятых для ее единиц, причем отвлеченное (безразмерное) число, входящее в значение ФВ, называется числовым значением (например, 1 м, 5 г, 10 А и т.д.);

С) значение ФВ, которое идеальным образом отражало бы в количественном и качественном отношениях соответствующее свойство объекта;

Д) значение ФВ, найденное экспериментальным путем и настолько приближающееся к истинному, что для данной цели может быть использовано вместе него;

Е) совокупность ФВ, связанных между собой зависимостями.

4. Дайте определение действительному значению физической величины (ФВ)

А) количественное содержание в данном объекте свойства, соответствующего понятию «физическая величина»;

В) оценка физической величины в виде некоторого числа принятых для ее единиц, причем отвлеченное (безразмерное) число, входящее в значение ФВ, называется числовым значением (например, 1 м, 5 г, 10 А и т.д.);

С) значение ФВ, которое идеальным образом отражало бы в количественном и качественном отношениях соответствующее свойство объекта;

Д) значение ФВ, найденное экспериментальным путем и настолько приближающееся к истинному, что для данной цели может быть использовано вместе него;

Е) совокупность ФВ, связанных между собой зависимостями.

5. Дайте определение систему физической величины (ФВ)

А) количественное содержание в данном объекте свойства, соответствующего понятию «физическая величина»;

В) оценка физической величины в виде некоторого числа принятых для ее единиц, причем отвлеченное (безразмерное) число, входящее в значение ФВ, называется числовым значением (например, 1 м, 5 г, 10 А и т.д.);

С) значение ФВ, которое идеальным образом отражало бы в количественном и качественном отношениях соответствующее свойство объекта;

Д) значение ФВ, найденное экспериментальным путем и настолько приближающееся к истинному, что для данной цели может быть использовано вместе него;

Е) совокупность ФВ, связанных между собой зависимостями.

6. Дайте определение основной физической величине (ФВ)

А) физическая величина, входящая в систему и условно принятая в качестве независимой от других величин этой системы;

В) физическая величина, входящая в систему и определяемая через основные величины этой системы по известным физическим зависимостям;

С) выражение, отражающее связь величины с основными величинами системы, в которой коэффициент пропорциональности равен единице;

Д) физическая величина, которой по определению присвоено числовое значение, равное единице;

Е) свойство, общее в качественном отношении многим физическим объектам (физическим системам, их состояниям и происходящим в них процессам), но в количественном отношении индивидуальное для каждого объекта.

7. Дайте определение производной физической величине (ФВ)

А) физическая величина, входящая в систему и условно принятая в качестве независимой от других величин этой системы;

В) физическая величина, входящая в систему и определяемая через основные величины этой системы по известным физическим зависимостям;

С) выражение, отражающее связь величины с основными величинами системы, в которой коэффициент пропорциональности равен единице;

Д) физическая величина, которой по определению присвоено числовое значение, равное единице;

Е) свойство, общее в качественном отношении многим физическим объектам (физическим системам, их состояниям и происходящим в них процессам), но в количественном отношении индивидуальное для каждого объекта.

8. Дайте определение размерности физической величины (ФВ)

А) физическая величина, входящая в систему и условно принятая в качестве независимой от других величин этой системы;

В) физическая величина, входящая в систему и определяемая через основные величины этой системы по известным физическим зависимостям;

С) выражение, отражающее связь величины с основными величинами системы, в которой коэффициент пропорциональности равен единице;

Д) физическая величина, которой по определению присвоено числовое значение, равное единице;

Е) свойство, общее в качественном отношении многим физическим объектам (физическим системам, их состояниям и происходящим в них процессам), но в количественном отношении индивидуальное для каждого объекта.

9. Дайте определение единице физической величины (ФВ)

А) физическая величина, входящая в систему и условно принятая в качестве независимой от других величин этой системы;

В) физическая величина, входящая в систему и определяемая через основные величины этой системы по известным физическим зависимостям;

С) выражение, отражающее связь величины с основными величинами системы, в которой коэффициент пропорциональности равен единице;

Д) физическая величина, которой по определению присвоено числовое значение, равное единице;

Е) свойство, общее в качественном отношении многим физическим объектам (физическим системам, их состояниям и происходящим в них процессам), но в количественном отношении индивидуальное для каждого объекта.

10. Дайте определение физической величине (ФВ)

А) физическая величина, входящая в систему и условно принятая в качестве независимой от других величин этой системы;

В) физическая величина, входящая в систему и определяемая через основные величины этой системы по известным физическим зависимостям;

С) выражение, отражающее связь величины с основными величинами системы, в которой коэффициент пропорциональности равен единице;

Д) физическая величина, которой по определению присвоено числовое значение, равное единице;

Е) свойство, общее в качественном отношении многим физическим объектам (физическим системам, их состояниям и происходящим в них процессам), но в количественном отношении индивидуальное для каждого объекта.

11. Основная единица ФВ – это ...

А) единица основной физической величины, выбранная произвольно при построении системы единиц;

В) единица основной физической величины, образуемая по определяющему эту единицу уравнению из основных единиц данной системы единиц;

С) совокупность основных и производных единиц. Относящаяся к некоторой системе величин и образованная в соответствии с принятыми принципами;

Д) такая система, все единицы которой когерентны (т.е. множитель в уравнениях связи ФВ равен единице);

Е) единица в целое число раз больше или соответственно меньше системной или внесистемной единицы.

12. Производная единица ФВ – это ...

- А) единица основной физической величины, выбранная произвольно при построении системы единиц;
- В) единица основной физической величины, образуемая по определяющему эту единицу уравнению из основных единиц данной системы единиц;
- С) совокупность основных и производных единиц. Относящаяся к некоторой системе величин и образованная в соответствии с принятыми принципами;
- Д) такая система, все единицы которой когерентны (т.е. множитель в уравнениях связи ФВ равен единице);
- Е) единица в целое число раз больше или соответственно меньше системной или внесистемной единицы.

13. Система единицы ФВ – это ...

- А) единица основной физической величины, выбранная произвольно при построении системы единиц;
- В) единица основной физической величины, образуемая по определяющему эту единицу уравнению из основных единиц данной системы единиц;
- С) совокупность основных и производных единиц. Относящаяся к некоторой системе величин и образованная в соответствии с принятыми принципами;
- Д) такая система, все единицы которой когерентны (т.е. множитель в уравнениях связи ФВ равен единице);
- Е) единица в целое число раз больше или соответственно меньше системной или внесистемной единицы.

14. Когерентная система единиц ФВ – это ...

- А) единица основной физической величины, выбранная произвольно при построении системы единиц;
- В) единица основной физической величины, образуемая по определяющему эту единицу уравнению из основных единиц данной системы единиц;
- С) совокупность основных и производных единиц. Относящаяся к некоторой системе величин и образованная в соответствии с принятыми принципами;
- Д) такая система, все единицы которой когерентны (т.е. множитель в уравнениях связи ФВ равен единице);
- Е) единица в целое число раз больше или соответственно меньше системной или внесистемной единицы.

15. Кратная или дольная единица ФВ – это ...

- А) единица основной физической величины, выбранная произвольно при построении системы единиц;
- В) единица основной физической величины, образуемая по определяющему эту единицу уравнению из основных единиц данной системы единиц;
- С) совокупность основных и производных единиц. Относящаяся к некоторой системе величин и образованная в соответствии с принятыми принципами;
- Д) такая система, все единицы которой когерентны (т.е. множитель в уравнениях связи ФВ равен единице);
- Е) единица в целое число раз больше или соответственно меньше системной или внесистемной единицы.

16. Измерение ФВ – это ...

- А) нахождение значения ФВ опытным путем с помощью специальных технических средств;

В) измерение ФВ, проводимое прямым методом, при котором искомое значение ФВ получают непосредственно из опытных данных;

С) измерение, при котором искомое значение ФВ находят на основании результата прямого измерения другой ФВ, функционально связанной с искомой величиной известной зависимостью между этой ФВ и величиной, получаемой прямым измерением;

Д) ряд измерений какой-либо величины, выполненных одинаковыми по точности СИ и в одних и тех же условиях;

Е) ряд измерений какой-либо величины, выполненных несколькими различными по точности СИ и (или) в разных условиях.

17. Прямое измерение ФВ – это ...

А) нахождение значения ФВ опытным путем с помощью специальных технических средств;

В) измерение ФВ, проводимое прямым методом, при котором искомое значение ФВ получают непосредственно из опытных данных;

С) измерение, при котором искомое значение ФВ находят на основании результата прямого измерения другой ФВ, функционально связанной с искомой величиной известной зависимостью между этой ФВ и величиной, получаемой прямым измерением;

Д) ряд измерений какой-либо величины, выполненных одинаковыми по точности СИ и в одних и тех же условиях;

Е) ряд измерений какой-либо величины, выполненных несколькими различными по точности СИ и (или) в разных условиях.

18. Косвенное измерение ФВ – это ...

А) нахождение значения ФВ опытным путем с помощью специальных технических средств;

В) измерение ФВ, проводимое прямым методом, при котором искомое значение ФВ получают непосредственно из опытных данных;

С) измерение, при котором искомое значение ФВ находят на основании результата прямого измерения другой ФВ, функционально связанной с искомой величиной известной зависимостью между этой ФВ и величиной, получаемой прямым измерением;

Д) ряд измерений какой-либо величины, выполненных одинаковыми по точности СИ и в одних и тех же условиях;

Е) ряд измерений какой-либо величины, выполненных несколькими различными по точности СИ и (или) в разных условиях.

19. Равноточное измерение ФВ – это ...

А) нахождение значения ФВ опытным путем с помощью специальных технических средств;

В) измерение ФВ, проводимое прямым методом, при котором искомое значение ФВ получают непосредственно из опытных данных;

С) измерение, при котором искомое значение ФВ находят на основании результата прямого измерения другой ФВ, функционально связанной с искомой величиной известной зависимостью между этой ФВ и величиной, получаемой прямым измерением;

Д) ряд измерений какой-либо величины, выполненных одинаковыми по точности СИ и в одних и тех же условиях;

Е) ряд измерений какой-либо величины, выполненных несколькими различными по точности СИ и (или) в разных условиях.

20. Неравноточное измерение ФВ – это ...

А) нахождение значения ФВ опытным путем с помощью специальных технических средств;

В) измерение ФВ, проводимое прямым методом, при котором искомое значение ФВ получают непосредственно из опытных данных;

С) измерение, при котором искомое значение ФВ находят на основании результата прямого измерения другой ФВ, функционально связанной с искомой величиной известной зависимостью между этой ФВ и величиной, получаемой прямым измерением;

Д) ряд измерений какой-либо величины, выполненных одинаковыми по точности СИ и в одних и тех же условиях;

Е) ряд измерений какой-либо величины, выполненных несколькими различными по точности СИ и (или) в разных условиях.

21. Шкала ФВ – это ...

А) последовательность значений, присвоенная в соответствии с правилами принятыми по соглашению, последовательности одноименных ФВ различного размера;

В) техническое средство, используемое при измерениях и имеющее нормированные метрологические свойства;

С) средство измерения, предназначенное для воспроизведения ФВ заданного размера;

Д) средство измерения, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателем;

Е) средство измерения, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для передачи, дальнейшего преобразования, обработки и хранения, но не воспринимаемой непосредственно наблюдателем.

22. Средство измерения – это ...

А) последовательность значений, присвоенная в соответствии с правилами принятыми по соглашению, последовательности одноименных ФВ различного размера;

В) техническое средство, используемое при измерениях и имеющее нормированные метрологические свойства;

С) средство измерения, предназначенное для воспроизведения ФВ заданного размера;

Д) средство измерения, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателем;

Е) средство измерения, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для передачи, дальнейшего преобразования, обработки и хранения, но не воспринимаемой непосредственно наблюдателем.

23. Мера – это ...

А) последовательность значений, присвоенная в соответствии с правилами принятыми по соглашению, последовательности одноименных ФВ различного размера;

В) техническое средство, используемое при измерениях и имеющее нормированные метрологические свойства;

С) средство измерения, предназначенное для воспроизведения ФВ заданного размера;

Д) средство измерения, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателем;

Е) средство измерения, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для передачи, дальнейшего преобразования, обработки и хранения, но не воспринимаемой непосредственно наблюдателем.

24. Измерительный прибор – это ...

А) последовательность значений, присвоенная в соответствии с правилами принятыми по соглашению, последовательности одноименных ФВ различного размера;

В) техническое средство, используемое при измерениях и имеющее нормированные метрологические свойства;

С) средство измерения, предназначенное для воспроизведения ФВ заданного размера;

Д) средство измерения, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателем;

Е) средство измерения, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для передачи, дальнейшего преобразования, обработки и хранения, но не воспринимаемой непосредственно наблюдателем.

25. Измерительный преобразователь – это ...

А) последовательность значений, присвоенная в соответствии с правилами принятыми по соглашению, последовательности одноименных ФВ различного размера;

В) техническое средство, используемое при измерениях и имеющее нормированные метрологические свойства;

С) средство измерения, предназначенное для воспроизведения ФВ заданного размера;

Д) средство измерения, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателем;

Е) средство измерения, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для передачи, дальнейшего преобразования, обработки и хранения, но не воспринимаемой непосредственно наблюдателем.

26. Абсолютная погрешность измерения – это ...

А) погрешность измерения, выраженная в единицах измеряемой величины;

В) отношение абсолютной погрешности измерения к истинному значению измеряемой величины;

С) составляющая погрешности измерения, изменяющаяся случайным по величине и знаку образом при повторных измерениях одной и той же неизменной (детерминированной) величины;

Д) составляющая погрешности измерения, остающаяся постоянной или закономерно изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же детерминированной величины;

Е) погрешность измерения, существенно превышающая ожидаемую при данных условиях погрешность.

27. Относительная погрешность измерения – это ...

А) погрешность измерения, выраженная в единицах измеряемой величины;

В) отношение абсолютной погрешности измерения к истинному значению измеряемой величины;

С) составляющая погрешности измерения, изменяющаяся случайным по величине и знаку образом при повторных измерениях одной и той же неизменной (детерминированной) величины;

Д) составляющая погрешности измерения, остающаяся постоянной или закономерно изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же детерминированной величины;

Е) погрешность измерения, существенно превышающая ожидаемую при данных условиях погрешность.

28. Случайная погрешность измерения – это ...

А) погрешность измерения, выраженная в единицах измеряемой величины;

В) отношение абсолютной погрешности измерения к истинному значению измеряемой величины;

С) составляющая погрешности измерения, изменяющаяся случайным по величине и знаку образом при повторных измерениях одной и той же неизменной (детерминированной) величины;

Д) составляющая погрешности измерения, остающаяся постоянной или закономерно изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же детерминированной величины;

Е) погрешность измерения, существенно превышающая ожидаемую при данных условиях погрешность.

29. Систематическая погрешность измерения – это ...

А) погрешность измерения, выраженная в единицах измеряемой величины;

В) отношение абсолютной погрешности измерения к истинному значению измеряемой величины;

С) составляющая погрешности измерения, изменяющаяся случайным по величине и знаку образом при повторных измерениях одной и той же неизменной (детерминированной) величины;

Д) составляющая погрешности измерения, остающаяся постоянной или закономерно изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же детерминированной величины;

Е) погрешность измерения, существенно превышающая ожидаемую при данных условиях погрешность.

30. Грубая погрешность измерения (промах) – это ...

А) погрешность измерения, выраженная в единицах измеряемой величины;

В) отношение абсолютной погрешности измерения к истинному значению измеряемой величины;

С) составляющая погрешности измерения, изменяющаяся случайным по величине и знаку образом при повторных измерениях одной и той же неизменной (детерминированной) величины;

Д) составляющая погрешности измерения, остающаяся постоянной или закономерно изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же детерминированной величины;

Е) погрешность измерения, существенно превышающая ожидаемую при данных условиях погрешность.

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Отв.	А	В	С	Д	Е	А	В	С	Д	Е	А	В	С	Д	Е
№	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Отв.	А	В	С	Д	Е	А	В	С	Д	Е	А	В	С	Д	Е

2.7 Перечень экзаменационных вопросов к пройденному курсу

1. Погрешность измерения.
2. Случайная и систематическая погрешности измерения.
3. Методы измерений, применяемые в промышленности.
4. Обработка результатов измерений.
5. Исправленный ряд результатов измерений.
6. Правила округления результатов расчетов.
7. Технический контроль, техническое диагностирование, испытание.

8. Виды технического контроля применяемые в машиностроении.
9. Что такое нормативные условия контроля и каковы его параметры?
10. Средства измерения.
11. Измерительный преобразователь.
12. Как классифицируются средства измерения и контроля по признакам?
13. Область применения универсальных и автоматических средств измерения и контроля в машиностроении.
14. Из каких общих структурных элементов состоят средства измерения?
15. В чем отличие чувствительного и преобразовательного элементов?
16. Виды преобразователей применяемые в средствах измерения.
17. Что такое измерительный механизм и отсчетное устройство средств измерения?
18. Виды регистрирующих устройств применяемые в средствах измерения.
19. Какие требования предъявляются к СИ?
20. Какие основные метрологические характеристики (свойства) СИ устанавливаются стандартом?
21. Как определяется погрешность СИ и от чего она зависит?
22. Что такое класс точности СИ и от чего зависит его условное обозначение?
23. Как подразделяются весы в зависимости от принципа действия?
24. Как подразделяются гири в зависимости от назначения?
25. Условное обозначение гири.
26. Принцип действия средств измерения и контроля с механическим преобразованием.
27. Устройство и принцип действия индикатора часового типа.
28. Устройство и принцип действия индикаторного нутромера.
29. Как настраивается на «0» рычажная скоба?
30. Что такое калибры и для каких целей они применяются?
31. Отличие между понятиями «контроль» и «измерение».
32. Классификация калибров.
33. В чем заключается принцип контроля предельными калибрами?
34. Средства измерения и контроля параметров механического движения.
35. Какие применяются методы измерения линейных скоростей, скоростей вращения?
36. Принцип действия и устройство акселерометров.
37. Принцип действия виброметров.
38. Контактные термометры расширения.
39. Термометр сопротивления и принцип его работы.
40. Конструкция и принцип действия термоэлектрического термометра.
41. Бесконтактные термометры.
42. Какие типы пирометров нашли наибольшее распространение в промышленности?
43. Основные системы электроизмерительных приборов.
44. Чем отличается методика измерения напряжения от измерения электродвижущей силы?
45. Как подключаются добавочный резистор к вольтметру и шунт к амперметру для расширения пределов их измерения?
46. Принцип работы измерительного прибора для измерения магнитной индукции в воздухе.
47. В чем заключается принцип компенсационного метода измерения и где он применяется?
48. Чем характеризуется оптический спектр электромагнитного излучения и каковы единицы его измерения?
49. Основные принципы светотехнических измерений и их сущность.

50. Визуальные методы и средства фотометрии применяемые в машиностроении.
51. Физические фотометрические методы и средства измерений и контроля светотехнических параметров применяемые в промышленности.
52. Преимущества и область применения волоконно-оптических средств измерений.
53. Основные элементы волоконно-оптических систем.
54. Принцип действия волоконного световода.
55. Какие основные приемники звуковых сигналов используются в акустических измерениях?
56. Как измеряется скорость распространения звуковой волны?
57. Приведите примеры применения акустики в технике.
58. С чем связано использование логарифмических единиц в акустике?
59. Какими величинами определяются расход и количество жидкостей, газа, пара?
60. Методы измерения величин давления.
61. Какие средства измерения параметров давления нашли применение в промышленности?
62. Принцип действия и устройство деформационных средств измерения давления.
63. Принцип действия и устройство электрических манометров и вакуумметров.
64. Что такое дифференциальные манометры и каков принцип их действия?
65. Какими методами и средствами измерений и контроля определяется расход жидкостей и газа?
66. Принцип действия и устройство ротаметра.
67. Принцип действия и устройство скоростных счетчиков количества жидкости.
68. Какие методы и средства измерения и сигнализации уровня жидкости применяются в машиностроении?
69. Преимущества и недостатки поплавковых уровнемеров.
70. Принцип действия и устройство манометрических средств измерения уровня.
71. Принцип действия и схема средств измерения уровня емкостных, ультраакустических и радиационных уровнемеров.
72. Что такое анализатор и какие показатели он оценивает?
73. Какие блоки включает в себя автоматический анализатор?
74. Анализаторы газов, применяемые в промышленности.
75. Принцип и схема механического газоанализатора химического поглощения.
76. Как работает анализатор температуры вспышки?
77. Принцип действия анализатора кислотного числа.
78. Назначение индикатора цветности нефтепродуктов.
80. Принцип действия анализатора фракционного состава.
81. От каких факторов зависит выбор средств контроля и измерения?
82. Как влияет масштаб производства на выбор средств измерения и контроля?
83. Как различаются организационно-техническая форма контроля?
84. Какие факторы и погрешности влияют на точность показания средств измерения и контроля?
85. От чего зависит экономические показатели выбора средств измерения и контроля?

2.8. Глоссарий

Измерительная информация - информация о значениях измеренных физических величин.

Погрешность результата измерения или *погрешность измерения* - отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой физической величины.

Случайная погрешность измерения - составляющая погрешности результатов измерения, изменяющаяся случайным образом (по знаку и значению) в повторных наблюдениях, проведенных с одинаковой тщательностью одной и той же неизменяющейся (детерминированной) ФВ.

Систематическая погрешность измерения - составляющая погрешности результата измерения, остающаяся постоянной или же закономерно изменяющаяся при повторных наблюдениях одной и той же неизменяющейся ФВ.

Абсолютная погрешность - погрешность, выраженная в единицах измеряемой величины.

Относительная погрешность - это безразмерная величина, определяющаяся отношением абсолютной погрешности к действительному значению измеряемой ФВ, она может выражаться в процентах (%).

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

Неравноточные измерения - ряд измерений какой-либо величины, выполненных несколькими различными по точности СИ и (или) в разных условиях.

Однократное измерение - измерение, выполненное один раз.

Многократные измерения - измерения одного и того же размера ФВ, результат которого получен из нескольких следующих друг за другом наблюдений, т.е. состоящих из ряда однократных измерений.

Прямое измерение - измерение ФВ, проводимое прямым методом, при котором искомое значение ФВ получают непосредственно из опытных данных. Прямое измерение производится путем экспериментального сравнения измеряемой ФВ с мерой этой величины или путем отсчета показаний СИ по шкале или цифровому прибору.

Косвенное измерение - измерение, проводимое косвенным методом, при котором искомое значение ФВ находят на основании результата прямого измерения другой ФВ, функционально связанной с искомой величиной известной зависимостью между этой ФВ и величиной, получаемой прямым измерением.

Физическая величина - величина, размер которой может быть определен физическими методами.

Метод измерения - совокупность приемов использования принципов и средств измерения.

Метод непосредственной оценки - метод, в котором значение величины определяют непосредственно по отчетному устройству измерительного прибора (измерение длины с помощью линейки, массы - с помощью пружинных весов, давления - с помощью манометра и т.д.);

Метод сравнения с мерой - метод измерения, в котором измеряемую величину сравнивают с величиной, воспроизводимой мерой (измерение зазора между деталями с помощью щупа, измерение массы на рычажных весах с помощью гирь, измерение длины с помощью концевых мер и т.д.);

Метод противопоставления - метод сравнения с мерой, в котором измеряемая величина и величина, воспроизводимая мерой, одновременно воздействуют на прибор сравнения, с помощью которого устанавливается соотношение между этими величинами (измерение массы на равноплечных весах с помещением измеряемой массы и уравновешивающих ее гирь на двух чашках весов);

Дифференциальный метод - метод сравнения с мерой, в котором на измерительный прибор воздействует разность измеряемой и известной величины, воспроизводимой мерой

(измерение длины сравнением с образцовой мерой на компараторе - средстве сравнения, предназначенном для сличения мер однородных величин);

Нулевой метод - метод сравнения с мерой, в котором результирующий эффект воздействия величин на прибор сравнения доводят до нуля (измерение электрического сопротивления мостом с полным его уравниванием);

Метод замещения - метод сравнения с мерой, в котором измеренную величину замещают известной величиной, воспроизводимой мерой (взвешивание с поочередным помещением измеряемой массы и гирь на одну и ту же чашку весов);

Метод совпадений - метод сравнения с мерой, в которой разность между измеряемой величиной и величиной, воспроизводимой мерой, измеряют, используя совпадение от меток шкал или периодических сигналов (измерение длины с помощью штангенциркуля с нониусом, когда наблюдают совпадение отметок на шкалах штангенциркуля и нониуса; измерение частоты вращения с помощью стробоскопа, когда положение какой-либо отметки на вращающемся объекте совмещают с отметкой на невращающейся части этого объекта при определенной частоте вспышек стробоскопа).

Технический контроль (ТК) - это проверка соответствия объекта установленным техническим требованиям.

Техническое диагностирование - процесс определения технического состояния объекта диагностирования с определенной точностью (ГОСТ 20911-75).

Испытания - это экспериментальное определение количественных и (или) качественных свойств объекта испытаний как результата воздействия на него при его функционировании, при моделировании объекта и (или) воздействий (ГОСТ 16504-81).

Объект технического контроля - подвергаемая контролю продукция, процессы ее создания, применения, транспортирования, хранения, технического обслуживания и ремонта, а также соответствующая техническая документация.

Средство технического контроля - техническое устройство, вещество и (или) материал для проведения контроля. В отличие от средства измерения при техническом контроле могут применяться различные вещества или материалы для обеспечения целей контроля.

Метод технического контроля - правила применения определенных принципов и средств контроля. В метод технического контроля входят основные физические, химические, биологические и другие явления и зависимости (законы, принципы), которые применяются для получения первичной информации об объекте контроля.

Преобразовательный элемент средства измерения - это элемент, в котором происходит одно из ряда последовательных преобразований величины.

Выходные сведения

Кафедры «Машины и оборудование
нефтяной и газовой промышленности»
Протокол №__ «____» 2008 г.
УМК ДС Одобрен на заседании
учебно-методического
Совета института нефти и газа
Протокол №__ «____»2008 г.

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС
ДИСЦИПЛИНЫ БАКАЛАВРИАНТОВ**

по дисциплине «Контрольно-измерительные приборы»

для специальности 050724 – «Технологические машины и оборудование»

Мырзахметов Бейбит Абикенович
Ахметов Бекжан Ахметович

Подписано в печать ____ . ____ . 2005г. Формат 60x84 1/16. Бумага книжно-журнальная.
Объем ____ . ____ уч.-изд.л. Тираж ____ экз.
Заказ №__

Отпечатано в типографии издательства КазНТУ имени К.И.Сатпаева
г.Алматы, ул.Ладыгина, 32