

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**ГОЛОВНОЙ НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ ЦЕНТР ПО
ОРГАНИЗАЦИИ ПЕРЕПОДГОТОВКИ И ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ ПЕДАГОГИЧЕСКИХ
И РУКОВОДЯЩИХ КАДРОВ СИСТЕМЫ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**ОТРАСЛЕВОЙ ЦЕНТР ПЕРЕПОДГОТОВКИ И ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ ПЕДАГОГИЧЕСКИХ КАДРОВ ПРИ
ТАШКЕНТСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ ТЕХНИЧЕСКОМ
УНИВЕРСИТЕТЕ**

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ
КОМПЛЕКС
по модулю
“ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ
И ПРИБОРЫ”**

**направления
АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И
ПРОИЗВОДСТВ**

Тошкент – 2016

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО
СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ
УЗБЕКИСТАН**

**ГОЛОВНОЙ НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ ЦЕНТР ПО
ОРГАНИЗАЦИИ ПЕРЕПОДГОТОВКИ И ПОВЫШЕНИЯ
КВАЛИФИКАЦИИ ПЕДАГОГЧЕСКИХ И РУКОВОДЯЩИХ
КАДРОВ СИСТЕМЫ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**ОТРАСЛЕВОЙ ЦЕНТР ПЕРЕПОДГОТОВКИ И
ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ ПЕДАГОГИЧЕСКИХ
КАДРОВ ПРИ ТАШКЕНТСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ
ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ**

**УЧЕБНО–МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС
по модулю
«ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ И ПРИБОРЫ»**

**Направление
«АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ»**

Разработал: д.т.н., проф. Мухитдинов Д.П.

ТАШКЕНТ -2016

Данный учебно-методический комплекс разработан на основании учебного плана и программы утвержденного приказом Министерства высшего и среднего специального образования Республики Узбекистан № 137 от 6 апреля 2016 года

Разработал: Д.П Мухитдинов - д.т.н., профессор кафедры «Автоматизация производств» ТГТУ

Рецензент: Германия, Siemens AG PhD Project manager
Izabella Putz

Данный учебно-методический комплекс рекомендован к изданию Советом Ташкентского государственного технического университета (протокол № _____ от _____ 2016 года).

СОДЕРЖАНИЕ

I.	Рабочая программа	3
II.	Интерактивные методы обучения, используемые в модуле	10
III.	Теоретические материалы.....	15
IV.	Практические материалы.....	117
V.	Банк кейсов	134
VI.	Темы для самостоятельного обучения.....	142
VII.	Глоссарий	143
VIII.	Список литературы	153

I. РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

Программа составлена на основе указа ПФ-4732 от 12 июня 2015 года Президентом Республики Узбекистан «О мерах улучшения системы переподготовки и повышения квалификации руководящих и педагогических кадров высших учебных заведений», цель которой является улучшение, переподготовка и суть процесса повышения квалификации на основе современных требований, а так же поставленная задача регулярно повышать профессиональную компетентность педагогических кадров высших учебных заведений.

Рабочая программа включает в себя изучение теоретических и практических основ технологических измерений и приборов, средства измерения, методы измерения, структуру средств измерения, организацию и проведение занятий.

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ МОДУЛЯ

Целью изучения модуля "Технологические измерения и приборы" является формирование знаний и умений, необходимых для обоснования выбора, создания, внедрения и эксплуатации современных средств технологических измерений, а также информационного обеспечения систем автоматизации.

Задачи модуля "Технологические измерения и приборы" являются:

- изучение методов и средств контроля и измерения параметров технологических процессов, средств преобразования сигналов измерения и коммутаторов;
- формирование умения проектировать измерительные каналы для автоматизации технологических процессов и контроля параметров объектов управления;
- формирование навыков выбора средств контроля и измерений параметров технологических процессов при проектировании средств и систем автоматизации технологических процессов.

Требования, предъявляемые к знаниям, умениям и навыкам по модулю

Слушатель, в пределах задач модуля "Технологические измерения и приборы" должен:

иметь представление и охарактеризовать:

- методы и средства контроля и измерения параметров технологических процессов;
- средства преобразования сигналов измерения и алгоритмы работы коммутаторов;

- конструктивные особенности средств контроля и измерения параметров технологических процессов;
- типовые методы и средства измерения основных технологических параметров отрасли;
- требования, предъявляемые к выбору, установке, эксплуатации, защите от агрессивных сред и высоких температур приборов температуры, давления, расхода, уровня, плотности, влажности, загазованности и влажности;
- принципы построения и функционирования автоматизированных средств.

знать и уметь:

- применять: средства контроля и измерения параметров технологических процессов;
- выбирать метод измерений при проектировании систем автоматизации управления;
- выбирать средства измерений при проектировании систем автоматизации управления;
- проектировать измерительные каналы для автоматизации технологических процессов и контроля параметров объектов управления

владеть навыками:

- обоснования метода контроля и измерений параметров технологических процессов при проектировании средств и систем автоматизации технологических процессов;
- выбора средств контроля и измерений параметров технологических процессов при проектировании средств и систем автоматизации технологических процессов;
- работы со средствами измерений, средствами преобразования сигналов измерения и коммутаторами;
- проектирования измерительных каналов для автоматизации технологических процессов и контроля параметров объектов управления.

Рекомендации по организации и проведения модуля

Модуль «Интеллектуальные системы управления и принятие решений» проводится в виде лекций и практических занятий.

В процессе обучения модуля предусмотрены применение современных методов образования, педагогических технологий и информационно-коммуникационных технологий:

- презентационные и электронно-дидактические технологии с помощью современных компьютерных технологий при проведении лекционных занятий;

- при проведении практических занятий предусмотрены применение технических средств, экспресс-запросов, тестов, опросов, а также применение интерактивных методов “Мозговой штурм”, “Техника «Т-схема», ”, “Кейс-стади” и др.

Взаимосвязь учебного модуля с другими модулями

Изучение «Технологические измерения и приборы» базируется в основном на учебном материале следующих дисциплин: «Высшая математика» (линейная алгебра, дифференциальное и интегральное исчисления, дифференциальные уравнения, преобразования Лапласа и Фурье, теория вероятности), «Физика», «Электротехника и электроника» (переходные процессы в электрических цепях), «Метрология, стандартизация и сертификация» (Метрологические характеристики средств измерения и поверочные системы средств измерения), «Элементы и устройства систем автоматики».

Модуль «Технологические измерения и приборы» считается основной базой для модулей «Автоматизация технологических процессов», «Теория управления» и «Интеллектуальные системы управления и принятие решений».

Роль модуля в системе высшего образования

Происходящие коренные изменения в системе образования, особенно научно-техническое развитие определяет роль модуля “Технологические измерения и приборы” в системе высшего образования.

Организация эффективного и плодотворного образования путем создания новых инновационных технологий обучения дисциплин направления модуля “Технологические измерения и приборы” и их применения в системе образования помогает системно увеличить качество образования. Отдельное внимание обосновывается формированием знаний, умений и навыков применения современных информационных технологий и педагогических программных средств, информационно-коммуникационных технологий в процессе учебно-воспитательной деятельности.

Распределение часов по модулю

№	Темы	Учебная нагрузка, час	
			Аудиторная учебная нагрузка

		Общие	Итого				Самостоятельная работа
				Теоритические	Практические	Внеаудиторное	
1.	Основные понятия о средствах измерений.	4	4	4			
2.	Измерительная погрешность	4	4	2	2		
3.	Средства измерений температуры.	4	4	2	2		
4.	Средства измерений давления.	4	4	2	2		
5.	Измерение расхода жидкостей и газов.	4	4	2	2		
6.	Измерение уровня жидких и сыпучих материалов.	4	2	2			2
Общие		24	22	14	8		2

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ СОДЕРЖАНИЕ МОДУЛЯ

1 - тема: Основные понятия о средствах измерений.

Единицы измерения. Единицы измерения СИ. Статические характеристики инструментов. Индикаторы и инструменты с сигнальным выходом. Элементы простой системы регулирования по замкнутому циклу. Выбор соответствующих измерительных приборов. Чувствительные элементы. Переменные элементы преобразования.

2 - тема: Измерительная погрешность

Измерительные погрешности. Шум. Постоянные ошибки, случайные ошибки, источники постоянной ошибки. Системные помехи из-за измерений. Погрешности, связанные с окружающей средой. Снижение систематических ошибок. Фильтрация сигналов. Квантификация систематических (постоянных) ошибок. Градуировочные погрешности.

3 – тема: Средства измерений температуры

Международная практическая температурная шкала. Виды термометров. Чувствительные элементы термоэлектрического эффекта. Термопары, горячий спай, термоЭДС. Компенсационные методы. Термоэлектрические таблицы, типы термопар.

4 – тема: Средства измерений давления

Способы определение давления. Абсолютное давление, манометрическое давление, атмосферное давление, дифференциальное давление. Единицы измерение давления. Чувствительные элементы средств измерения давления. Мембраны. Тензодатчики. Емкостной чувствительный элемент. Сильфон, трубчатая пружина. Манометры, типы манометров. Специальные измерительные устройства для низкого давления. Измерительные приборы перепада давления, дифманометры.

5 – тема: Измерение расхода жидкостей и газов

Виды расходомеров, кориолисов расходомер. Измерение потока количества тепла. Измерение коэффициента объемного расхода и жидкой плотности. Объемные расходомеры, ротаметры, электромагнитные расходомеры. Ультразвуковые расходомеры, доплеровский расходомер, интеллектуальные расходомеры.

6– тема. Измерение уровня жидких и сыпучих материалов

Виды уровнемеров. Мерные линейки. Системы поплавка. Прижимные измерительные приборы (гидростатические системы). Емкостные устройства. Ультразвуковой уровнемер . Радарные (радиовидение) чувствительные элементы. Наклонные (или радиометрический) чувствительные элементы. Вибрирующий чувствительный элемент уровня. Лазерные методы измерения уровня. Интеллектуальные измерительные приборы уровня. Калибровка чувствительных элементов уровня.

СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

1-практическое занятие:

Измерительная погрешность

Решаются задачи по расчетам измерительных погрешностей. Погрешности измерительных приборов. Определяются абсолютные, относительные погрешности измерения. Производятся расчеты приведенных погрешностей и абсолютных погрешностей измерительных приборов.

2-практическое занятие :

Средства измерений температуры

Решаются задачи по расчетам измерений температуры. Расчет и выбор термометров. Расчет погрешностей измерений температуры и расчёт термопреобразователей.

3-практическое занятие :

Средства измерений давления

Решаются задачи по расчетам измерений абсолютного, избыточного и барометрического давления газов и жидкостей в технологических аппаратах, в трубопроводах. Расчет и выбор манометров, дифманометров, вакуумметров других преобразователей давления и расчет погрешностей измерений давления. Решаются задачи по устранении грубых ошибок при измерении давления

4-практическое занятие:

Измерение расхода жидкостей и газов

Решаются задачи по расчетам измерений объемного и массового расхода газов и жидкостей в трубопроводах, расчет и выбор преобразователей расхода и расчет погрешностей измерений расхода. Решаются задачи по уменьшению погрешностей при измерении расхода

Формы обучения

Формы организации обучения предусматривают составления, налаживания, систематизирования взаимодействий слушателей и преподавателя при работе над определенном учебном материалом.

В процессе обучения модуля используются следующие формы организации обучения:

- Лекция
- Практическое занятие
- Самостоятельное обучение

По методу организации учебных дел

- Командочная
- Групповая (маленькие группы, пары)
- Индивидуальная

Работа в команде. При работе в команде преподаватель пользуется разными методами, чтобы добиться дидактическим результатам определенных преподавателем, руководствуя деятельностью знания групп.

Работа в группах. Работа в группах это форма организации обучения направленная активным участникам для выполнения задания обучения в сотрудничестве.

Индивидуальная форма обучения. При индивидуальной форме обучения задаются отдельные самостоятельные задания для каждого участника и контролируется выполнения задания.

КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ

№	Критерии оценки	Балл	Максимальный балл
---	-----------------	------	-------------------

1	Кейс	1,5 балла	2,5
2	Самостоятельная работа	1 балл	

II. ИНТЕРАКТИВНЫЕ МЕТОДЫ ОБУЧЕНИЯ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В МОДУЛЕ

Метод "Мозговой штурм"

Мозговой штурм (брейнсторминг - мозговая атака) – метод коллективной генерации идеи решения научной или практической задачи.

Во время мозгового штурма участники стремятся совместно решить сложную проблему: высказывают свое мнение по решению задачи (генерируют), отбирают наиболее соответствующие, эффективные и оптимальные идеи без критики остальных вариантов, обсуждают отобранные идеи и развивают их, а также оцениваются возможности их обоснования или опровержения.

Основная цель мозговых атак – активизация учебной деятельности, самостоятельное изучение проблемы и развитие мотивации его решения, культура общения, формирование коммуникативных навыков, избавление от инерции мышления и преодоление привычного хода мышления при решении творческой задачи.

Пример занятия по методу «Мозговой штурм»

Этап и содержание работы

Этапы	Содержание работы
1	Объявляют тему, называет проблему. Знакомит слушателей с условиями коллективной работы и правилами «Мозгового штурма».
2	Напоминать заданную проблему и давать вопросы связаны по теме поставленного проблемы.
3	Организовать обсуждение ответов и высказанных идей по решению проблемы.
4	Обобщать итоги, анализировать и давать дополнительные информации по решению проблемы.

Вопросы:

1. Каков Кориолисов измеритель? Для чего это используется и как это работает?
2. Название четыре различных видов измерителей перепада давления. Обсудите кратко, как каждый работает, и объясните главные преимущества и недостатки каждого типа.
3. Объясните, как каждая из следующих работ и дает типичные приложения: ротаметр и вращательный поршневой измеритель.
4. Как электромагнитный расходомер работает и для чего он обычно используется?
5. Обсудите режим работы и приложения каждого следующего: газотурбинный измеритель и теряющий вихрь расходомер.
6. Каковы два главных типа ультразвуковых расходомеров? Обсудите режим работы каждого.

Техника «Т-схема»

универсальный графический органайзер для записи двойных (да/нет, за/против) или сравнения 2-х аспектов одной концепции/информации. Это сравнительная таблица. Развивает навыки критического мышления. Применяется в заключительной лекции/по завершению тематической.

Задания: Анализировать и определять достижения и недостатки цифровых измерительных приборов.

Цифровые измерительные приборы		
Достижения		Недостатки

КЕЙС-СТАДИ

«Кейс-стади» (Case-study) – это система обучения, основывающаяся на анализе, решении и обсуждении реальных и смоделированных (вымышленных) ситуаций. Метод «кейс-стади» интегрирует в себе технологии развивающего обучения, включая процедуры индивидуального, группового и коллективного развития, и формирования различных личностных качеств обучаемых.

Под методом «кейс-стади» понимается активный метод обучения, основанный на организации преподавателем в группе обучающихся обсуждения задания, представляющего собой описание конкретной ситуации с явной или скрытой проблемой.

Кейс-стади (от англ. слова *case* – реальная ситуация) – метод конкретных реальных ситуаций.

Сущность кейс-стади – изучение общих закономерностей на примере анализа конкретных случаев.

Пример занятия по методу «Кейс-стади»

Критерии оценки кейсов:				
грамотное решение проблемы;	новизна и неординарность решения проблемы;	краткость и четкость изложения теоретической части;	качество оформления решения проблемы;	этика ведения обсуждения (дискуссии).

Кейс: Маленькая кондитерская фабрика должна закрыться на реконструкцию. Необходимо реализовать оставшиеся запасы сырья, для производства продуктов из ассортимента фабрики, получив максимальную прибыль. Запасы и расход каждого вида сырья для производства единицы продукции каждого вида, а также нормы прибыли для каждого продукта (прибыль на 1 пакет), представлены в таблице.

В разговоре с владельцем фабрики мастер, используя свой 20-летний опыт, предлагает «на глазок» выпустить по 200 пакетов каждого продукта, утверждая, что ресурсов «должно хватить», а прибыль получится, очевидно, 1080 у.е.

При разговоре присутствует сын владельца фабрики, только что закончивший программу «Бакалавр делового администрирования», который утверждает, что такие проблемы надо решать не «на глазок», а с помощью линейного программирования. Умиленный отец обещает сыну всю прибыль сверх 1080 у.е., если он предложит лучший план, чем многоопытный мастер.

После решения задачи об оптимальном плане производства для родной кондитерской фабрики, юноша (сын владельца фабрики) испытал двойственное чувство. С одной стороны, прибыль,

соответствующая найденному им производственному плану, почти на 430 у.е. больше, чем по плану мастера, т.е. он заработал более 400 баксов. Это здорово! С другой стороны, почему компьютер отказался от выпуска Батончика (его с раннего детства любимого лакомства)? Юноша был уверен, что «Батончик» – один из лучших продуктов, который выпускает фабрика его отца. Если его не окажется на прилавках, может пострадать имидж фабрики. Ведь не только он сам, но и все соседи в округе обожают эту конфету!

Кроме того, он вспомнил, что на занятиях по количественным методам в менеджменте, преподаватель все время твердил об анализе полученного оптимального решения на устойчивость: малые изменения величины запасов могут привести к радикальному изменению решения! А вдруг этот вредный старый мастер не только план производства определяет на глазок, но и запасы сырья взвешивает кое-как? А что, если каких-то запасов не хватит для его оптимального плана? Он не доберет прибыли! Может быть тогда более прибыльным станет иной план? Какой?

И еще одна мысль. У него есть в кармане, что-то около 50 баксов. Может пустить их в дело? Докупить у знакомого оптовика какого-нибудь сырья, потихоньку подложить на склад (чтоб мастер не заметил), как будто, так и было. Тогда можно получить дополнительную прибыль (и премию от отца). Только вот какого сырья докупать? И сколько? И на сколько от этого возрастет прибыль?

Задания кейса:

- a) Как надо изменить норму прибыли для любимого продукта сына хозяина фабрики (Батончика), чтобы он вошел в оптимальный план (ответьте, не решая задачу, анализируя лишь отчет об устойчивости)?
- b) Введите это изменение в данные и решите задачу заново. Как изменился оптимальный план?
- c) Какой ресурс является наиболее дефицитным (т.е. максимально влияет на прибыль)?
- d) Можете ли Вы сказать (не решая задачу снова) как изменится прибыль от производства, если количество этого ресурса оценено а) с избытком в 10 весовых единиц; б) с недостатком в 5 единиц?
- e) Есть ли другой способ добиться производства «Батончика» (кроме изменения нормы прибыли)?

III. Материалы теоретических занятий

1-тема: Основные понятия о средствах измерений

- 1 Единицы измерения.
- 2 Расчета системы измерения.
- 3 Элементы системы измерения.
- 4 Выбора соответствующие Измерительные приборы.

Ключевые слова: Единицы измерения, единицы измерения СИ, системы измерения, расчет системы измерения, элементы, системы, измерения, измерительные приборы, выбор приборов, системы измерения.

1.1 Единицы измерения

Самые первые единицы измерения были используемыми в бартерной сделке, чтобы определить количество будучи замененным и установить ясные правила об относительных значениях различных предметов потребления. Такие ранние системы измерения были основаны на том, что было доступно как измерительное устройство. Для целей измерительной длины человеческое туловище было удобным инструментом и дало нам единицы руки, основания, и кэбита. Хотя обычно соответствующий для систем бартерной сделки, такие единицы измерения, конечно, неточны, изменяясь, как они делают от одного человека к следующему. Поэтому, было прогрессивное движение к единицам измерения, которые определяются намного более точно.

Самые последние стандарты для того, чтобы определить единицы, используемые для того, чтобы измерить амплитуду материальных переменных, даются в [табл 1.1](#).

Раннее установление стандартов для измерения физических величин продолжилось в несколько стран в широко проводят параллель временам; в следствии несколько наборов единиц появились для того, чтобы измерить ту же самую материальную переменную. Например, длина может быть измерена в ярдах, измерителях, или нескольких других единицах. Кроме больших единиц длины, подразделения стандартных единиц существуют, такие как основания, дюймы, сантиметры, и миллиметры, с установленной зависимостью между каждой основной единицей и ее подразделениями ¹.

Ярды, основания, и дюймы принадлежат Имперской системе единиц, которая характеризуется при наличии изменение и громоздкие множители, связывающие основные единицы с подразделениями, такими как 1760 (мили к ярдам), 3 (ярды к основаниям), и 12 (основания к дюймам). Метрическая система - переменный набор единиц, который включает, например, единицу измерителя и его сантиметра и подразбиений миллиметра для измерительной длины. Все кратные числа и подразделения основных метрических единиц связываются с основой коэффициентами 10, и такие единицы поэтому намного легче к используйте чем Имперские единицы.

¹ Alan S. Morris, Reza Langari. Measurement and instrumentation : theory and application. – 2 p.

Однако, в случае производных единиц, таких как скорость, номер переменных путей, которыми они могут быть выражены в метрической системе, может привести к беспорядку.

В результате этого, на международном уровне согласованного набора стандартных единиц (SI units или Systemes internationalesdunites) был определен, и решительные попытки предпринимаются, чтобы поощрить принятие этой системы во всем мире. В поддержку этого усилия система единиц SI используется исключительно в этой книге. Однако, это должно быть замечено, что Имперская система все еще широко используется в машиностроении, особенно в Соединенных Штатах.

Полный спектр фундаментальных измерительных устройств SI и дальнейший набор единиц брали производную от них даются в табл 1.2 и 1.3. Таблицы пересчета, связывающие общие Имперские и метрические единицы с их эквивалентными единицами СИ, могут также быть найдены в Приложении 1

табл 1.1

Определения стандартных единиц

Физическая величина	Стандартная Единица	Определение
Длина	метр	Длина пути поехала при свете в интервале $1/299,792,458$ секунд
Масса	Килограмм	Масса цилиндра платинового иридия, сохраненного в Международном бюро Весов и Критериев, Севра, Парижа
Время	Второй	$9.192631770 \hat{A} 10^9$ циклов излучения от выпаренного цезия 133 (точность 1 в 10^{12} или одна секунда через 36 000 лет)
Температура	Степени	Перепад температур между абсолютным нулем Кельвин и тройной точкой воды определяется как 273.16 K
Ток	Ampere	Один ампер - ток, перекачивающий два бесконечно длинных параллельных проводника незначительного поперечного разреза, размещенного на расстоянии в 1 измеритель в вакууме и производящий силу $2 \hat{A} 10 \hat{A} 7$ ньютон на длину измерителя проводника
Сила света	Единица свечения	Одна единица свечения - сила света в данном направлении из источника, испускающего монохроматическое излучение в частоте 540 терагерц (Гц $\hat{A} 10^{12}$), и с излучающей плотностью в том направлении 1.4641 мВт/стерадиана (1 стерадиан - телесный угол, который, имея его вершину в центре сферы,

		отключает область поверхности сферы, равной той из площади со сторонами длины, равной радиусу сферы),
Материя	Моль	Номер атомов в 0.012-килограммовой массе углерода 12

1.2 Расчет системы измерения

Это сечение смотрит на главные соображения в проектировании системы измерения. Во-первых, мы узнаем, что система измерения обычно составы нескольких отдельных узлов, хотя только один узел мог бы быть завернут для некоторых очень простых измерительных задач. Мы тогда продолжаем смотреть на то, как измерительные приборы и системы выбираются, чтобы удовлетворить требования особенных измерительных местоположений ².

Таб. 1.2

Фундаментальные единицы СИ

(а) Основные единицы		
Количество	Стандартная Единица	Символ
Длина	измеритель	м
Массовое	килограмм	кг
Время	секунд	s
Электрический ток	ампер	A
Температура	кельвин	K
Светлый	единица свечения	cd
Материя	моль	моль
(б) Вспомогательные Основные единицы		
Количество	Стандартная Единица	Символ
Плоский угол	радиан	Рад.
Объемный угол	стерадиан	Стр.

1.3 Элементы системы измерения

Измерительная система существует, чтобы предоставить информацию о материальной величине некоторой измеряемой переменной. В простых случаях система может состоять только единственной единицы, которая дает чтение выхода, или сигнал согласно величине неизвестной переменной применялся к этому. Однако, в более комплексных измерительных местоположениях, измерительная система составы нескольких отдельных элементов как показано на рисунке 1.1. Эти узлы могли бы содержаться в пределах одной или более коробок, и коробки, проводящие индивидуальные измерительные элементы, могли бы быть или близко друг к другу или физически отдельные. таб. 1.3

Выведенных Единицы СИ

² Alan S. Morris, Reza Langari. Measurement and instrumentation : theory and application. –p. 4

Table 1.3 Derived SI Units

Quantity	Standard Unit	Symbol	Derivation Formula
Area	square meter	m ²	
Volume	cubic meter	m ³	
Velocity	metre per second	m/s	
Acceleration	metre per second squared	m/s ²	
Angular velocity	radian per second	rad/s	
Angular acceleration	radian per second squared	rad/s ²	
Density	kilogram per cubic meter	kg/m ³	
Specific volume	cubic meter per kilogram	m ³ /kg	
Mass flow rate	kilogram per second	kg/s	
Volume flow rate	cubic meter per second	m ³ /s	
Force	newton	N	kg·m/s ²
Pressure	pascal	Pa	N/m ²
Torque	newton meter	N·m	
Momentum	kilogram meter per second	kg·m/s	
Moment of inertia	kilogram meter squared	kg·m ²	
Kinematic viscosity	square meter per second	m ² /s	
Dynamic viscosity	newton second per sq metre	N·s/m ²	
Work, energy, heat	joule	J	N·m
Specific energy	joule per cubic meter	J/m ³	
Power	watt	W	J/s
Thermal conductivity	watt per meter Kelvin	W/m·K	
Electric charge	coulomb	C	A·s
Voltage, e.m.f., pot diff	volt	V	W/A
Electric field strength	volt per meter	V/m	
Electric resistance	ohm	Ω	V/A
Electric capacitance	farad	F	A·s/V
Electric inductance	henry	H	V·s/A
Electric conductance	siemen	S	A/V
Resistivity	ohm meter	Ω·m	
Permittivity	farad per meter	F/m	
Permeability	henry per meter	H/m	
Current density	ampere per square meter	A/m ²	
Magnetic flux	weber	Wb	V·s
Magnetic flux density	tesla	T	Wb/m ²
Magnetic field strength	ampere per meter	A/m	
Frequency	hertz	Hz	s ⁻¹
Luminous flux	lumen	lm	cd·sr
Luminance	candela per square meter	cd/m ²	
Illumination	lux	lx	lm/m ²
Molar volume	cubic meter per mole	m ³ /mol	
Molarity	mole per kilogram	mol/kg	
Molar energy	joule per mole	J/mol	

Измерительный прибор члена используется обычно, чтобы описать систему измерения, содержит ли он только один или много элементов, и этот термин широко используется всюду по этому тексту. Первый элемент в любой измерительной системе - магистральный чувствительный элемент: это дает выход, который является функцией измеряемой величины (вход применялся к ней). Для больше всего, но не все чувствительные элементы, эта функция, по крайней мере, приблизительно линейна. Некоторые примеры магистральных чувствительных элементов - термометр "жидкость в", терморпара, и тензодатчик. В случае термометра ртути в стакане, потому что чтение выхода дается с точки зрения уровня ртути, этот особенный

магистральный чувствительный элемент - также полная система измерения сам по себе. Однако, вообще, магистральный чувствительный элемент - только часть системы измерения. Типы магистральных чувствительных элементов, доступных для измерения широкого диапазона физических величин, представляются в более поздних главах этой книги³.

Переменные элементы преобразования необходимы, где переменная выхода магистрального преобразователя находится в неудобная форма и должна быть преобразована в более удобную форму. Например, у измеряющего смещение тензодатчика есть выход в форме переменного сопротивления. Поскольку изменение сопротивления не может быть измерено легко, оно преобразовывается в изменение в напряжении мостовой схемой, которая является типичным примером переменного элемента преобразования. В некоторых случаях, магистральный чувствительный элемент и переменный элемент преобразования комбинируются; эта комбинация известна как Обработка сигналов преобразователя, элементы существуют, чтобы улучшить качество выхода системы измерения в некотором роде. Очень общий тип элемента обработки сигналов - электронный усилитель, который усиливает выход магистрального преобразователя или переменного элемента преобразования, таким образом улучшая чувствительность и разложение измерения. Этот элемент измерительной системы особенно важен, где у магистрального преобразователя есть низкий выпуск продукции. Например, у термопар есть типичный выход только нескольких милливольт. Другие типы элементов обработки сигналов - те, которые отфильтровывают наведенный шум и перемещают средние уровни, и т.д.

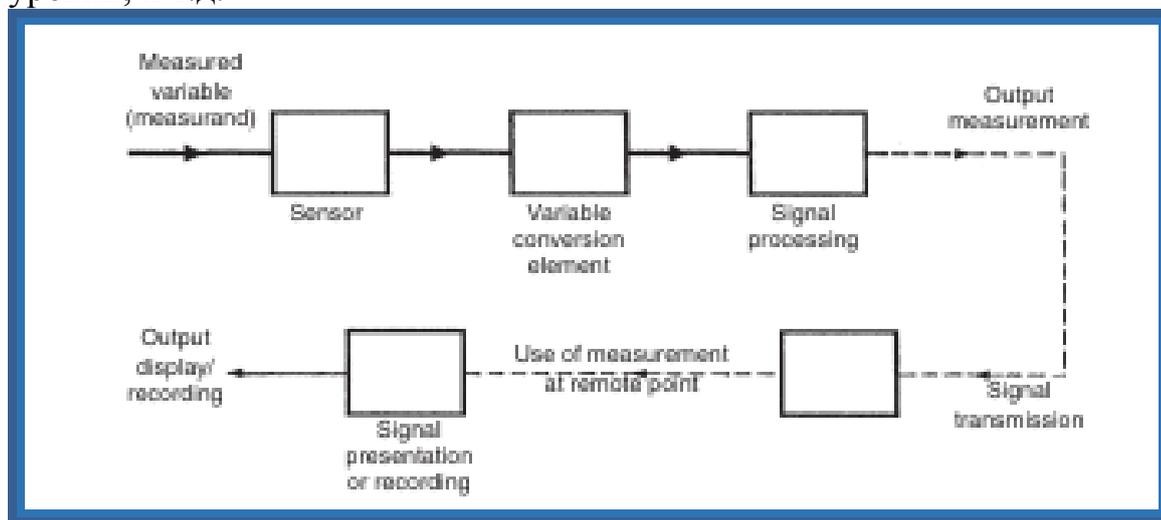


Рисунок 1.1 Элементы измерительной системы.

В некоторых устройствах обработка сигналов включается в преобразователь, который тогда известен как транзмиттер В дополнение к этим трем узлам, только упомянутым, у некоторых

³ Alan S. Morris, Reza Langari. Measurement and instrumentation : theory and application. –p. 5,6

систем измерения есть один или два других узла, сначала чтобы передать сигнал к некоторой отдаленной точке и второй, чтобы выделить или записать сигнал, если это не подается автоматически в систему регулирования с обратной связью. Сигнальная передача необходима, когда наблюдение или точка приложения выхода системы измерения на некотором расстоянии от местонахождения магистрального преобразователя. Иногда, это разделение делается исключительно для целей удобства, но чаще, это следует из материальной недоступности или экологической непригодности местонахождения магистрального преобразователя для того, чтобы смонтировать сигнальную единицу индикации/записи. Сигнальный элемент передачи традиционно состоял единственного или мультистержневого кабеля, который часто экранируется, чтобы минимизировать сигнальное повреждение наведенными электрическими помехами. Однако, кабели волоконной оптики используются в постоянно увеличивающихся номерах в современных установках, частично из-за их низкой потери передачи и непроницаемые к эффектам электрических и магнитных полей.

Конечный дополнительный элемент в системе измерения - точка, где взвешенный сигнал используется. В некоторых случаях, этот элемент опускается в целом, потому что измерение используется в качестве части схемы автоматического регулирования, и переданный сигнал подается прямо в систему управления. В других случаях этот элемент в системе измерения принимает форму или сигнальной единицы индикации или записывающей сигнал единицы.

1.4 Выбор соответствующих измерительных приборов

Начальная точка в выборе самого соответствующего инструмента, чтобы использовать для измерения особенного количества в заводе-изготовителе или другой системе является спецификацией требуемых характеристик инструмента, особенно параметры, такие как требуемая точность измерения, разложение, чувствительность, и динамические рабочие характеристики (см. следующую главу для определений их). Также важно знать условия окружающей среды, которым будет подвергнут инструмент, поскольку некоторые условия сразу или устраняют возможность использования определенных типов инструментов или иначе создадут требование для дорогого предохранения инструмента. Это должно также быть замечено, что предохранение понижает рабочие характеристики некоторых инструментов, особенно с точки зрения их динамических характеристик (например, оболочки, предохраняющие термомпары и термометры сопротивления, понижают свою скорость срабатывания). Условие этого типа информации обычно требует экспертных знаний персонала, кто глубоко знакомится с работой завода-изготовителя или

рассматриваемой системы. Затем, квалифицированный инженер инструмента, имея знание в наличии всех инструментов для того, чтобы измерить рассматриваемое количество, будет в состоянии оценить возможный список инструментов с точки зрения их точности, стоить, и пригодность для условий окружающей среды и таким образом выбирать самый соответствующий инструмент. В максимально возможной степени, системы измерения и инструменты должны быть выбраны, которые настолько нечувствительны насколько возможно к среде, хотя это требование часто трудно удовлетворить из-за стоимости и других соображений рабочих характеристик. Степень, до которой взвешенная система будет тревожиться во время измерительного процесса, является другим важным фактором в выборе инструмента. Например, существенная потеря давления может быть вызвана к взвешенной системе в небольшом количестве методов измерения расхода жидкости ⁴.

Опубликованная литература имеет значительную справку в выборе соответствующего инструмента для подробности измерительное местоположение. Много книг доступны, которые дают ценную помощь в необходимой оценке, снабжая списки и данные обо всех инструментах, доступных для измерения амплитуды физических величин (например, более поздние главы этого текста). Однако, новые методы и инструменты разрабатываются все время, и поэтому хороший инженер инструментария должен держать в курсе последних событий, читая соответствующие технические цапфы регулярно.

Характеристики инструмента, обсужденные в следующей главе, являются функциями, которые формируют технический базис для сравнения между относительными достоинствами различных инструментов. Обычно, чем лучше характеристики, тем выше стоимость. Однако, в сравнении стоимости и относительной пригодности различных инструментов для особенного измерительного местоположения, соображения долговечности, пригодности для обслуживания, и постоянства рабочих характеристик также очень важны, потому что выбранный инструмент должен будет часто быть способным к работе в течение многих длительных периодов без ухудшения рабочих характеристик и требования для дорогостоящего обслуживания. Из-за этого у капитальных затрат инструмента часто есть низкое взвешивание на примере оценки.

Стоимость коррелируется очень строго с рабочими характеристиками инструмента, как измерено его помехами характеристики. Увеличение точности или разложения инструмента, например, может только быть сделано в штрафе увеличения его стоимости производства. Выбор инструмента поэтому продолжается, определяя минимальные характеристики, требуемые измерительным

⁴ Alan S. Morris, Reza Langari. Measurement and instrumentation : theory and application. –pp. 7

местоположением и затем ища каталоги производителей, чтобы обнаружить инструмент, характеристики которого согласовывают требуемых. Выбирать инструмент с характеристиками, верхними к требуемым, только означало бы платеж более чем необходимого для уровня рабочих характеристик, больше чем необходимое.

Так же как стоимость покупки, другие важные факторы на примере оценки - инструмент долговечность и требования к обслуживанию. Предполагая, что у каждого было 20 000\$, чтобы потратить, нельзя было бы потратить 15 000\$ на новый моторный вагон, спроектированный срок службы которого составлял 5 лет, если автомобиль эквивалентной спецификации со спроектированным сроком службы 10 лет был доступен за 20 000\$. Аналогично, долговечность - важное рассмотрение в выборе инструментов. Спроектированный срок службы инструментов часто зависит от условий, в которых должен будет работать инструмент. Требования к обслуживанию должны также быть приняты во внимание, поскольку они также стоили импликаций.

Как правило, хороший критерий оценки получается, если полная покупка стоила и оцененные эксплуатационные расходы инструмента по его сроку службы делятся на период его предполагаемого срока эксплуатации. Полученная фигура является таким образом стоимостью ежегодно. Однако, это правило становится модифицированным, где инструменты устанавливаются на процессе, срок службы которого, как ожидают, будет ограничен, возможно в изготовлении особенной модели автомобиля. Затем, общие стоимости могут только быть разделены на промежуток времени, для которого инструмент, как ожидают, будет использоваться, если переменное использование для инструмента не будет предусмотрено в конце этого периода.

Чтобы подвести итог поэтому, выбор инструмента - компромисс среди рабочих характеристик, прочность и долговечность, требования к обслуживанию, и покупка стоятся. Чтобы выполнить такую оценку должным образом, у инженера инструмента должно быть широкое знание амплитуды инструментов, доступных для измерительных особенных физических величин, и у него или ее должно также быть глубокое понимание того, как характеристики инструмента воздействуются особенными измерительными местоположениями и рабочими условиями.

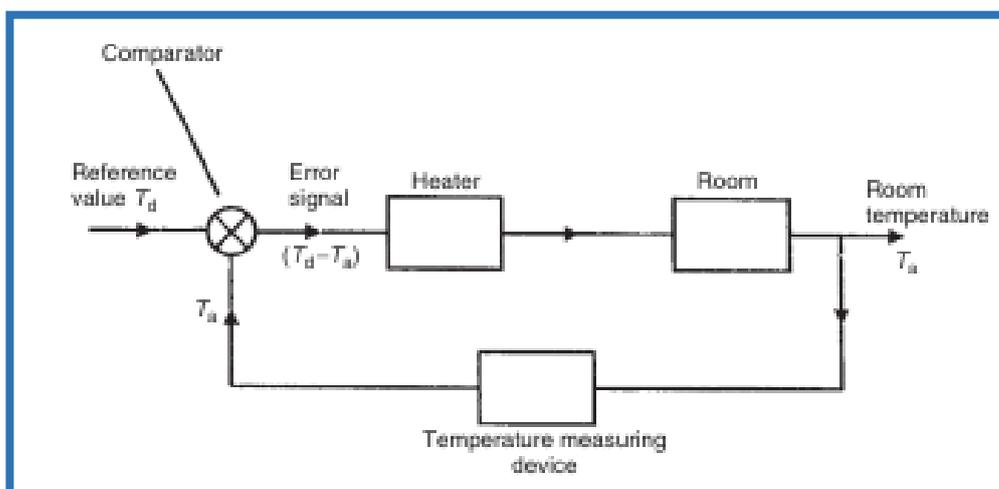
Системы измерения.

Сегодня, методы измерения имеют огромное значение в большинстве фазок человека цивилизация. Современные приложения измерительных приборов могут быть классифицированы в три больших области. Первым из них является их использование в регулировании торговли, применяя инструменты, которые измеряют физические величины, такие как длина, объем, и масса с точки зрения стандартных единиц. Особенные инструменты и преобразователи,

используемые в таких приложениях, включаются в общее описание инструментов, представленных в более поздних главах этой книги ⁵.

Вторая область применения измерительных приборов находится в контроле функций. Они предоставляют информацию, которая позволяет людям предпринять некоторые заданные меры соответственно. Садовник использует термометр, чтобы определить, должен ли он включить теплоту в своей оранжерее или открыть окна, если это слишком горячо. Регулярное изучение барометра позволяет нам решать, должны ли мы взять наши зонты, если мы планируем выходить в течение нескольких часов. В то время как есть таким образом много использования инструментария в наших нормальных внутренних сроках службы, большая часть контроля функций существуют, чтобы предоставить информацию, необходимую, чтобы позволить человеку управлять некоторой индустриальной работой или процессом. В химическом процессе, например, продвижение химических реакций обозначается измерением температур и давлений в различных точках, и такие измерения позволяют оператору принимать корректные решения относительно источника тока к нагревателям, потокам охлаждающей воды, вентильным положениям, и так далее. Одно другое важное использование контроля инструментов находится в калибровке инструментов, используемых в автоматических системах управления технологическим процессом, описанных здесь.

Используйте, поскольку часть автоматических систем регулирования с обратной связью формирует третью область применения системы измерения. [Рисунок 1.2](#) показывает схему функционального блока простой системы регулирования температуры, в которой температурный T_a комнаты сохраняется в ссылочном запаздывании величины.



⁵ Alan S. Morris, Reza Langari. Measurement and instrumentation : theory and application. –pp 9

Рисунок 1.2 Элементы простой системы регулирования по замкнутому циклу.

Величина из регулируемой переменной T_a , как определено температурным измерительным прибором, по сравнению со ссылочной величиной, запаздыванием, и разность, e , применяется как сигнал ошибки к нагревателю. Нагреватель тогда модифицирует комнатную температуру до $T_a + \frac{1}{4}$ запаздывания. Характеристики измерительных приборов, используемых в любой системе регулирования с обратной связью, имеют фундаментальное значение к качеству достигнутого управления. Точность и разложение, с которым управляют переменной выхода процесса, никогда не могут быть лучше чем точность и разложение используемых измерительных приборов. Это - очень важное правило, но то, которое часто обсуждается неверно во многих текстах на автоматических системах управления. Такие тексты зондируют теоретические аспекты расчета системы управления в значительной глубине, но не в состоянии придать достаточное значение факту, что все усилие и фазовые вычисления рабочих характеристик границы полностью зависят от качества полученных измерений процесса.

Анализ типов инструмента

Инструменты могут быть подразделены в отдельные классы согласно нескольким критериям. Эти подклассификации полезны в широком установлении нескольких атрибутов особенных инструментов, таких как точность, стоимость, и общая применимость для различных приложений.

Активные и Пассивные Инструменты

Инструменты делятся на активные или пассивные согласно тому, производится ли выход инструмента полностью измеряемым количеством или модулирует ли количество, измеряемое просто, величину некоторого внешнего источника питания. Это поясняется примерами.

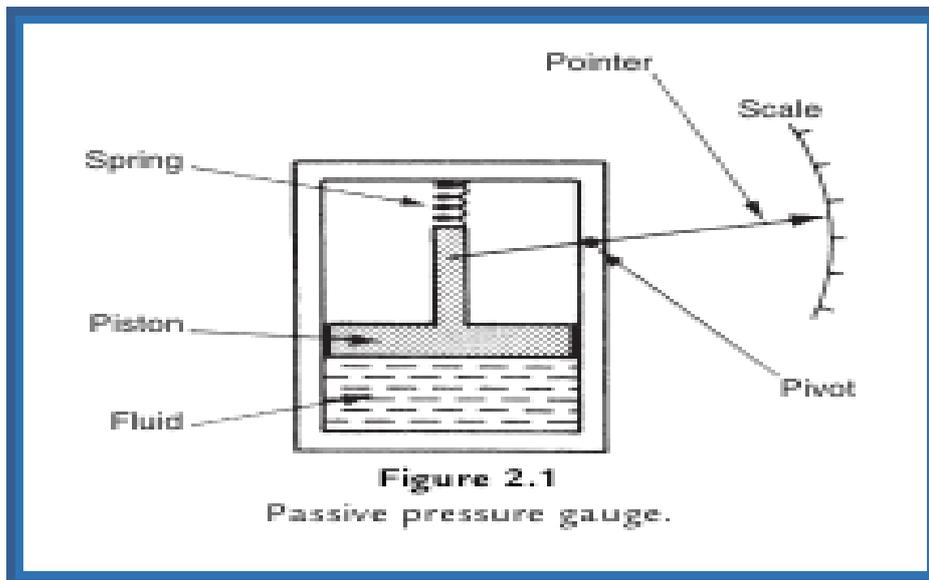


Рисунок 2.1 Пассивный манометр.

Пример пассивного инструмента - прижимной измерительный прибор, показанный на рисунке 2.1. Давление жидкости преобразовывается в перемещение указателя против шкалы. Энергия, израсходованная в перемещении указателя, выводится полностью из изменения на измеренном давлении: нет никаких других подводимых мощностей к системе ⁶.

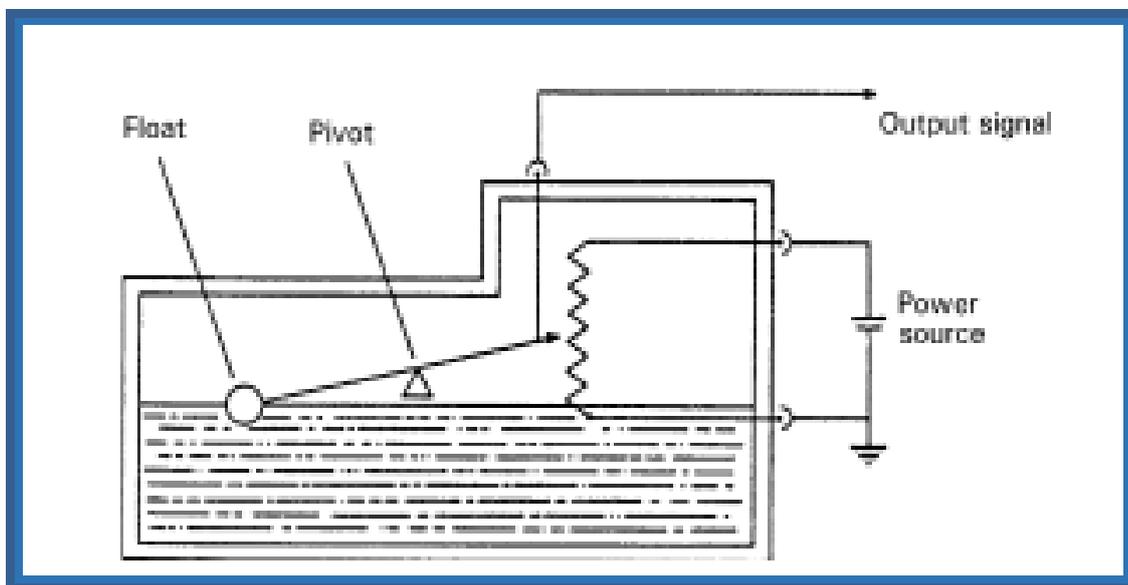
Пример активного инструмента - указатель уровня бака для горючего поплавкового типа как делающийся набросок на рисунке 2.2. Здесь, изменение в бензиновом уровне перемещает руку потенциаломера, и составы выходного сигнала соотношения внешнего источника напряжения, примененного через два конца потенциаломера. Энергия в выходном сигнале исходит из внешнего источника питания: магистральная система поплавка преобразователя просто модулирует величину напряжения от этого внешнего источника питания.

В активных инструментах внешний источник питания обычно находится в электрической форме, но в некоторых случаях, это могут быть другие формы энергии, такие как пневматический или гидравлический.

Одно очень важное различие между активными и пассивными инструментами - уровень измерительное разложение, которое может быть получено. С простым показанным манометром, количество перемещения, сделанного указателем для особенного прижимного изменения, близко определяется природой инструмента. В то время как возможно увеличить измерительное разложение, делая более длинный указатель, так, что передвижения наконечника указателя через более длинную дугу, область действия для такого

⁶ Alan S. Morris, Reza Langari. Measurement and instrumentation : theory and application. –pp. 12,13

усовершенствования ясно ограничивается практическим пределом того, какой длины указатель может удобно быть. В активном инструменте, однако, корректировка величины внешней подводимой мощности позволяет намного большее управление по измерительному разложению.



Указатель уровня Бака для горячего рисунка 2.2.

В то время как область действия для того, чтобы улучшить измерительное разложение намного больше случайно, это не бесконечность из-за ограничений, накладывал на величину внешней подводимой мощности, с учетом тепловых действий и из соображений безопасности.

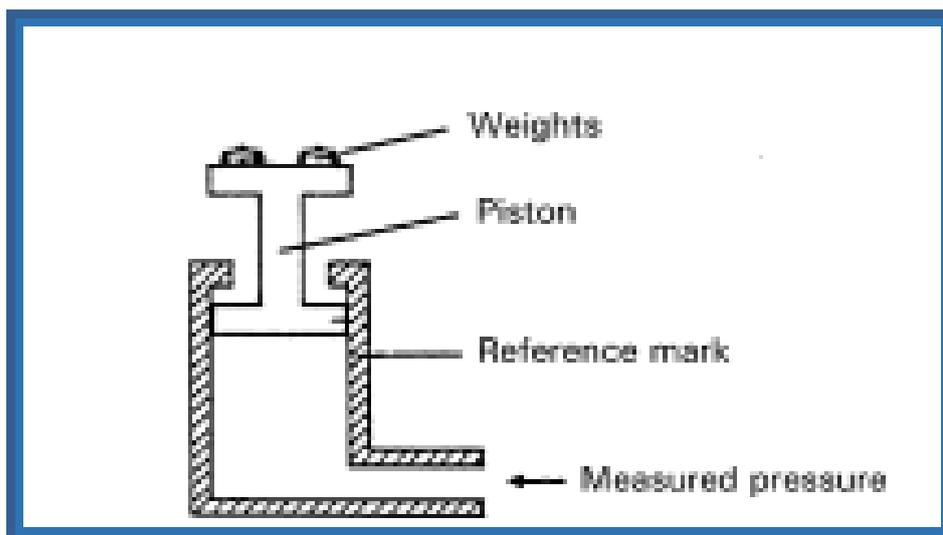
С точки зрения стоимости пассивные инструменты обычно имеют более простое строительство чем активный и поэтому менее дороги, чтобы произвести. Поэтому, выбор между активными и пассивными инструментами для особенного приложения завертывает тщательно балансирование измерительных требований разложения против стоимости.

Пустые типовые и Типовые отклонением Инструменты

Манометр, только упомянутый, является хорошим примером типа отклонения инструмента, где величина измеряемого количества выделяется с точки зрения количества перемещения указателя. Переменный тип манометра - масштаб дедвейта, показанный на рисунке 2.3, который является пустым типовым инструментом. Здесь, веса помещаются сверху поршня до убывающих рычажных весовых динамометров давление жидкости. Веса прибавляются, пока поршень не достигает абсолютного горизонта, известного как пустая точка. Прижимное измерение делается с точки зрения величины весов, должен был достигнуть этого пустого положения.

Точность этих двух инструментов зависит от разных вещей. Для первого это зависит от линейности и калибровки пружины, тогда как для второго это полагается на калибровку весов. Поскольку калибровка весов намного легче чем осторожный выбор и калибровка пружины линейной характеристики, это означает, что второй тип инструмента обычно будет более точным. Это в соответствии с общим правилом, что пустые типовые инструменты более точны чем типы отклонения ⁷.

С точки зрения использования типовой отклонением инструмент ясно более удобен. Далекое более просто читать положение указателя против шкалы чем прибавить и вычесть веса, пока пустая точка не достигается. Типовой отклонением инструмент - поэтому тот, который обычно использовался бы на рабочем месте. Однако, для градуировочных нагрузок, пустой типовой инструмент предпочтителен из-за своей верхней точности. Дополнительное усилие, требуемое использовать такой инструмент, является совершенно приемлемым в этом случае из-за нечастой природы градуировочных операций.



Манометр Дедвейта рисунка 2.3.

Типы инструмента и Показатели производительности 15

Аналоговые приборы и Цифровые измерительные приборы

Аналоговый прибор дает выход, который изменяется непрерывно как количество, измеряемое изменения. У выхода может быть бесконечное число величин в пределах амплитуды, которую инструмент проектируется, чтобы измерить. Тип отклонения манометра, описанного ранее в этой главе (рисунки 2.1), является хорошим примером аналогового прибора. Поскольку входная величина изменяется, передвижения указателя с гладким непрерывным

⁷ Alan S. Morris, Reza Langari. Measurement and instrumentation : theory and application. –pp 13

движением. В то время как указатель может поэтому быть в бесконечном числе положений в пределах его амплитуды перемещения, номер различных положений, между которыми может различить глаз, строго ограничивается; это различие зависит от того, насколько большой шкала и как точно это делится.

У цифрового измерительного прибора есть выход, который изменяется по дискретным шагам и так может только иметь конечное номер величин. Тахометр делал набросок на рисунке 2.4, пример цифрового измерительного прибора. Кулачок присоединен к автоматически возобновляемому корпусу, движение которого измеряется, и на каждом вращении кулачок открывает и закрывает выключатель. Переключающие операции считаются электронным счетчиком. Эта система может только считать целые вращения и не может отличить движение, которое является меньше чем полное вращение.

Различие между аналоговыми приборами и цифровыми измерительными приборами стало особенно важным с быстрым ростом в приложении микрокомпьютеров к автоматическим системам управления. Любая система цифровой вычислительной машины, которой микрокомпьютер - всего лишь один пример, выполняет свои вычисления в цифровой форме. Инструмент, выход которого находится в цифровой форме, поэтому особенно выгоден в таких приложениях, поскольку это может быть связано с помощью интерфейса прямо к управлению

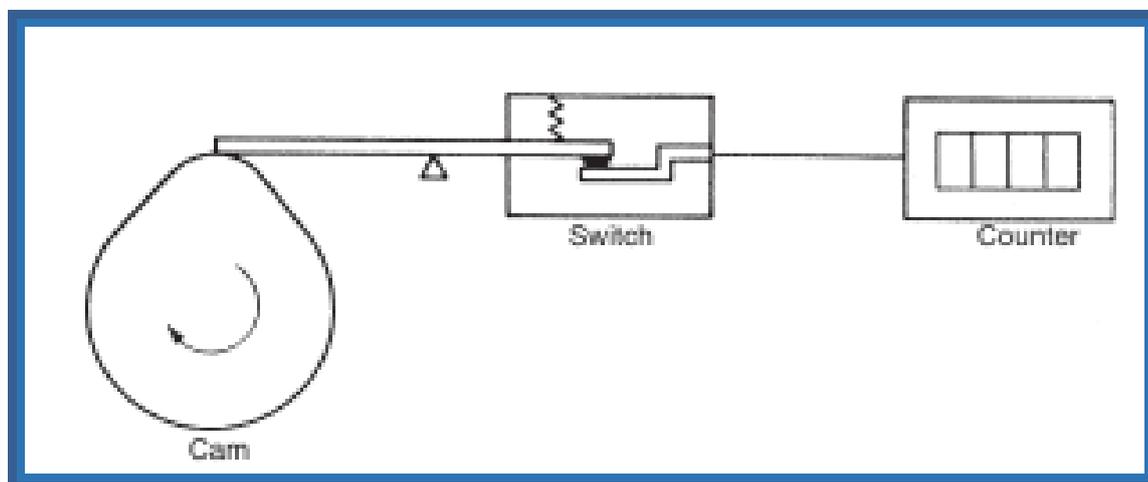


Рисунок 2.4 Тахометр.

компьютер. Аналоговые приборы должны быть связаны с помощью интерфейса к микрокомпьютеру аналогом - к-цифровому (A/D) преобразователь, который преобразовывает сигнал аналогового выхода из инструмента в эквивалентное цифровое количество, которое может читаться в компьютер. У этого преобразования есть несколько недостатков. Во-первых, преобразователь A/D прибавляет существенную стоимость для системы. Во-вторых, конечный

промежуток времени завертывается в процесс преобразования аналогового сигнала к цифровому количеству, и это время может быть критическим на управлении быстрых процессов, где точность управления зависит от скорости управляющего компьютера. Ухудшение скорости работы управляющей вычислительной машины, налагая требование для преобразования А/Д таким образом вредит точности, которой управляют процессом.

Индикаторы и Инструменты с Сигнальным Выходом

Конечный путь, на который могут быть разделены инструменты, между теми, которые просто дают аудио или визуальное указание величины измеренной физической величины и те, которые дают выход в форме измерительного сигнала, величина которого - член пропорции к взвешенному количеству ⁸.

Класс индикаторов обычно включает все пустые типовые инструменты и больше всего пассивные. Индикаторы могут также быть далее разделены на тех, у которых есть аналоговый выход и те, у которых есть цифровой дисплей. Общий аналоговый индикатор - термометр жидкости в стакане. Другое общее индикаторное устройство, которое существует и в аналоге и в цифровых формах, является весами для ванной комнаты. Более старая механическая форма этого - аналоговый тип инструмента, который дает строение выхода вращающегося указателя,двигающегося против шкалы (или иногда вращающейся шкалы,двигающейся против указателя). У более свежих электронных форм весов есть строение цифрового устройства вывода номеров, представленных на электронном дисплее. Один большой недостаток с индикаторными устройствами - то, что человеческое вмешательство обязано читать и записывать измерение. Этот процесс является особенно склонным к погрешности в случае показов аналогового выхода, хотя цифровые дисплеи не являются очень склонными к погрешности, если читатель не небрежен.

Инструменты, у которых есть сигнально-типовой выход, обычно используются в качестве части автоматического регулирования системы. При других обстоятельствах они могут также быть найдены в системах измерения, где измерительный сигнал выхода записывается в некотором роде для более позднего использования. Этот предмет покрывается в более поздних главах. Обычно, измерительный завернутый сигнал является электрическим напряжением, но он может принять другие формы в некоторых системах, таких как электрический ток, оптический сигнал, или пневматический сигнал.

Статические характеристики инструментов

Если у нас есть термометр в комнате, и ее чтение показывает температуру 20⁰С, то это действительно не имеет значение, является ли истинная температура комнаты 19.5 или 20.5⁰С. Такие малые

⁸ Alan S. Morris, Reza Langari. Measurement and instrumentation : theory and application. –pp. 16

вариации вокруг 20°C слишком малы, чтобы воздействовать, чувствуем ли мы себя достаточно теплыми или нет. Наши корпуса не могут различить между такими близкими уровнями температуры, и поэтому термометр с неточностью $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ отлично соответствует. Если мы должны были измерить температуру определенных химических процессов, однако, вариация 0.5°C могла бы иметь существенный эффект на коэффициент реакции или даже продуктов процесса. Измерительная неточность намного меньше чем $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ поэтому ясно требуется. Точность измерения - таким образом одно рассмотрение в выборе инструмента для особенного приложения. Другие параметры, такие как чувствительность, линейность, и реакция на изменения температуры окружающей среды, являются дальнейшими соображениями. Эти атрибуты все вместе известны как статические характеристики инструментов и даются в таблице данных для особенного инструмента. Важно заметить, что величины, заключенные в кавычки для характеристик инструмента в такой таблице данных только, применимы, когда инструмент используется под указанными стандартными градуировочными условиями. Должное разрешение должно быть сделано для вариаций в характеристиках, когда инструмент используется в других условиях.

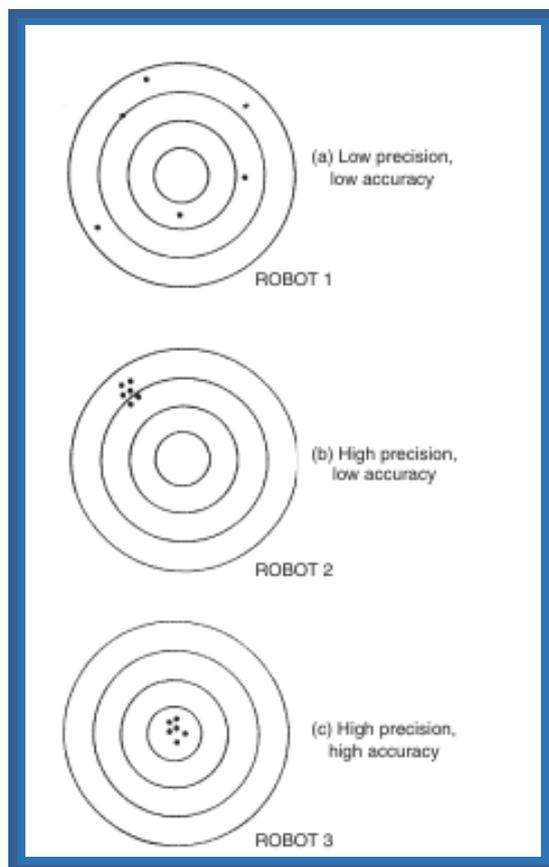
Точность инструмента - критерий того, как близко значение выхода инструмента к корректной величине. Практически, более обычно заключить в кавычки неточность или измерительную величину неопределенности, а не величину точности для инструмента. Неопределенность неточности или измерения - степень, до которой чтение могло бы быть неправильным и часто заключается в кавычки как процент от натурального (f.s.) чтения инструмента.

Вышеупомянутый пример несет очень важное сообщение. Поскольку максимум измерительная погрешность в инструменте обычно связывается с натурным чтением инструмента, измерительные количества, которые являются существенно меньше, чем натурное чтение означает, что возможная измерительная погрешность усиливается. Поэтому это - важное правило проектирования системы, что инструменты выбираются так, что, их амплитуда является соответствующей протяженности величин, измеряемых, чтобы самая лучшая точность была сохранена в чтении инструмента. Ясно, если бы мы измеряем давления с математическими ожиданиями между 0 и 1 бар, мы не использовали бы инструмент с пределом измерений 0-10 бар.

Точность - член, который описывает степень свободы инструмента от случайных ошибок. Если большое количество чтения будет взято того же самого количества высоким точным инструментом, то протяженность чтения будет очень мала. Точность часто, хотя неправильно, перепутана с точностью. Высокая точность ничего не подразумевает о точности измерения. У высокого точного

инструмента может быть низкая точность. Низкие измерения точности от высокого точного инструмента обычно вызываются смещением в измерениях, которое устранимо переградуировкой ⁹.

Повторяемость членов и воспроизводимость означают приблизительно то же самое, но применяются в различные контексты, как дано позже. Повторяемость описывает плотность чтения выхода когда тот же самый вход применяется повторно за короткий период времени, с теми же самыми измерительными условиями, тем же самым инструментом и наблюдателем, той же самой локализацией, и теми же самыми условиями использования, сохраненными повсюду. Воспроизводимость описывает плотность чтения выхода для того же самого входа, когда есть изменения в методе измерения, наблюдателя, измерительного прибора, локализации, условий использования, и время измерения. Оба члена таким образом описывают протяженность чтения выхода для того же самого входа. Эта протяженность упоминается как повторяемость если измерительные условия - константа и как воспроизводимость, если измерительные условия изменяются. Степень повторяемости или воспроизводимости в измерениях из инструмента переменный способ выразить его точность. [Рисунок 2.5](#) поясняет это более ясно, показывая результаты критериев на трех индустриальных роботах, запрограммированных, чтобы разместить узлы в особенной точке на столе.



⁹ Alan S. Morris, Reza Langari. Measurement and instrumentation : theory and application. –pp18

Рисунок 2.5 Сравнение точности и точности.

Целевая точка была в центре концентрических кругов, показанных, и черновины представляют точек, где каждый робот фактически осаждал узлы при каждой попытке. И точность и точность Робота 1, как показывают, низки на этом испытании. Робот 2 последовательно подавляет узел в приблизительно том же самом месте, но это - неправильная точка. Поэтому, у этого есть высокая точность, но низкая точность. Наконец, у Робота 3 есть и высокая точность и высокая точность, потому что это последовательно размещает узел в корректном целевом положении.

Допускаемая величина отклонения

Допуск - член, который тесно связан с точностью и определяет предельную ошибку, которая должна ожидаться в некоторой величине. В то время как это не, строго говоря, статическая характеристика измерительных приборов, это упоминается здесь, потому что точность некоторых инструментов иногда заключается в кавычки как величина допуска. Когда использующийся правильно, допуск описывает максимальную девиацию произведенного узла от некоторой указанной величины. Например, коленчатые валы обработаны на станке с допуском диаметра, заключенным в кавычки как очень много микрометров, и у узлов электрической схемы, таких как сопротивления есть допуски, возможно, 5 %.

Рисунок 2.8 поясняет выходную характеристику Гистерезисные эффекты инструмента, который показывает гистерезис. Если вход имел размеры, количество к инструменту увеличивается устойчиво с отрицательной величины, чтение выхода изменяется таким образом показанный по кривой А. Если входная переменная тогда уменьшается устойчиво, выход изменяется таким образом показанный по кривой В. Несовпадение между этими, которые искривляет загрузка и разгрузка, известно как гистерезис. Два количества определяются, максимальный гистерезис входа и гистерезис наибольшего выхода, как показано на рисунке 2.8. Они обычно выражаются как процент от максимального сигнала на входе или выводили чтение, соответственно ¹⁰.

¹⁰ Alan S. Morris, Reza Langari. Measurement and instrumentation : theory and application. –p. 26

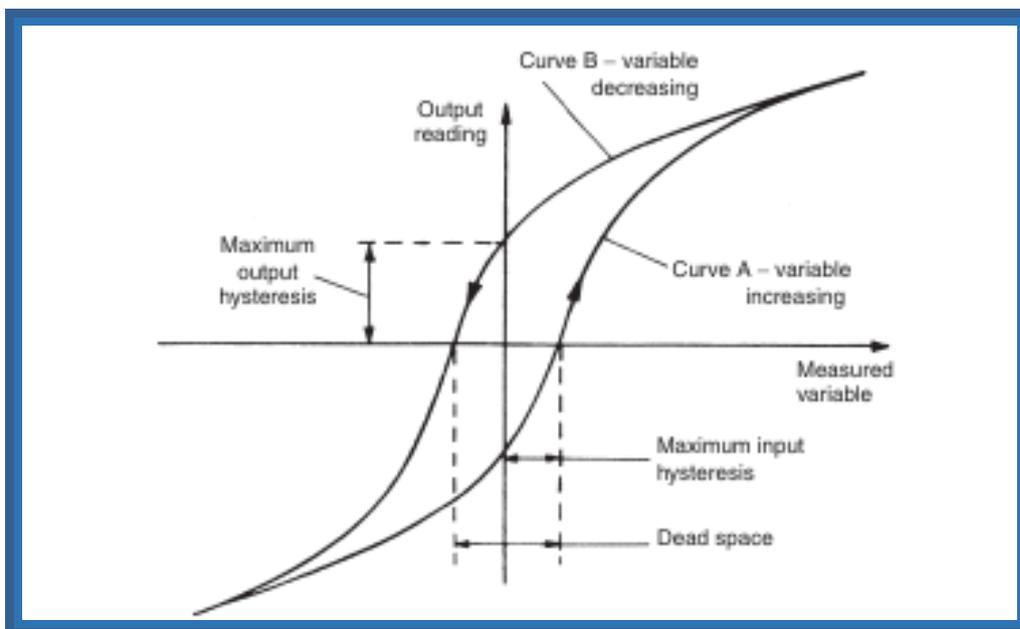


Рисунок 2.8 Характеристика инструмента с гистерезисом.

Гистерезис находится обычно в инструментах, которые содержат пружины, такой как пассивный манометр (рисунок 2.1) и Тормоз Прони (используемый для того, чтобы измерить вращающий момент). Также очевидно, когда у сил трения в системе есть различные величины в зависимости от направления перемещения, такой как в массовом измерительном приборе шкалы маятника. Устройства, такие как механический шар центробежного регулятора (устройство для того, чтобы измерить скорость вращения) переносят гистерезис от обоих из вышеупомянутых источников, потому что они имеют трение в подвижных частях и также содержат пружину.

Гистерезис может также происходить в инструментах, которые содержат электрические обмотки сформированная окружность железное ядро, сбор к магнетику гистерезис в железе. Это происходит в устройствах, таких как переменный преобразователь смещения индуктивности, линейный переменный дифференциальный трансформатор, и вращательный дифференциальный трансформатор.

Зона нечувствительности

Зона нечувствительности определяется как амплитуда различных входных величин, по которым нет никакого изменения в выходном значении. Любой инструмент, который показывает гистерезис также, выделяет зону нечувствительности, как маркировано на рисунке 2.8. Некоторые инструменты, которые не страдают ни от какого существенного гистерезиса, могут все еще показать зону нечувствительности в своих выходных характеристиках, как бы то ни было. Зазор в механизмах - типичная причина зоны нечувствительности и следует видом выходной характеристики инструмента, показанной на рисунке 2.9. Зазор обычно испытывается в

зубчатых передачах, используемых, чтобы преобразовать между поступательным перемещением и вихревым движением (который является общим методом, используемым, чтобы измерить скорость поступательного движения).

Динамические характеристики инструментов.

Статические характеристики измерительных приборов обеспокоены только с установившимся чтением, что инструмент успокаивается к, такие как точность чтения.

Динамические характеристики измерительного прибора описывают его поведение между временем а взвешенное количество изменяет величину и время, когда выход инструмента достигает установившейся величины в реакции. Как со статическими характеристиками, любые величины для динамических характеристик заключаются в кавычки в инструменте таблицы данных только применимы, когда инструмент используется под указанными условиями окружающей среды. Вне этих градуировочных условий может ожидать некоторая вариация в динамических параметрах.

В любой линейной, независимой от времени измерительной системе может быть записано следующее общее соотношение между вводом и выводом в течение времени $(t) > 0$:

$$a_n \frac{d^n q_o}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} q_o}{dt^{n-1}} + \dots + a_1 \frac{dq_o}{dt} + a_0 q_o = b_m \frac{d^m q_i}{dt^m} + b_{m-1} \frac{d^{m-1} q_i}{dt^{m-1}} + \dots + b_1 \frac{dq_i}{dt} + b_0 q_i, \quad (2.1)$$

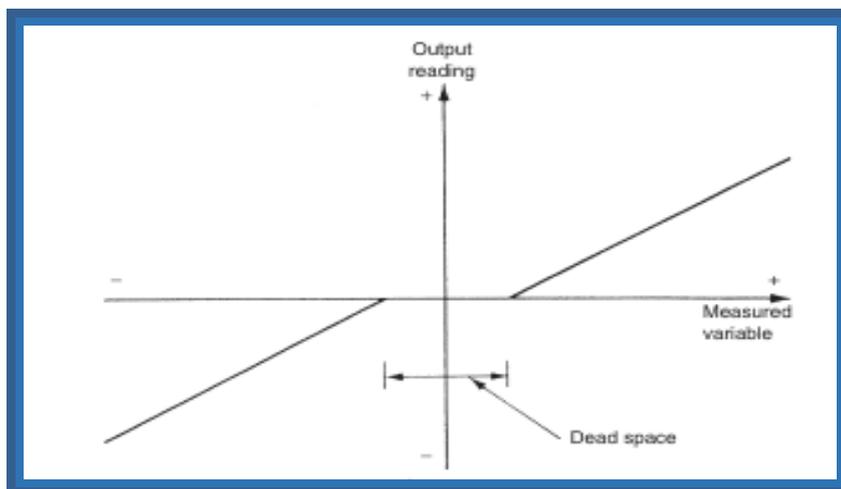


Рисунок 2.9 Характеристика инструмента с зоной нечувствительности.

где q_i - взвешенное количество, q_o - чтение выхода, и a_0, \dots, a_n , b_0, \dots, b_m - константы. Считыватель, математический фон которого - так, что [Уравнение \(2.1\)](#), кажется пугающим, не должен волноваться незаконно, поскольку только определенные специальные, упрощенные случаи этого применимы в нормальных измерительных

местоположениях¹¹. У важного важного пункта должна быть практическая оценка способа, которым реагируют всевозможные типы инструментов, когда измеряемая величина применялась к ним, изменяется. Если мы ограничиваем рассмотрение тем из ступенчатых изменений во взвешенном количестве только, то [Уравнение \(2.1\)](#) понижает к

$$a_n \frac{d^n q_o}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} q_o}{dt^{n-1}} + \dots + a_1 \frac{dq_o}{dt} + a_0 q_o = b_0 q_i. \quad (2.2)$$

Дальнейшее упрощение может быть сделано, беря определенные частные случаи [Уравнения \(2.2\)](#), который все вместе применитесь к почти всем системам измерения.

Если все коэффициенты $a_1 \dots$ кроме a_0 в [Уравнении \(2.2\)](#) принимаются ноль, тогда

$$a_0 q_o = b_0 q_i \quad \text{or} \quad q_o = b_0 q_i / a_0 = K q_i, \quad (2.3)$$

где K является константой, известной как чувствительность инструмента как определено ранее.

Любой инструмент, который ведет себя согласно [Уравнению \(2.3\)](#), как говорят, имеет тип нулевого порядка. После ступенчатого изменения во взвешенном количестве во время t , инструмент сразу вывел передвижения к новой величине одновременно момент t , как показано на рисунке 2.10. Потенциаломер, то, который измеряет движение, является хорошим примером такого инструмента, где выходное напряжение изменяется мгновенно, поскольку движок перемещается вдоль следа потенциаломера.

2.4.2 Измерительный прибор первого класса точности

Если все коэффициенты $a_2 \dots$ за исключением a_0 и a_1 принимаются ноль в [Уравнении \(2.2\)](#) тогда

$$a_1 \frac{dq_o}{dt} + a_0 q_o = b_0 q_i. \quad (2.4)$$

Любой инструмент, который ведет себя согласно [Уравнению \(2.4\)](#), известен как измерительный прибор первого класса точности. Если d/dt замещается оператором D в [Уравнении \(2.4\)](#), мы добираемся и реконструкция этого тогда подается

¹¹ Alan S. Morris, Reza Langari. Measurement and instrumentation : theory and application. –pp27

$$a_1 Dq_o + a_0 q_o = b_0 q_i$$

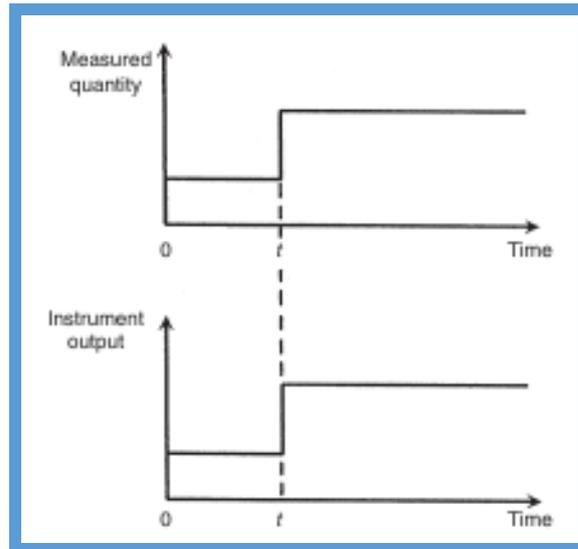


Рисунок 2.10 Характеристика инструмента нулевого порядка.

Типы инструмента и Показатели производительности 29

$$q_o = \frac{(b_0/a_0)q_i}{[1 + (a_1/a_0)D]} \quad (2.5)$$

Определяя $K = b_0/a_0$ как статическая чувствительность и $t \frac{1}{4} a_1/a_0$ как постоянная времени системы, [Уравнение \(2.5\)](#) становится

$$q_o = \frac{Kq_i}{1 + \tau D} \quad (2.6)$$

Если [Уравнение \(2.6\)](#) решается аналитически, количество выхода q_o в ответ на шаг изменение в q_i во время t меняется в зависимости от времени, таким образом показанного на рисунке [2.11](#). Постоянная времени t переходной характеристики является фактическим временем для количества выхода q_o , чтобы достигнуть 63 % его окончательного значения.

Термопара (см. Главу 14) является хорошим примером измерительного прибора первого класса точности. Это известно, что, если термопара в комнатной температуре погружается в кипящую воду, выход ЭДС не возвышается мгновенно к уровню, указывающему

100°C, но вместо этого приближается к чтению, указывающему 100°C способом, подобным показанному на рисунке 2.11¹².

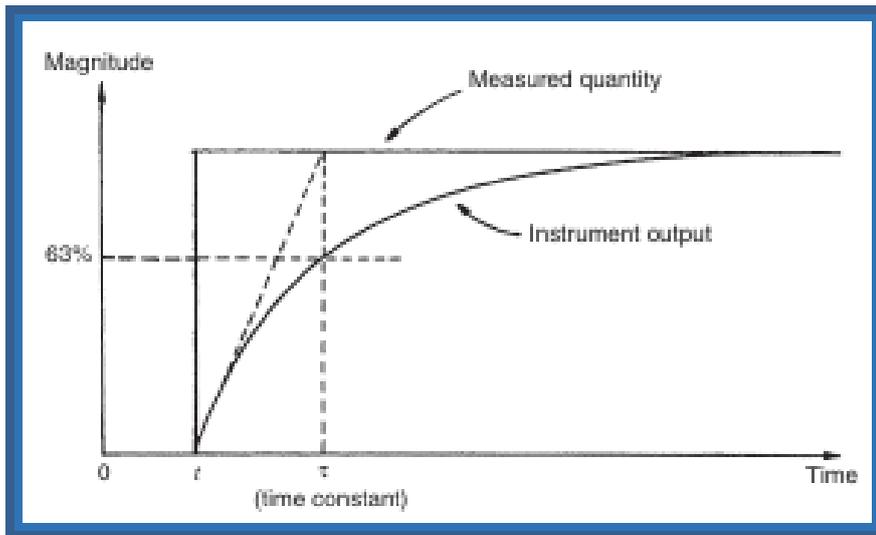


Рисунок 2.11 Характеристика измерительного прибора первого класса точности.

Большое количество других инструментов также принадлежит этому высокоточному классу: это имеет большое значение в системах управления, где необходимо принять во внимание запаздывание, которое происходит между взвешенным количеством, изменяющимся в величине и указанием измерительного прибора изменение. К счастью, потому что постоянная времени многих измерительных приборов первого класса точности - малая величина относительно динамических громкоговорителей измеряемого процесса, никакие серьезные проблемы не создаются.

Инструмент второго порядка

Если все коэффициенты $a_3...a_n$ кроме a_0 , a_1 , и a_2 в Уравнении (2.2) принимаются ноль, тогда мы добиваемся

$$a_2 \frac{d^2 q_o}{dt^2} + a_1 \frac{dq_o}{dt} + a_0 q_o = b_0 q_i. \quad (2.7)$$

Применяя оператора D снова:

$$a_2 D^2 q_o + a_1 D q_o + a_0 q_o = b_0 q_i,$$

и реконструкция:

¹² Alan S. Morris, Reza Langari. Measurement and instrumentation : theory and application. –pp29

$$q_o = \frac{b_o q_i}{a_o + a_1 D + a_2 D^2} \quad (2.8)$$

Удобно повторно выразить переменные a_0 , a_1 , a_2 , и b_0 в Уравнении (2.8) с точки зрения трех параметров: K (статической чувствительности), ω (незатухающая собственная частота), и ξ (декремент затухания), где

$$K = b_o/a_o \quad ; \quad \omega = \sqrt{a_o/a_2} \quad ; \quad \xi = a_1/2\sqrt{a_o a_2}$$

ξ может быть записан как

$$\xi = \frac{a_1}{2a_o \sqrt{a_2/a_o}} = \frac{a_1 \omega}{2a_o}$$

Если Уравнение (2.8) теперь делится через a_0 , мы добиваемся

$$q_o = \frac{(b_o/a_o) q_i}{1 + (a_1/a_o) D + (a_2/a_o) D^2} \quad (2.9)$$

Члены в Уравнении (2.9) могут быть записаны с точки зрения ω и ξ следующим образом:

$$\frac{b_o}{a_o} = K \quad ; \quad \left(\frac{a_1}{a_o}\right) D = \frac{2\xi D}{\omega} \quad ; \quad \left(\frac{a_2}{a_o}\right) D^2 = \frac{D^2}{\omega^2}$$

Следовательно, деля Уравнение (2.9) через q_i и заменяющий a_0 , a_1 , и a_2

$$\frac{q_o}{q_i} = \frac{K}{D^2/\omega^2 + 2\xi D/\omega + 1} \quad (2.10)$$

Это - нормальное уравнение для системы второго порядка, и любой инструмент, реакция которого может быть описана им, известен

как инструмент второго порядка. Если Уравнение (2.9) решается аналитически, форма полученной переходной характеристики зависит от величины параметра декремента затухания ξ . Реакции выхода инструмента второго порядка для различных величин ξ после ступенчатого изменения в величине взвешенного количества во время t показывают на рисунке 2.12. Для случая А, то, где $\xi = 0$, нет никакого увлажнения и выхода инструмента, показывает постоянные амплитудные колебания когда тревожащийся любым изменением в измеренной физической величине. Для легкого увлажнения $\xi = 0.2$, представленныйслучае В, реакция на ступенчатое изменение во входе является все еще колебательной, но колебания постепенно утихают. Дальнейшее увеличение величины ξ понижает колебания и перерегулирование все еще больше, как показано кривыми С и D, и наконец реакция становится очень сверхзатухшей, как показано кривой Е, где чтение выхода медленно накапливается к корректному чтению. Ясно, крайние характеристики чувствительности А и Е являются чрезвычайно неподходящими для любого измерительного прибора.¹³

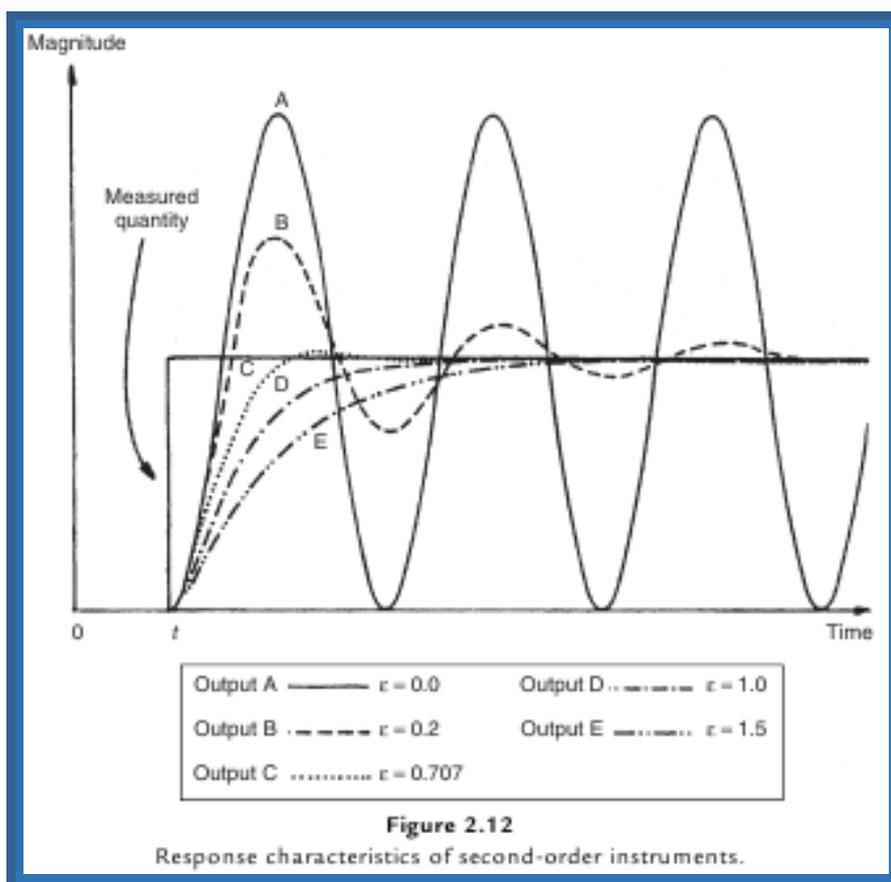


Рисунок 2.12 Частотные характеристики инструментов второго порядка.

¹³ Alan S. Morris, Reza Langari. Measurement and instrumentation : theory and application. –pp. 33

Если бы инструмент должен был только когда-либо подвергаться входам шага, то стратегия проектирования должна была бы нацелиться к декременту затухания 0.707, который подается, критически затухал реакция (С). К сожалению, большинство физических величин, которые инструменты обязаны измерять, не изменяется в математически удобной форме шагов, а скорее в форме скатов изменения падений Какформа изменений входной переменной, таким образом, оптимальное значение для x изменяется, и выбор ξ , становится одним из компромисса между теми величинами, которые являются лучшими для каждого типа ожидаемого поведения входной переменной. Коммерческие инструменты второго порядка, из которых акселерометр - типичный пример, обычно проектируются, чтобы иметь декремент затухания (ξ) где-нибудь в амплитуде 0.6-0.8.

Требование Калибровки

Предшествующее обсуждение описало статические и динамические характеристики измерительных приборов в некоторой детали. Однако, важная квалификация, которая была опущена из этого обсуждения, - то, что инструмент только соответствует установленным статическим и динамическим моделям поведения после того, как это было калибровано. Можно обычно предполагать, что новый инструмент будет калиброван, когда это будет получено от производителя инструмента и будет поэтому первоначально вести себя согласно характеристикам, формулированным в спецификациях. Во время использования, однако, его поведение будет постепенно расходиться от установленной спецификации для множества причин. Такие причины включают механический износ и эффекты грязи, пыли, дымов, и химических продуктов в среде. Степень расхождения от стандартных спецификаций изменяется согласно типу инструмента, частоте использования, и серьезности рабочих условий. Однако, там прибудет время, определенное практическими знаниями, когда характеристики инструмента будут дрейфовать от стандартной спецификации недопустимым количеством.

Контрольные вопросы:

1. Как системы единиц измерения развились за эти годы?
2. Каковы главные элементы в системе измерения и каковы их функции?

3. Какие элементы не необходимы в некоторых системах измерения и почему они не необходимы?
4. Что основные факторы управляют выбором измерительного прибора для данного приложения?
5. Назовите и обсуждаете три области применения для систем измерения.

Использованные литературы:

1. Alan S Morris, Reza Langari, Measurement and Instrumentation. Theory and application, 2012 640 p.

2-тема: Погрешность измерения

План:

1. Источники постоянной ошибки.
2. Системные помехи измерений.
3. Погрешности, связанные с окружающей средой.
4. Источники и устранение случайных ошибок.

Ключевые слова: точность, измерительная неопределенность, константа, предельную ошибка статическая, характеристика, гистерезисные эффекты, зона нечувствительности, динамические характеристики, цифровыми измерительными приборами.

Основные определения

Измерение физических величин не может быть произведено абсолютно точно вследствие несовершенства измерительных приборов и методов измерения, а также из-за влияния условий измерений. Численное значение ошибок, возникающих при этом, называются погрешностями измерения, т.е. погрешностью измерительного прибора называется разность между его показанием и истинным значением измеряемой величины.

Погрешность измерения может быть выражена в виде абсолютной или относительной величины.

Абсолютная погрешность «а», выражаемая в единицах измерения представляет собой разность между показанием прибора $A_{п}$, и действительным значением измеряемой величины $A_{д}$,

$$a = A_{п} - A_{д}$$

а относительная погрешность «b», приводимая в процентах, есть отношение абсолютной погрешности к действительному значению, т.е

$$b = \frac{a}{A_{д}} 100\%$$

Для определения действительного значения измеряемой величины в показания прибора вводится поправка "d", численно равная абсолютной погрешности, взятой с обратным знаком.

В технике применяются приборы, с помощью которых проводят измерения лишь с определенной заранее заданной точностью –допустимой основной погрешностью.

Величины допустимых основных погрешностей, соответствующие нормальным условиям работы приборов, устанавливаются стандартами. По величине допустимых основных погрешностей измерительные приборы подразделяются на следующие классы точности: 0.005; 0.02; 0.05; 0.2; (лабораторные, образцовые и эталонные приборы), 0.35;(контрольные приборы), 0.5; 1; 1.5; 2; 2.5;(технические приборы).

Условное обозначение **класса точности** соответствует наибольшей основной допустимой абсолютной погрешности «а», отнесенной к диапазону шкалы N и выраженной в процентах, т.е $\frac{a}{N} 100\%$. С другой стороны, отношение

абсолютной погрешности к диапазону шкалы, выраженной в процентах, называется **приведенной относительной погрешностью** β , т.е

$$\beta = \frac{a}{N} 100\% .$$

Таким образом, класс точности прибора показывает, какую погрешность может допустить прибор относительно диапазона шкалы прибора (в процентах).

Погрешность измерения, зависящая от свойств и состояния измерительного прибора при нормальных условиях его работы, называется **основной погрешностью**, а все остальные –дополнительными погрешностями. Для нахождения основной погрешности прибора он через определенные сроки подвергается проверке, т.е сравнению его показаний с показаниями более точного прибора, имеющего в несколько раз меньшую погрешность чем поверяемый прибор. Обычно проверку производят вначале при возрастающем значении измеряемой величины (прямой ход), а затем при убывающем (обратный ход).

Наибольшая разность показаний, полученных в том и другом случаях при одном и том же действительном значении измеряемой величины и неизменных внешних условиях, называется **вариацией** показаний прибора. Появление вариации обычно вызывается упругим или термическим последствием чувствительного элемента, трением подвижных частей прибора, наличием зазоров (люфтов) в сочленениях измерительного механизма и прочие.

Вариация показаний прибора чаще всего выражается в процентах от диапазона шкалы

$$\gamma = \frac{A_{np} - A_{обр}}{N} 100\%$$

и должна быть меньше основной допустимой погрешности прибора (класса точности).

Если прибор работает в условиях отличных от нормальных условий, возникают дополнительные погрешности.

Кроме того, погрешности измерения в зависимости от их характера делятся на **систематические, случайные и грубые**.

Систематическими называются погрешности, причины появления которых достаточно хорошо известны.

Случайные погрешности не подчиняются какой-либо известной закономерности.¹⁴.

Результаты измерений, содержащие **грубые** погрешности, исключаются из рассмотрения как явно неточные.

Измеряемая величина, поступающая на вход средства измерений, в целях обобщения, называется входным сигналом (величиной) средства измерений, например давление, подводимое к манометру; температура среды для термоэлектрического преобразователя, погруженного в эту среду. Сигнал или показания, получаемые на выходе средства измерений, называются выходным сигналом (величиной) средства измерений, например показание манометра, считываемое по шкале; значение термо-ЭДС, развиваемой термоэлектрическим преобразователем. Зависимость выходного

¹⁴Alan S. Morris, Reza Langari. Measurement and instrumentation : theory and application. –pp41

сигнала средства измерений y от входного сигнала x , представленная в виде таблицы, графика или формулы, называется номинальной статической характеристикой (НСХ) средства измерений, часто называемой градуировочной. Отношение изменения сигнала на выходе измерительного прибора Δy к вызвавшему его изменению входной величины (сигнала) Δx называется чувствительностью средства измерения. Применительно к измерительным преобразователям это отношение называют коэффициентом преобразования (коэффициентом передачи). Чувствительность определяется формулой

$$S = \Delta y / \Delta x \quad (2.11)$$

Чувствительность является в большинстве случаев именованной величиной, так для термоэлектрического преобразователя это $mB/^{\circ}C$, для термопреобразователя сопротивления — $Om/^{\circ}C$. Качество средства измерений, отражающее неизменность во времени его метрологических свойств, называется стабильностью средств измерений. Как правило, она характеризуется стабильностью его градуировочной характеристики.

Выходной сигнал средства измерений при малых изменениях входной величины может на них не реагировать. В связи с этим вводится такая характеристика, как порог чувствительности средства измерения. Он определяется минимальным значением изменения входного сигнала, вызывающим видимые изменения выходного сигнала. В технической документации на приборы порог чувствительности обычно дается в виде приведенного к диапазону измерения значения, выраженного в процентах.

Выходной сигнал средств измерений зависит от направления подхода к значению измеряемой величины: со стороны меньших (снизу) или больших (сверху) значений. Неоднозначность градуировочной характеристики при увеличении и уменьшении входной величины характеризуется вариацией.

2.1 Источники(систематических) постоянных ошибок

Основные источники постоянной ошибки на выходе измерительных приборов могут быть получены в результате

- Влияние внешних воздействий, часто называемых изменением входов;
- Нарушение устойчивости системы в результате измерения

- Изменения характеристики узлов приборов результате их износа
- Влияние сопротивления соединительных электропроводов

2.2 Систематические погрешности измерений

Нарушение устойчивости системы под действием измерения - общий источник постоянной ошибки. Например, если мы хотим измерить температуру в стакане с помощью ртутного термометра, то мы берем термометр с комнатной температурой и погружаем его в воду. Таким образом, мы вводим относительно холодную массу (термометр) в горячую воду, тогда будет иметь место теплопередача между водой и термометром. За счет теплопередачи понизится температура воды. Данный эффект ясно устанавливает правило, что в почти во всех случаях процесс измерения оказывает возмущающее влияние на систему и изменяет величины измеряемых физических величин¹⁵.

Особенно это важно учитывать при установке сужающих устройств (диафрагм). Для измерения скорости потока диафрагма размещается в трубопроводе. Скорость потока является функцией давления, которое измеряется по обе стороны диафрагмы. Эта измерительная процедура вызывает постоянную потерю давления в потоке жидкости. Нарушение взвешенной системы может часто быть очень существенным.

Таким образом, как правило, процесс измерения всегда возмущает измеряемую систему. Величина возмущения изменяется и с изменением типа инструмента, используемого для измерения. Для минимизации влияния измерений на устойчивость необходимо производить определенные расчеты и соблюдать правила монтажа.

Измерения в электрических схемах

Например, считайте цепь показанной на рисунке 3.1а, в котором напряжение через сопротивление R_5 должен быть измерен вольтметром с *Комнатой* сопротивления. Здесь, *Комната* действует как сопротивление шунта через R_5 , уменьшая сопротивление между AB точек и таким образом возмущая цепь. Поэтому, напряжение, E_m , измеренная измерителем, не является величиной напряжения E_o , который существовал до измерения. Степень нарушения может быть оценена, вычисляя напряжение холостого хода E_o и сравнивая это с E_m .

¹⁵Alan S. Morris, Reza Langari. Measurement and instrumentation : theory and application. –p. 42

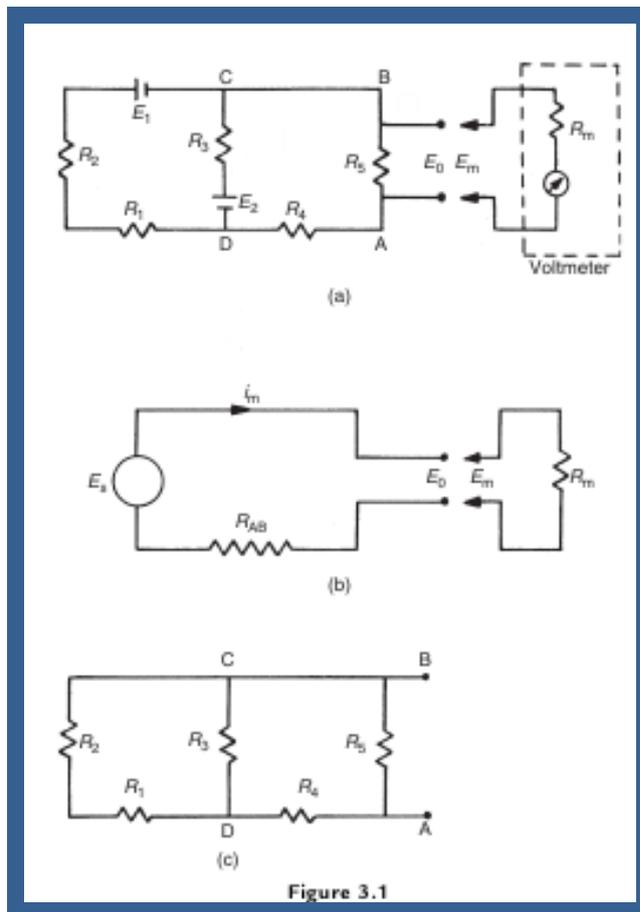


Рисунок 3.1 Анализ нагрузки цепи: (а) цепь, в которой напряжение через R_5 должно быть измерено, (б) схема замещения теоремой Тевенина, и (с) цепь имели обыкновение обнаруживать эквивалент единственным.

Теорема Тевенина позволяет цепи рисунка 3.1а, включающего два источника напряжения и пять сопротивлений быть замещенной схемой замещения, содержащей единственное сопротивление и один источник напряжения, как показано на рисунке 3.1б. С целью определения эквивалентного единственного сопротивления цепи теоремой Зэ'венина все источники напряжения представляются только их внутренним сопротивлением, которое может быть аппроксимировано, чтобы обнулить, как показано на рисунке 3.1с.

Анализ продолжается, вычисляя эквивалентные сопротивления сечений цепи, и строение их вплоть до заданного эквивалентного сопротивления всей цепи получается. Начинаясь в C и D , цепь налево от C и составов D пары ряда сопротивлений (R_1 и R_2) параллельно с R_3 , и эквивалентным сопротивлением может быть записана как

$$\frac{1}{R_{CD}} = \frac{1}{R_1 + R_2} + \frac{1}{R_3} \quad \text{or} \quad R_{CD} = \frac{(R_1 + R_2)R_3}{R_1 + R_2 + R_3}.$$

Двигаясь теперь в A и B , цепь к составам левой стороны пары сопротивлений ряда (R_{CD} и R_4) параллельно с R_5 . Сопротивление схемы замещения R_{AB} может таким образом быть записано как

$$\frac{1}{R_{AB}} = \frac{1}{R_{CD} + R_4} + \frac{1}{R_5} \quad \text{or} \quad R_{AB} = \frac{(R_4 + R_{CD})R_5}{R_4 + R_{CD} + R_5}.$$

Заменяя R_{CD} , который использованное выражение выводило ранее, мы получаем¹⁶

$$R_{AB} = \frac{\left[\frac{(R_1 + R_2)R_3}{R_1 + R_2 + R_3} + R_4 \right] R_5}{\frac{(R_1 + R_2)R_3}{R_1 + R_2 + R_3} + R_4 + R_5}. \quad (3.1)$$

Определяя I как ток, текущий в цепи, когда измерительный прибор соединяется с этим, мы можем записать

$$I = \frac{E_o}{R_{AB} + R_m},$$

и напряжением, измеренным измерителем, тогда дают

$$E_m = \frac{R_m E_o}{R_{AB} + R_m}.$$

В отсутствие измерительного прибора и его R_m сопротивления, напряжение через AB было бы источником напряжения схемы замещения, величина которого - E_o . Эффект измерения состоит в том, чтобы поэтому понизить напряжение через AB отношением, данным

$$\frac{E_m}{E_o} = \frac{R_m}{R_{AB} + R_m}. \quad (3.2)$$

¹⁶Alan S. Morris, Reza Langari. Measurement and instrumentation : theory and application. –pp 43,44

Таким образом очевидно, что, поскольку R_m получает больше, отношение, которое E_m/E_o получает ближе к единице, показывая, что стратегия проектирования должна быть должна сделать R_m настолько высоко насколько возможно, чтобы минимизировать нарушение взвешенная система. (Заметьте, что мы не вычисляли величину E_o , поскольку это не требуется в определении количества эффекта R_m),

В этой точке это интересно заметить реакции связи, которые существуют, когда практические попытки предпринимаются, чтобы достигнуть высокого внутреннего сопротивления в расчете магнитоэлектрического вольтметра. Такие составы инструмента катушки, несущей указатель, смонтировались в установленном магнитном поле. Как электрические токи через катушку, взаимодействие между генерируемой областью и стационарным полем вызывает указатель, который это несет поворачивать в соотношении к прикладному току (для получения дальнейшей информации, см. Главу 7). Самый простой способ увеличить входное полное сопротивление (сопротивление) измерителя состоит в том, чтобы или увеличить число поворотов в катушке или создать тот же самый номер поворотов катушки с более высоким материалом сопротивления. Однако, любой из этих решений уменьшает ток, текущий в катушке, давая меньше магнитного вращающего момента и таким образом уменьшая измерительную чувствительность инструмента (то есть, для данного приложенного напряжения, мы получаем меньше отклонения указателя). Эта задача может быть преодолена, изменяя константу пружины пружин ограничения инструмента, так, что меньше вращающего момента обязано поворачивать указатель данным количеством. Однако, это понижает прочность инструмента и также требует, чтобы лучший осевой стержень намеревался понижать трение. Это выделяет очень важное, но утомительное правило в расчете инструмента: любая попытка улучшить рабочие характеристики инструмента в одном уважении обычно уменьшает рабочие характеристики в некотором другом аспекте. Это - неизбежный факт срока службы с пассивными инструментами, такими как тип упомянутого вольтметра и часто является причиной использования переменных активных инструментов, таких как цифровые вольтметры, где вложение вспомогательной мощности улучшает рабочие характеристики значительно.

Мостовые схемы для величин эталонного сопротивления - дальнейший пример потребности в осторожном расчете системы измерения. Импеданс инструмента, измеряющего мостовое выходное напряжение, должен быть очень большим по сравнению с составными сопротивлениями в мостовой схеме. Иначе, измерительный прибор будет загружать цепь и тянуть ток от этого. Это обсуждается более полно в Главе 9¹⁷.

Пример 3.1

Предположите, что у узлов цепи, показанной на рисунке 3.1а, есть следующие величины:

$$R_1 = 400 \text{ Ом}; R_2 = 600 \text{ Ом}; R_3 = 1000 \text{ Ом}; R_4 = 500 \text{ Ом}; R_5 = 1000$$

Ом:

Напряжение через AB измеряется вольтметром, внутреннее сопротивление которого 9500 Ом . Что измерительная погрешность вызывается сопротивлением измерительного прибора?

Решение

Продолжение, применяя теорему Тевенина, чтобы обнаружить схему замещения к тому из рисунка 3.1а формы, показанной на рисунке 3.1b, и подставляя данный узел, оценивает в уравнение за $R_{AB}(3.1)$, мы получаем

$$R_{AB} = \frac{[(1000^2/2000) + 500]1000}{(1000^2/2000) + 500 + 1000} = \frac{1000^2}{2000} = 500 \text{ }\Omega.$$

От Уравнения (3.2), мы имеем

$$\frac{E_m}{E_o} = \frac{R_m}{R_{AB} + R_m}$$

Измерительная погрешность дается $(E_o - E_m)$:

$$E_o - E_m = E_o \left(1 - \frac{R_m}{R_{AB} + R_m} \right)$$

Замена в величинах:

¹⁷Alan S. Morris, Reza Langari. Measurement and instrumentation : theory and application. –pp. 45,46

$$E_s - E_m = E_s \left(1 - \frac{9500}{10,000} \right) = 0.95E_s.$$

Таким образом, погрешность во взвешенной величине составляет 5 %.

2.3 Погрешности связанные с окружающей средой

Влияние окружающей среды оказывает влияние на результат измерения. Факт, что статические и динамические характеристики, определенные для измерительных приборов, только справедливы для определённых условий окружающей среды (например, температуры и давления. Эти указанные условия должны быть соблюдены неукоснительно, как это было соблюдено во время градуировки приборов, ибо эти отклонения вызывают измерительные погрешности. Величина этой вызванной средой вариации определяется количественно этими двумя константами, известными как изменение чувствительности и сдвиг нуля, оба из которых обычно включаются в опубликованные спецификации для инструмента. Такие вариации условий окружающей среды далеко от градуировочных условий иногда описываются как *модифицирующие входы* к системе измерения, потому что они модифицируют выход системы. Когда такие входы изменения присутствуют, часто трудно определить, сколько из изменения выхода в системе измерения сбор к изменению во взвешенной переменной и сколькосбор к изменению в условиях окружающей среды. Это поясняется следующим примером. Предположите, что нам дают, малая величина закрыла коробку и сказала, что это может содержать или "мышь" или крысу. Нам также говорят, что коробка взвешивает 0.1 кг когда освобождено. Если мы помещаем коробку на весы для ванной комнаты и наблюдаем чтение 1.0 кг, это сразу не говорит нам, что находится в коробке, потому что чтение может быть сбором к одной из трех вещей:

- (a) 0.9-килограммовая крыса в коробке (действительный вход)
- (b) пустая коробка с 0.9-килограммовым смещением на сборе шкалы к изменению температуры (экологический вход)
- (c) 0.4-килограммовая "мышь" в коробке вместе с 0.5-килограммовым смещением (действительные + экологические входы)

Таким образом, величина любого экологического входа должна быть измерена прежде, чем величина взвешенного количества (действительный вход) может быть определена от чтения выхода

инструмента.

В любом общем измерительном местоположении очень трудно избежать экологических входов, поскольку это или непрактично или невозможно управлять условиями окружающей среды, окружающими систему измерения. Разработчики системы поэтому обвиняются в задаче или сокращения чувствительности измерительных приборов к экологическим входам или, альтернативно, определение количества эффектов экологических входов и исправления для них в чтении выхода инструмента. Методы, используемые, чтобы иметь дело с экологическими входами и минимизировать их эффекты на измерение окончательного результата, следуют за многими маршрутами как обсуждено позже¹⁸.

В соединении вместе узлы системы измерения, общий источник погрешности - отказ уделить присущее внимание сопротивлению соединения свинцов (или трубы в случае пневматически или гидравлически приведенные в действие системы измерения). Например, в типичных приложениях термометра сопротивления, распространено обнаружить, что термометр отделяется от других частей системы измерения на, возможно, 100 метр. Сопротивление такой длины медной проволоки с 20 масштабами - 7 Ом, и есть дальнейшая сложность, что у такого провода есть температурный коэффициент 1 мОм/°С.

Поэтому, внимательное рассмотрение должно быть дано выбору соединения свинцов. Нетолько должны они быть соответствующего поперечного разреза так, чтобы их сопротивление было минимизировано, но они должны быть экранированы соответственно, если они, как думают, вероятно, являются подчиненными электрическим или магнитным полям, которые могли бы иначе вызвать наведенный шум. Где об экранировании думают важное, тогда направление кабелей также нуждается в осторожном планировании. В одном приложении в личном опыте автора закрывая инструментарий печи сталеварения электрической дуги, экранированные сигнальные несущие тросы между преобразователями на дуговой печи и диспетчерской со стороны печи были первоначально повреждены высоко-амплитудным шумом на 50 Гц. Однако, изменяя маршрут кабелей между преобразователями и диспетчерской, величина этого наведенного шума была сокращена на коэффициент приблизительно десяти.

¹⁸Alan S. Morris, Reza Langari. Measurement and instrumentation : theory and application. -p. 47

Снижение систематических ошибок

Предпосылка для понижения постоянных ошибок - полный анализ системы измерения, которая опознает все источники погрешности. Простые повреждения в пределах системы, такие как изогнутые иглы измерителя и неполная практика укладки кабеля, могут обычно выпрямляться с готовностью и недорого как только они были идентифицированы. Однако, другие источники погрешности требуют большего количества подробного анализа и обращения. Различные подходы к понижению погрешности рассматривают затем.

Тщательный расчет прибора

Осторожный расчет инструмента - самое полезное оружие в сражении против экологических входов, понижая чувствительность инструмента к экологическим входам к столь же низкому уровню насколько возможно. Например, в расчете тензодатчиков, элемент должен быть создан из материала, у сопротивления которого есть очень низкий температурный коэффициент (то есть, вариация сопротивления с температурой очень мала). Однако, сбор погрешностей к пути, которым проектируется инструмент, не всегда легко исправить, и выбор часто должен делаться между высокой стоимостью модернизации и вариантом для принятия пониженной точности измерения, если модернизация не предпринимается.

Калибровка

Калибровка инструмента - очень важное рассмотрение в системах измерения, и поэтому градуировочные процедуры рассматривают подробно в Главе 4. Все инструменты переносят дрейф в своих характеристиках, и коэффициент, в котором это происходит, зависит от многих коэффициентов, таких как условия окружающей среды, в которых инструменты используются и частота их использования. Сбор погрешности к инструменту, испытывающему недостаток калибровки, никогда не является нулем, даже сразу после того, как инструмент был калиброван, потому что всегда есть некоторая неустранимая погрешность в контрольно-измерительном приборе, что рабочий инструмент калибруется против во время градуировочного примера.

Однако, погрешность сразу после калибровки имеет низкую величину. Градуировочная погрешность тогда растет устойчиво с дрейфом в характеристиках инструмента до времени следующей калибровки. Предельная ошибка, которая существует как раз перед инструментом, перекалибруется, может поэтому быть сделан более

малым, увеличивая частоту переградуировки так, чтобы количество дрейфа между калибровками понижается.

Метод Противодействующих Входов

Метод противодействующих входов дает компенсацию за эффект экологического входа в системе измерения, вводя равный и противоположный экологический вход, который уравнивает это. Один пример того, как этот метод применяется, находится в типе милливольтметра, показанного на рисунке 3.2. Это составы катушки, взвешенной в установленном магнитном поле, производится постоянным магнитом. Когда неизвестное напряжение подается к катушке, сбор магнитного поля к току взаимодействует со стационарным полем и заставляет катушку (и указатель, прикрепленный к катушке) поворачиваться. Если сопротивление катушки R_{coil} чувствительно к температуре, то какой-либо экологический вход к системе в форме изменения температуры изменит величину тока катушки для примененного данного напряжения и так изменяет чтение выхода указателя¹⁹. Компенсация за это делается, вводя дающее компенсацию сопротивление R_{comp} в цепь, где у R_{comp} есть температурный коэффициент, равный в величине, но противоположности в знаке к той из катушки. Таким образом, в ответ на увеличение температуры, увеличения R_{coil} , но уменьшения R_{comp} , и таким образом, полное сопротивление остается приблизительно тем же самым.

Обратная связь с высоким коэффициентом усиления

Прибыль добавляющейся обратной связи высокого усиления ко многим системам измерения поясняется, рассматривая случай измерительного прибора напряжения, принципиальную схему которого показывают на рисунке 3.3. В этой системе неизвестное напряжение E_i применяется к двигателю K_m константы вращающего момента, и наведенный вращающий момент поворачивает указатель против действия ограничения пружины с пружиной постоянной K_s . Эффект экологических входов на двигателе и константах пружины представляется переменными D_m и D_s . В отсутствие экологических входов смещения указателя X_o дает $X_o = K_m K_s E_i$.

¹⁹Alan S. Morris, Reza Langari. Measurement and instrumentation : theory and application. –pp49

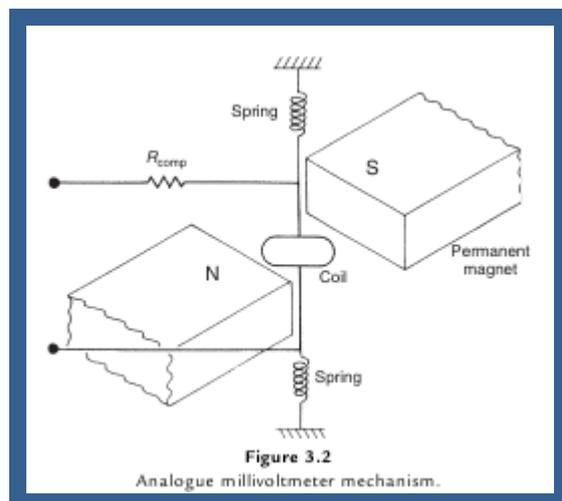


Рисунок 3.2 Аналоговый механизм милливольтметра.

Напряжение E_i
 Катушка
 Вращающий момент

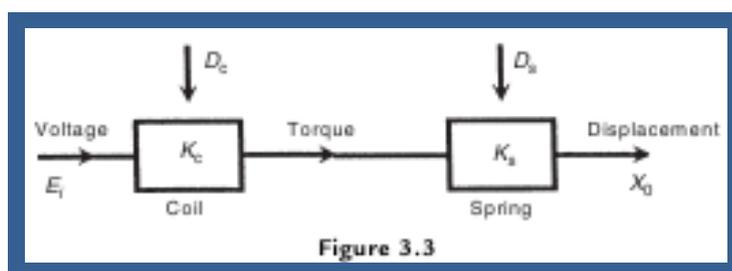


Рисунок 3.3 Принципиальная схема для измерительного прибора напряжения.

Однако, в присутствии экологических входов, и изменение K_m и K_s , и зависимость между X_o и E_i могут быть возмущены значительно. Поэтому, это становится трудным или невозможным вычислить E_i от взвешенной величины X_o . Рассмотрите теперь, что происходит, если система преобразовывается в высокое усилие, замкнутого типа, как показано на рисунке 3.4, прибавляя усилитель константы усилия K_a и устройство обратной связи с константой усилия K_f . Предположите также, что эффект влияния окружающей среды на величинах K_a и K_f представляется D_a и D_f . Устройство обратной связи возвращает напряжение член пропорции E_o к смещению указателя X_o ²⁰.

²⁰Alan S. Morris, Reza Langari. Measurement and instrumentation : theory and application. –pp50

Это по сравнению с неизвестным напряжением, E_i компаратором и погрешностью усиливается. Записывая уравнения системы, мы имеем

$$E_o = K_f X_o ; X_o = (E_i - E_o) K_a K_m K_s = (E_i - K_f X_o) K_a K_m K_s.$$

Таким образом

$$E_i K_a K_m K_s = (1 + K_f K_a K_m K_s) X_o,$$

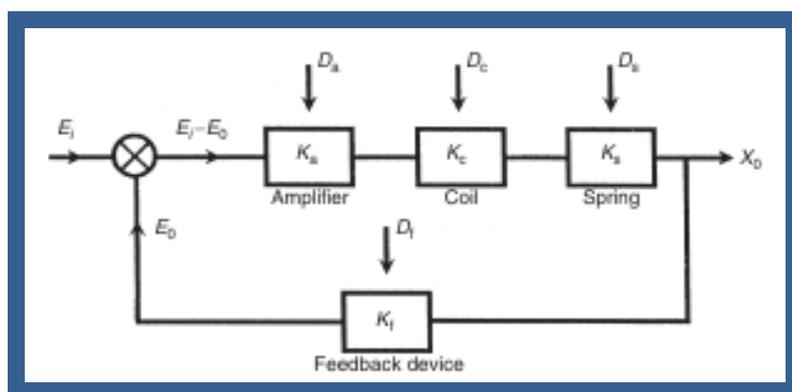


Рисунок 3.4

Принципиальная схема измерительного прибора напряжения с обратной связью высокого усиления.

то есть,

$$X_o = \frac{K_a K_m K_s}{1 + K_f K_a K_m K_s} E_i. \quad (3.3)$$

Поскольку K_a является очень большим (это - усилитель с большим усилением), $K_f \cdot K_a \cdot K_m \cdot K_s \gg 1$, и Уравнение (3.3) понижает к

$$X_o = E_i / K_f.$$

Это - очень важный результат, потому что мы понизили зависимость между X_o и E_i к тому, который завертывает только K_f . Чувствительность констант усиления K_a , K_m , и K_s к экологическим входам, D_a , D_m , и D_s , таким образом, штукатурились не важные, и мы только,

должна касаться одного экологического входа, D_f . Удобно, обычно легко проектировать устройство обратной связи, которое нечувствительно к экологическим входам: это намного легче чем попытка сделать двигатель или пружину нечувствительными. Таким образом, методы обратной связи высокого усилия часто - очень эффективный способ понизить чувствительность системы измерения к экологическим входам. Однако, одна потенциальная задача, которая должна быть упомянута, - то, что есть возможность, что обратная связь высокого усилия вызовет нестабильность в системе. Поэтому, любое приложение этого метода должно включать осторожный анализ устойчивости системы.

Фильтрация сигналов

Одна частая задача в системах измерения - повреждение выхода, читающего периодическим шумом, часто в частоте 50 Гц, вызванных захватом через непосредственную близость системы измерения к аппарату или токонесущим кабелям, работающим на питании от сети.

Периодическое шумовое повреждение в более высоких частотах также часто вводится механическим колебанием или вибрацией в пределах некоторого узла системы измерения. Амплитуда всех таких шумовых узлов может быть существенно ослаблена вложением фильтрования соответствующей формы в системе, как обсуждено в большей длине в Главе 6. Фильтры ограничителя зоны могут быть особенно полезными, где повреждение имеет одну подробность известная частота, или, более широко, фильтры нижних частот используются, чтобы ослабить весь шум в частотном диапазоне 50 Гц и выше.

Системы измерения с выходом низкого уровня, такие как мостовая схема, измеряющая сопротивление тензодатчика, являются особенно склонными к шуму, и рисунок 3.5 показывает типичное повреждение амост, выведенный захватом на 50 Гц. Благоприятное воздействие помещения простого пассивного низкого прохода RC-фильтр через выход показывают на рисунке 3.5.²¹

Ручная коррекция показания выхода

²¹Alan S. Morris, Reza Langari. Measurement and instrumentation : theory and application. –pp. 51,52

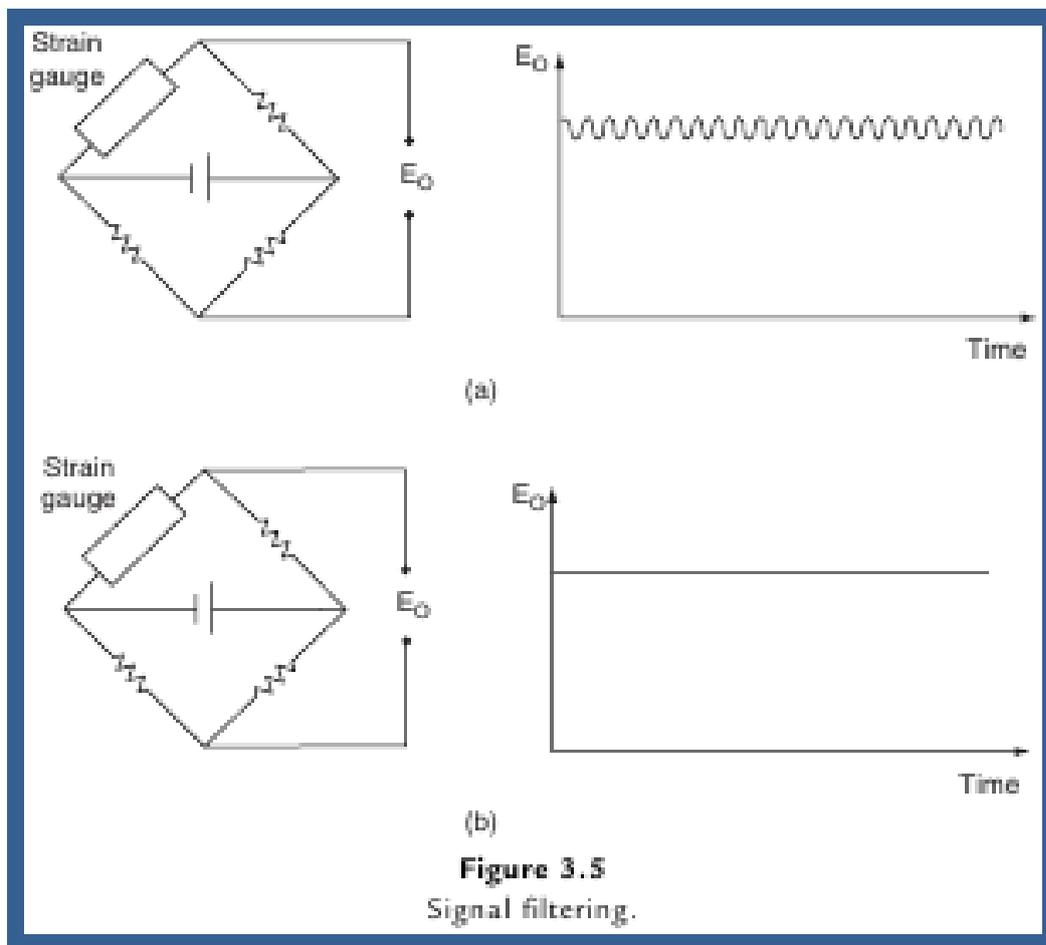


Рисунок 3.5 Сигнальное фильтрование.

В случае погрешностей, которые являются сбором или к системному нарушению во время действия измерения или к изменениям среды, хороший измерительный техник может существенно понизить погрешности в выходе системы измерения, вычисляя эффект таких постоянных ошибок и создавая соответствующее исправление к чтению инструмента. Это - не обязательно легкая задача и требует, чтобы все нарушения в системе измерения были определены количественно. Эта процедура выполняется автоматически интеллектуальными инструментами

Интеллектуальные Инструменты

Интеллектуальные инструменты содержат дополнительные чувствительные элементы, которые измеряют величину параметры окружающей среды и автоматически компенсируют величину показания выхода²². У них есть возможность иметь дело очень эффективно с постоянными ошибками в системах измерения, и

²²Alan S. Morris, Reza Langari. Measurement and instrumentation : theory and application. –pp52

погрешности могут быть ослаблены к очень низким уровням во многих случаях.

Квантификация Систематических (Постоянных)

ошибок

Как только все практические шаги были сделаны, чтобы устранить или понизить величину постоянных ошибок, требуемое окончательное решение должно оценить погрешность оставлений максимума, которая может существовать в измерительном сборе к постоянным ошибкам. Эта квантификация максимальной вероятной постоянной ошибки в измерении требует тщательного анализа.

Квантификация систематических ошибок отдельных

Узлов

Первая сложность в квантификации постоянных ошибок - то, что не обычно возможно определить точную величину для узла постоянной ошибки, и квантификация должна быть с точки зрения “наилучшей оценки.” Как только постоянные ошибки понизили до разумно возможного использования методов, объясненных в Секции 3.3, заметный подход, чтобы оценить различные виды остающейся постоянной ошибки будет следующие.

Если измерение является подчиненным непредсказуемым условиям окружающей среды, обычный план действий должен принять условия окружающей среды средней точки и определить максимальную измерительную погрешность как $\pm x$ % выхода, читающего, чтобы учесть максимальную ожидаемую девиацию в условиях окружающей среды далеко от этой средней точки. Конечно, это только обращается к случаю, где условия окружающей среды остаются по существу константой в течение периода измерения, но изменяются непредсказуемо на, возможно, ежедневном базисе. Если случайные флуктуации происходят за короткий период времени от причин, таких как случайные наброски горячего или холодного воздуха, это - случайная ошибка, а не постоянная ошибка это должно быть определено количественно согласно методам, объясненным в Секции 3.5.

Градуировочные погрешности

Все измерительные приборы страдают от дрейфа в их характеристиках в течение времени. График для переградуировки устанавливается так, чтобы частота, в которой инструмент калибруется средства, что дрейф в характеристиках к тому времени, когда непосредственно перед тем, как инструментом сбор для

переградуировки, остается в рамках приемлемого предела. Предельная ошибка как раз перед инструментом - сбор для переградуировки, становится базисом для того, чтобы оценить максимальную вероятную погрешность. Этот сбор погрешности к инструменту, испытывающему недостаток калибровки, обычно находится в форме смещения. Лучший способ выразить это состоит в том, чтобы принять некоторую величину средней точки градуировочной погрешности и компенсировать все измерения этой погрешностью средней точки. Максимальная измерительная погрешность за полный промежуток времени между тем, когда инструмент был только что калиброван и время как раз перед следующей калибровкой, является сбором, может тогда быть выражен как $\pm x$ % чтения выхода.

Системные погрешности нарушения

Нарушение взвешенной системы действием самого измерения вводит постоянную ошибку, которая может быть определена количественно для любого данного набора измерительных условий. Однако, если измеряемое количество и/или условия измерения может измениться, лучший подход должен вычислить максимальную вероятную погрешность при системной нагрузке худшего случая и затем выражать вероятную погрешность как положительную или отрицательную величину половины этой расчетной предельной ошибки, как предложено для градуировочных погрешностей.

Погрешности нагрузки системы измерения

Они имеют подобный эффект к системным погрешностям нарушения и выражаются в форме $\pm x$ % чтения выхода, где x - половина величины максимальной предсказанной погрешности под самыми неблагоприятными ожидаемыми условиями нагрузки²³.

Вычисление Полной Постоянной ошибки

Вторая сложность в анализе, чтобы определить количество постоянных ошибок в системе измерения является фактом, что полная системная погрешность в измерении часто составляется из нескольких отдельных узлов, например, нагрузки системы измерения, факторов окружающей среды, и градуировочных погрешностей. Прогноз худшего случая предельной ошибки должен был бы просто сложить каждую отдельную постоянную ошибку. Например, если бы есть три узла постоянной ошибки с величиной ± 1 % каждый, погрешность прогноза худшего случая была бы суммой отдельных погрешностей, то есть, ± 3 %. Однако, очень маловероятно, что все узлы погрешности

²³Alan S. Morris, Reza Langari. Measurement and instrumentation : theory and application. –pp53

были бы в их максимальных или минимальных величинах одновременно. Обычный план действий должен поэтому комбинировать отдельные источники постоянной ошибки, используя *метод площадей суммы корня*. Применяя этот метод для n систематических составных погрешностей величины $\pm x_1 \%$, $\pm x_2 \%$, $\pm x_3 \%$, $\dots \pm x_n \%$, лучший прогноз вероятной максимальной постоянной ошибки методом площадей суммы корня

$$\text{error} = \pm \sqrt{x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 + \dots + x_n^2}$$

Прежде, чем закрыть это обсуждение определения количества постоянных ошибок, слово предупреждения должно быть дано об использовании таблиц данных производителей. Когда производители инструмента снабжают таблицы данных инструментом, который они сделали, измерительная неопределенность или величина неточности, заключенная в кавычки в таблицах данных, являются наилучшей оценкой, что производитель может податься о способе, которым выполнит инструмент, когда это будет ново, используется под указанными условиями, и перекалиброванный в рекомендуемой частоте. Поэтому, это может только быть начальной точкой в оценке точности измерения, которая будет достигнута, когда инструмент будет фактически использоваться. Много источников постоянной ошибки могут быть применимыми в особенном измерительном местоположении, которые не включаются в вычисление точности в таблице данных производителя, и осторожная квантификация и анализ всех постоянных ошибок необходимы, как описано ранее.

2.4 Источники и устранение случайных ошибок

Случайные ошибки обычно наблюдаются настолько малые возмущения измерения, любая сторона корректной величины, то есть, положительных погрешностей и отрицательных погрешностей происходит в приблизительно равных количествах для ряд измерений, сделанных из того же самого постоянного количества. Поэтому, случайные ошибки могут в значительной степени быть устранены, вычисляя среднее число многих повторенных измерений. Конечно, это только возможно, если измеряемое количество остается в постоянной величине во время повторенных измерений. Этот усредняющий процесс повторенных измерений может быть сделан автоматически интеллектуальными инструментами. В то время как процесс

составления в среднем по большому количеству измерений понижает величину случайных ошибок существенно, было бы полностью неправильно предположить что это полностью устраняет случайные ошибки. Это - то, потому что среднее значение многих измерений только было бы равно корректной величине взвешенного количества, если бы установленное измерение делилось без остатка бесконечное число величин. Практически, невозможно взять бесконечное число измерения. Поэтому, в любом практическом местоположении, процесс составления в среднем по конечному числу измерений только понижает величину случайной ошибки к малой величине (но ненулевой) величина. Степень доверия, что расчетное среднее значение близко к корректной величине взвешенного количества, может быть обозначена, вычисляя среднее квадратическое отклонение или расхождение из данных, эти являющиеся параметрами, которые описывают, как измерения распределяются о среднем значении (см. секции 3.6.1 и 3.6.2). Это приводит к более формальной квантификации эта степень доверия с точки зрения средней квадратической ошибки среднего значения в секции.

Статистический анализ Измерений Согласно Случайным ошибкам

Средние и серединные Величины

Среднее значение ряда измерений постоянного количества может быть выражено или как среднее значение или как средняя величина. Исторически, средняя величина была легче для компьютера вычислить чем среднее значение, потому что среднее вычисление завертывает ряд логических операций, тогда как среднее вычисление требует прибавления и деления. Много лет назад, компьютер выполнял логические операции намного быстрее чем арифметические действия, и были вычислительные преимущества скорости в вычислении средних значений, вычисляя медиану, а не среднее значение. Однако, производительность компьютера увеличилась быстро до точки, где это преимущество исчезло много лет назад.²⁴

Как номер измерительных увеличений, разность между средними и средними величинами становится очень малой. Однако, среднее число, вычисленное с точки зрения среднего значения, всегда немного ближе к корректной величине взвешенного количества чем среднее число, вычисленное как средняя величина для любого конечного множества измерений. Учитывая потерю любого вычислительного

²⁴Alan S. Morris, Reza Langari. Measurement and instrumentation : theory and application. –pp56,57

преимущества скорости из-за массивной мощности современных компьютеров, это означает, что есть теперь небольшой аргумент за вычисление средних значений с точки зрения медианы.

Для любого набора n измерений $x_1, x_2 \dots x_n$ постоянного количества, наиболее вероятное истинное значение *среднее значение*, данное

$$x_{\text{average}} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \quad (3.4)$$

Это справедливо для всех наборов данных, где измерительные погрешности распределяются одинаково о нулевой величине погрешности, то есть, где положительные погрешности балансируются в большом количестве и величина отрицательными погрешностями.

Серединный- приближение к среднему значению, которое может быть записано, не имея необходимость суммировать измерения. Медиана - средняя величина, когда измерения в наборе данных записываются в порядке возрастания величины. Для ряда n измерения $x_1, x_2 \dots x_n$ постоянного количества, записанного в порядке возрастания величины, средней величины дают

$$x_{\text{median}} = x_{(n+1)/2} \quad (3.5)$$

Таким образом, для ряда девяти измерений $x_1, x_2 \dots x_9$, расположенный в порядке величины, средняя величина - x_5 . Для четного числа измерений средняя величина нейтральна между двумя центральными величинами, то есть, для 10 измерений $x_1 \dots x_{10}$, средней величиной дают $(x_5+x_6)/2$.

Предположите, что длина сортовой стали измеряется многими различными наблюдателями, и следующий набор 11 измерений записываются (миллиметр единиц). Мы вызовем это измерение устанавливало А.

398 420 394 416 404 408 400 420 396 413 430 (Измерение устанавливает А)

Используя Уравнения (3.4) и (3.5), подразумевайте = 409.0 и серединное значение = 408. Предположите теперь, когда измерения проводятся, снова используя лучшую масштабную линейку, и с

наблюдателями, проявляющими больше заботы, чтобы произвести следующее измерение, устанавливает В:

409 406 402 407 405 404 407 404 407 407 408 (Измерение устанавливает В)

Для этих измерений, подразумевайте = 406.0 и медиана = 407. Какой из двух измерительных наборов, А и В, и соответствующие средние и средние величины мы должны иметь наиболее доверие? Интуитивно, мы можем расценить измерительный В набора, как являющийся более достоверным, потому что измерения очень ближе вместе. В наборе А, протяженность между самым малым

(396) и самый большой (430) величина 34, в то время как в наборе В, протяженность - только 6.

Таким образом, чем более малый протяженность измерений, тем больше доверия мы имеем в средней или средней вычисленной величине.

Пустите нам теперь видеть то, что происходит, если мы увеличиваем число измерений, расширяя измерительный В набора на 23 измерения. Мы вызовем этот измерительный С набора.

409 406 402 407 405 404 407 404 407 407 408 406 410

406 405 408 406 409 406 405 409 406 407 ð Измерение

устанавливает СР

Теперь, подразумевайте = 406.5 и медиана = 406

Это подтверждает нашу более раннюю формулировку, что средняя величина имеет тенденцию к среднему значению как номер измерительных увеличений.

Стандартное отклонение и Расхождение

Выражение протяженности измерений просто как амплитуда между самым большим и самой малой величиной не является, фактически, очень хорошим способом исследовать, как измерительные величины распределяются о среднем значении²⁵. Намного лучший способ выразить распространение состоит в том, чтобы вычислить расхождение или среднее квадратическое отклонение измерений. Начальная точка для того, чтобы вычислить эти параметры должна вычислить девиацию (погрешность) d_i каждой измерительной x_i от среднего значения x_{mean} в ряде измерений x_1, x_2, \dots, x_n :

²⁵ Alan S. Morris, Reza Langari. Measurement and instrumentation : theory and application. –pp58

$$d_j = x_j - \bar{x}_{\text{нечет}}. \quad (3.6)$$

Расхождение (По сравнению с) набора измерений определяется формально как среднее значение площадей девиаций:

$$V_s = \frac{d_1^2 + d_2^2 \dots d_n^2}{n}. \quad (3.7)$$

Среднее квадратическое отклонение (ss) набора измерений определяется как квадратный корень расхождения:

$$\sigma = \sqrt{V_s} = \sqrt{\frac{d_1^2 + d_2^2 \dots d_n^2}{n}}. \quad (3.8)$$

К сожалению, эти формальные определения для расхождения и среднего квадратического отклонения данных делаются относительно бесконечной совокупности значений данных, тогда как во всех практических местоположениях у нас может только быть конечное множество измерений. Мы сделали наблюдение ранее, что среднее значение *х* конечного множества измерений будет отличаться от истинного среднего значения *μ* теоретической бесконечной совокупности измерений, из которых конечное множество является частью. Это означает, что есть погрешность в среднем значении *х* теоретически используется в вычислении *d_i* в Уравнении (3.6). Из-за этого Уравнения (3.7) и (3.8) дают смещенную оценку, которая имеет тенденцию недооценивать расхождение и среднее квадратическое отклонение бесконечного множества измерений. Лучший прогноз расхождения бесконечной совокупности может быть получен, применяя Бесселевский поправочный коэффициент (*n/n-1*) к формуле для По сравнению с в Уравнении (3.7):

$$V = \left(\frac{n}{n-1}\right) V_s = \frac{d_1^2 + d_2^2 \dots d_n^2}{n-1}, \quad (3.9)$$

где По сравнению с расхождение конечного множества измерений, и *V* расхождение бесконечной совокупности измерений.

Это приводит к подобному лучшему прогнозу среднего квадратического отклонения, беря квадратный корень расхождения в Уравнении (3.9):

$$\sigma = \sqrt{V} = \sqrt{\frac{d_1^2 + d_2^2 \dots d_n^2}{n-1}} \quad (3.10)$$

Аналитические Плотности распределения методов Графических данных. Графические методы - очень полезный способ разложить путь в который случайные измерительные погрешности распределяются. Самый простой способ сделать это состоит в том, чтобы тянуть *гистограмму*, в которой определяются зоны равной ширины через амплитуду измерительных величин, и номер измерений в пределах каждой зоны считается. Зонам часто дают *бункеры данных* названия²⁶.

Контрольные вопросы:

1. Объясните разность между постоянными и случайными ошибками. Каковы типичные источники этих двух типов погрешностей?
2. В каких путях действие измерения может вызвать нарушение в измеряемой системе?
3. Объясните, что предназначается членом “модифицирующие входы”.
4. Объясните кратко, какие критерии могут быть приняты, чтобы понизить или устранить эффект изменения входов.
5. Инструменты обычно калибруются, и их характеристики определены для особенных стандартных условий окружающей среды. Какие процедуры обычно берутся, чтобы избежать погрешностей измерения, используя инструменты, подвергнутые изменению условий окружающей среды?

Использованные литературы:

²⁶Alan S. Morris, Reza Langari. Measurement and instrumentation : theory and application. –pp59

1. Alan S Morris, Reza Langari, Measurement and Instrumentation. Theory and application, 2012 640 p.
2. Yusupbekov N.R., Muxamedov B.I., G'ulomovSh.M. Texnologikjarayonlarninazoratqilishvaavtomatlashtirish. –Toshkent: O'qituvchi, 2011. -576 b.

3-тема: Средства измерений температуры

План:

1. Виды средств измерения температуры.
2. Термопары. Типы термопар.

Ключевые слова: точность, измерительная неопределенность, константа, предельную ошибка статическая, характеристика, гистерезисные эффекты, зона нечувствительности, динамические характеристики, цифровыми измерительными приборы.

1.1 Виды средств измерения температуры

Мы, вероятно, хорошо знаем, что температурное измерение очень важно во всех сферах жизнедеятельности человечества. В технических приложениях особенно важно в перерабатывающих отраслях промышленности, где это - обычно взвешенная переменная процесса. Для нас поэтому уместно посвятить эту первую главу по измерению индивидуальных материальных переменных к предмету температурного измерения.²⁷

К сожалению, температурное измерение излагает некоторые интересные теоретические трудности из-за своей скорее абстрактной природы. Эти трудности становятся особенно очевидными, когда мы приезжаем, чтобы рассмотреть калибровку температурных измерительных приборов, особенно когда мы ищем магистральный эталон наверху градуировочной цепи. В первую очередь среди этих трудностей факт, что любая данная температура не может быть связана с фундаментальным стандартом температуры таким же образом, что измерение других количеств может быть связано с первичными эталонами массы, длины, и время. Если два корпуса длин, l_1 и l_2 , соединяются вместе вплотную, результат - корпус длины $l_1 + l_2$. Подобная зависимость существует между отдельными массами и отдельные времена. Однако, если два корпуса при той же самой температуре соединяются вместе, у корпуса, к которому соединяют есть та же самая температура как каждый из первоначальных корпусов.

Это - первопричина фундаментальных трудностей, которые существуют в установлении абсолютного стандарта для температуры в форме зависимости между этим и другими измеримыми количествами, для которых существует единица первичного эталона. В отсутствие такой зависимости необходимо установить установленные, воспроизводимые опорные точки для температуры в форме точек замерзания и тройных точках материй, где перемещение среди твердого тела, жидкости, и газообразных состояний резко определяется. *Международная Практическая Температурная шкала*

²⁷ Alan S. Morris, Reza Langari. Measurement and instrumentation : theory and application. –pp348

(IPTS) * использует эту философию и определяет много *фиксированных точек* для ссылочных температур. Три примера:

Тройная точка водорода: -259.35°C

Точка замерзания цинка: 419.53°C

Точка замерзания золота: 1064.18°C

Полный список фиксированных точек, определенных в IPTS, может быть найден в [секции 14.14²⁸](#).

Если мы запустим записывать материальные правила, которые воздействует температура, то мы получим относительно длинный список. Многие из этих материальных правил формируют базис для температурного измерения инструменты. Поэтому разумно для нас изучить температурное измерение, инструменты имели обыкновение измерять температуру в отдельные классы согласно материальному правилу, на котором они работают. Это дает нам 10 классов инструмента, основанного на следующие правила:

Термоэлектрический эффект

Изменение сопротивления

Чувствительность полупроводникового устройства

Радиационное тепловое излучение

Термография

Тепловое расширение

Изменение резонансной частоты

Чувствительность устройств волоконной оптики

Цветное изменение

Изменение состояния материала

Мы рассматриваем каждый из них в следующих разделах.

Чувствительные элементы Термоэлектрического эффекта (Термопары)

Чувствительные элементы термоэлектрического эффекта полагаются на материальное правило это, когда любые два различных металла соединяются вместе, ЭДС, который является функцией температуры, генерируется в соединении между металлами. Общая форма этой зависимости

$$e = a_1T + a_2T^2 + a_3T^3 + \dots + a_nT^n, \quad (14:1)$$

где e - генерируемый ЭДС., и T - абсолютная температура..

Термопары - очень важный класс устройства, поскольку они снабжают обычно используемый метод измерительных температур в отрасли.. Термопары производятся от различных комбинаций основных металлов меди и железа; сплавы основного металла алюминия (Ni/Mn/Al/Si), хромель (Ni/Cr), константан (Cu/Ni), nicrosil (Ni/Cr/Si), nisol (Ni/Si/Mn), молибден никеля, и кобальт никеля;

²⁸ Alan S. Morris, Reza Langari. Measurement and instrumentation : theory and application. –pp348

платина благородных металлов и вольфрам; и сплавы благородного металла платинового родия, рения вольфрама, и золотого железа. Только определенные комбинации их используются в качестве термопар, и больше всего стандартные комбинации известны всемирно признанными типовыми буквами, например, типовой К является алюмель хромеля. ЭДС-температурные-характеристики для некоторых из этих стандартных термопар показывают на рисунке 14.1: они показывают разумную линейность, по крайней мере, часть их температурных диапазонов измерений.

1.1 Термопары. Типы термопар

Типичную термопару, сделанную из одного провода хромеля и одного провода константана, показывают на рисунке 14.2а. Для аналитических целей полезно представить термопару своей эквивалентной электрической цепью, показанной на рисунке 14.2. ЭДС генерировал в точке, где различные провода соединяются, вместе представляется источником напряжения, E_1 , и точка известна как *горячий спай*. Температуру горячего спая обычно показывают как T_h на схеме. ЭДС, генерируемый в горячем спае, измеряется в открытых концах термопара, которая известна как *ссылочное соединение*.

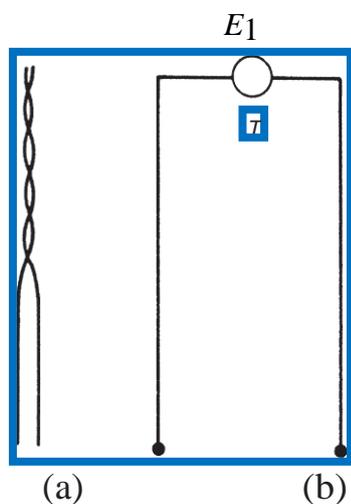


Рис.2 (а) Термопара и (b) эквивалентная схема.

Чтобы заставить термопару соответствовать некоторой точно определенной ЭДС-температурной-характеристике, необходимо, чтобы все используемые металлы были улучшены в высокой степени чистоты, и все сплавы производятся к точной спецификации. Это делает материалы используемыми дорогой; следовательно, термопары обычно - только несколько сантиметров долго. Это ясно непрактично, чтобы соединить измерительный прибор напряжения в открытом конце

термопары, чтобы измерить ее выход в такой непосредственной близости от среды, температура которой измеряется, и поэтому *растяжение ведет*, до нескольких измерителей долго обычно соединяются между термопара и измерительный прибор. Это модифицирует схему замещения к этому показанный на рисунке 14.3а. Есть теперь три соединения в системе и следовательно три источника напряжения, E_1 , E_2 , и E_3 , с точкой измерения ЭДС (все еще названный ссылочным соединением) перемещаемый к открытым концам удлинительных проводов.

Измерительная система завершается, соединяя растяжение, приводит к измерительному прибору напряжения. Поскольку соединительные свинцы будут обычно иметь различные материалы к таковым термоэлектрические свинцы растяжения, это вводит два дальнейших соединения ЭДС-генерирования, E_4 и E_5 , в систему, как показано на рисунке 14.3б. ЭДС выхода сети, измеренным (*Цицero*), тогда дают

$$E_m = E_1 + E_2 + E_3 + E_4 + E_5 \quad (14:3)$$

и это может быть повторно выражено с точки зрения E_1 как

$$E_1 = E_m - E_2 - E_3 - E_4 - E_5: \quad (14:4)$$

Чтобы применить [Уравнение \(14.1\)](#), чтобы вычислить взвешенную температуру в горячем спае, E_1 должен быть вычислен от [Уравнения \(14.4\)](#). Чтобы сделать это, необходимо вычислить величины E_2 , E_3 , E_4 , и E_5

Обычно выбрать, материалы для свинца растяжения телеграфирует так, что величины E_2 , и E_3 являются приблизительно нулевыми, независимо от температуры перехода. Это избегает трудности, которая иначе возникла бы в измерении температуры соединения между термоэлектрические провода и удлинительные провода, и также в определении зависимости «ЭДС/температура» для термопары/удлинителей комбинаций проводников²⁹.

Почти нулевое соединение ЭДС достигается наиболее легко, выбирая свинцы растяжения, чтобы быть того же самого сырья как термопара, но где их стоимость на единицу длины понижают значительно, производя их к более низкой спецификации. Как вариант к использованию более низких материалов спецификации того же самого основного типа как термопара, медные компенсационные провода также иногда используются с определенными типами термопар основного металла. В этом случае, закон промежуточных металлов должен быть применен, чтобы дать компенсацию за ЭДС в соединении между термоэлектрическими и компенсационными проводами.

²⁹ Alan S. Morris, Reza Langari. Measurement and instrumentation : theory and application. –pp352

К сожалению, использование удлинительных проводов тем же самым сырьем как термопара, но произведенный к более низкой спецификации все еще предельно дорого в случае термопар благородного металла. Необходимо в этом случае искать свинцы растяжения основного металла, у которых есть подобное термоэлектрическое поведение к термопаре благородного металла. В этой форме свинцы растяжения обычно известны как *компенсационные провода*. Типичный пример этого - использование nickel/copper-copper удлинительных проводов, соединенных с platinum/rhodium-platinum термопарой. Это должно быть замечено, что приблизительно эквивалентное термоэлектрическое поведение компенсационных проводов только справедливо для ограниченного диапазона температур, который является значительно меньше чем диапазон измерений термопары, с которой они соединяются.

Разложить эффект соединяющегося провода приводит к измерительному прибору напряжения, термоэлектрический закон, известный, поскольку *закон промежуточных металлов* может использоваться. Это формулирует что ЭДС, генерируемый в соединении между двумя металлами или сплавами *A* и *C*, равен сумме ЭДС, генерируемого в соединении между металлами, или сплавляет *A* и *B* и ЭДС, генерируемый в соединении между металлами, или сплавляет *B* и *C*, где все соединения при той же самой температуре.

Контрольные вопросы:

1. Обсудите кратко различные материальные правила, используемые в температурных измерительных приборах и примерах усадки инструментов, которые используют каждое из этих правил.
2. (a) Как термопары производятся? (b), Каковы основные отличия между термопарами благородного металла и основным металлом? (c) Усадка шесть примеров материалов имели обыкновение делать термопары благородного металла и основной металл. (d) Определяют, что международная кодовая буква имела обыкновение называть

термопары сделанными из каждой пары материалов, которые Вы даете в своем ответе разделять (с).

3. Объясните, что каждое следующее относительно термопар: (a) свинцы растяжения, (b) компенсационные провода, (c) закон промежуточных металлов, и (d) закон промежуточной температуры.

4. Какую термопару основного металла Вы рекомендовали бы для каждого из следующих приложений?

(a) измерение температур ниже нуля

(b) измерение в окисляющихся атмосферах

(c) измерение в восстановительных газовых средах

(d) где высокое измерение чувствительности требуется

5 Почему термопары нуждаются в предохранении от некоторых сред и как это предохранение дается? Обсудите любые разности между основным металлом и термопарами благородного металла в потребности в предохранении.

Использованные литературы:

1. Alan S Morris, Reza Langari, Measurement and Instrumentation. Theory and application, 2012 640 p.
2. Bela G. liPtak, Process Software and Digital Networks, Fourth Edition CRC Press 2012. – 1130 p.
3. Yusupbekov N.R., Muxamedov B.I., G'ulomov Sh.M. Texnologik jarayonlarni nazorat qilish va avtomatlashtirish. –Toshkent: O'qituvchi, 2011. -576 b.

4-тема: Средства измерений давления

План:

1. Чувствительные элементы средств измерения давления.
2. Манометры.
3. Специальные измерительные устройства для низкого давления
4. Измерительные приборы перепада давления

Ключевые слова: *точность, измерительная неопределенность, константа, предельную ошибку статическая, характеристика, гистерезисные эффекты, зона нечувствительности, динамические характеристики, цифровыми измерительными приборами.*

4.1 Чувствительные элементы средств измерения давления

Абсолютное давление: Это - разность между давлением жидкости и абсолютным нулем давления.

Манометрическое давление: Это описывает разность между давлением жидкости и атмосферным давлением. Абсолютное и манометрическое давление поэтому связывается выражением:

Абсолютное давление равно манометрическому давлению. атмосферное давление: типичная величина атмосферного давления - 1.013 бар. Однако, потому что атмосферное давление меняется в зависимости от высоты так же как с погодными условиями, это не установленное количество. Поэтому, потому что манометрическое давление связывается с атмосферным давлением, это также не установленное количество.

Дифференциальное давление: Этот термин используется, чтобы описать разность между двумя величинами абсолютного давления, такими как давления в двух различных точках в пределах той же самой жидкости (часто между двумя сторонами дросселя в системе измерительный коэффициент объемного расхода)³⁰.

Давление - количество, выведенное из основных величин силы и области, и обычно измеряется с точки зрения силы, действующей на известную область. Единица СИ давления - Паскаль, который может альтернативно быть выражен как Ньютоны на квадратный метр. Брусок, который равен 10 000 Паскалей, является связанной метрической единицей, которая является более соответствующей для того, чтобы измерить наиболее обычно встречаемые прижимные величины. Единица фунтов на квадратный дюйм не единица СИ, но находится все еще в широком использовании, особенно в Объединенном государстве и Канаде. Давления также иногда выражаются как дюймы ртутного столба или дюймы водяного столба,

³⁰ Alan S. Morris, Reza Langari. Measurement and instrumentation : theory and application. –pp398

особенно когда измерительное кровяное давление или давления в газопроводах. Эти две единицы измерения берут производную из высоты жидкой колонны в манометрах, которые были очень общепринятой методикой прижимного измерения в прошлом. Тор - дальнейшая единица измерения, используемая особенно, чтобы выразить низкое давление.

Чтобы избежать неоднозначности в прижимных измерениях, обычно добавить одну или более букв в круглых скобках после прижимной величины, чтобы указать, является ли это абсолютным, калибровочным, или перепадом давления: (a) или (абсолютный) указывает, что абсолютное давление, (g) указывает, что манометрическое давление, и (d) определяют перепад давления. Таким образом, 2.57 бар (g) означают, что давление - 2.57 бар, измеренные как манометрическое давление. В случае фунтов на квадратный дюйм единица прижимного измерения, которое является все еще

В широком использовании обычно выразить абсолютный, калибровочный, и перепад давления как psia, psig, и psid, соответственно.

Измерения абсолютного давления делаются для таких целей как высотное измерение самолета (в инструментах, известных как высотометры) и определяя количество атмосферного давления. Очень

низкое давление также обычно измеряется как величины абсолютного давления. Манометрическое давление

измерения делаются инструментами, такими как те, которые измеряют давление в шинах механизма и тех измерительное давление в различных точках в производственных процессах. Дифференциальное давление измеряется для некоторых целей в производственных процессах, тем более, что часть некоторых измерительных приборов коэффициента потока жидкости.

В большинстве приложений, типичных величин давления измеренный диапазон от 1.013 брусков (среднее атмосферное давление) до 7000 брусков. Это, как полагают, "нормальный" диапазон давлений, и большое количество прижимных чувствительных элементов доступно, который может измерить давления в этой амплитуде.

Измерительные требования вне этой амплитуды намного менее распространены. В то время как некоторые из прижимных чувствительных элементов, разработанных для "нормальной" амплитуды, могут также измерить давления, которые являются или ниже или выше чем это, предпочтительно использовать специальные инструменты, которые были особенно проектированы, чтобы удовлетворить такой низко - и высоконапорные измерительные требования. В случае низкого давления такие специальные инструменты обычно известны как вакуумные манометры.

Наше обсуждение суммирует главные типы прижимных чувствительных элементов в использовании. Это обсуждение затрагивается прежде всего только с измерением статического давления, потому что измерение давления от ударной нагрузки - очень специализированная область, которая не является представляющей общий интерес. Вообще, измерение давления от ударной нагрузки требует специальных инструментов, хотя модифицируемые версии типовых диафрагмой чувствительных элементов могут также использоваться, если они содержат соответствующий чувствительный элемент смещения (обычно или пьезоэлектрический кристалл или емкостный элемент).

Мембрана, показанная схематично на рисунке 15.1, является одним из трех типов преобразователей давления эластичного элемента. Приложенное давление вызывает смещение мембраны, и это перемещение измеряется преобразователем смещения. Различные версии чувствительных элементов мембраны могут измерить оба абсолютного давления (до 50 бар) и манометрическое давление (до 2000 бар) согласно тому, ли пространство на одной стороне мембраны соответственно, откачано или открыто для атмосферы. Мембрана может также использоваться, чтобы измерить перепад давления (до 2.5 бар), оказывая эти два давления двум сторонам мембраны. Мембрана может быть пластмассовой, металлическим сплавом, нержавеющей сталью, или керамической. Пластмассовые мембраны - наименее дорогая, но металлическая усадка диафрагм лучшая точность. Нержавеющая сталь обычно используется в высокой температуре или коррозионных средах³¹.

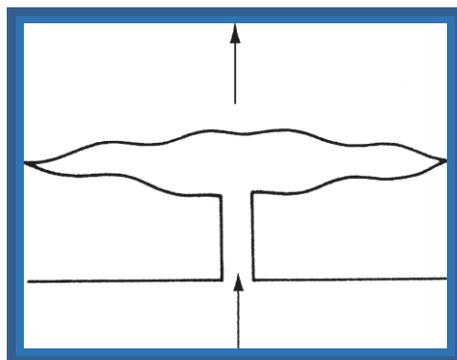
Керамические мембраны являются сопротивляющимися даже к сильным кислотам и щелочи и используются, когда среда особенно груба. *Масштаб анероида* названия иногда используется, чтобы описать этот тип масштаба, когда мембрана является металлической.

Поступательное перемещение

Типичная величина смещения мембраны составляет 0.1 MMS, который хорошо подходит для тензодатчика - тип измерительного преобразователя смещения, хотя другие формы измерений смещения также используются в некоторых видах основанных на диафрагме чувствительных элементов. Если смещение измеряется с тензодатчиками, это - нормаль, чтобы использовать четыре тензодатчика, расположенные в конфигурации мостовой схемы. Выходное напряжение от моста - функция сбора изменения сопротивления к деформации в диафрагме. Это расположение автоматически снабжает компенсацию за экологические температурные изменения. Более старые прижимные преобразователи

³¹ Alan S. Morris, Reza Langari. Measurement and instrumentation : theory and application. –pp399

этого типа привыкли металлические тензодатчики, связанные для мембраны, обычно сделанной из нержавеющей стали.



Неизвестное давление

Рис. 1 Схематическое представление чувствительного элемента давления мембраны.

Однако, кроме производственных трудностей, являющихся результатом задачи соединения масштабов, у металлических тензодатчиков есть низкий калибровочный коэффициент, который означает, что низкий выпуск продукции от моста тензодатчика должен быть усилен дорогим d.c. усилителем. Разработка полупроводниковых (пьезорезистивных) тензодатчиков снабжала раствор к задаче низкого выпуска продукции, поскольку у них есть калибровочные коэффициенты, до 100 раз больше чем металлические масштабы. Однако, трудность соединения масштабов к диафрагме оставалась, и новая задача появилась относительно очень нелинейной характеристики выведенной деформацией зависимости.

Задача соединения тензодатчика была решена с появлением монолитных пьезорезистивных прижимных преобразователей. Они имеют типичную измерительную неопределенность в $\pm 0.5 \%$ и являются теперь обычно используемым типом преобразователя давления мембраны. Составы ячейки полупроводниковой ИС мембраны сделали из кремниевого листа, в который сопротивления рассеиваются во время производственного процесса. Такие прижимные преобразователи могут быть сделаны очень малыми и часто известны как *микрочувствительные элементы*. Кроме того, в дополнение к уходу от трудности с соединением такие монолитные измеряющие кремний клетки имеют преимущество того, чтобы быть очень недорогим, чтобы произвести в больших количествах. Хотя неудобство нелинейной характеристики остается, это обычно преодолевается

Обработка выходного сигнала с активной цепью линейризации или включая клетку в основанный на микропроцессоре интеллектуальный измерительный преобразователь. Последние обычно снабжают

Аналог цифровому преобразованию и оборудования перерыва в пределах однокристалльной схемы и усадки цифровое устройство вывода, которое интегрировано с готовностью в схемы автоматизированного контроля. Такие инструменты могут также предложить автоматическую температурную компенсацию, встроенную диагностику, и простую калибровку процедуры. Эти функции позволяют измерительной неточности быть пониженной вниз к величине столь же низко как $\pm 0.1\%$ натурального чтения.

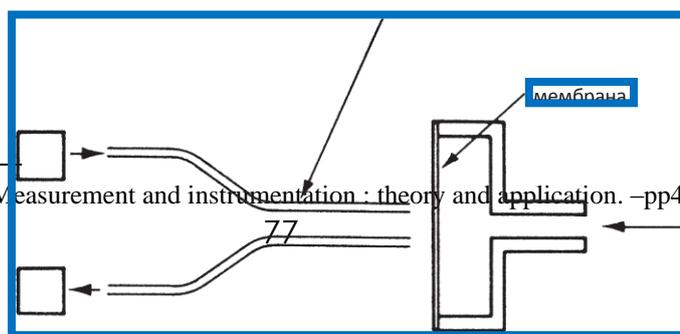
Емкостный Чувствительный элемент давления

Емкостный прижимной чувствительный элемент - просто типовое мембранное устройство, в котором смещение мембраны определяется, измеряя изменение емкости между мембраной и металлической пластиной, которая является близко к этому. Такие устройства широко используются и иногда известны как *масштабы Baratron*. Также возможно изготовить емкостные элементы в кремниевом чипе и таким образом сформировать очень малые *микрочувствительные элементы*. У них есть типичная измерительная неопределенность в $\pm 0.2\%$.

Чувствительные элементы Давления волоконной оптики

Чувствительные элементы волоконной оптики, также известные как оптические чувствительные элементы давления, снабжают альтернативный метод измерительных смещений в диафрагме и чувствительных элементах давления Трубчатой пружины манометра оптоэлектронными средствами и позволяют следующим чувствительным элементам иметь более низкую массу и размер по сравнению с чувствительными элементами, в которых смещение измеряется другими методами. Чувствительный элемент оптического затвора, описанный ранее в Главе 13, является одной формой чувствительного элемента смещения волоконной оптики. Другая форма - *fotonic* чувствительный элемент, показанный на рисунке 15.2, в котором свете путешествия от источника света, вниз оптоволокну, отражались назад от мембраны, и затем едут назад вдоль второго слоя к фотодетектору. Есть характеристическая зависимость между отраженным светом и расстоянием от концов слоя до мембраны, таким образом делая количество отраженного света, зависящего от смещение мембраны и следовательно взвешенное давление³². Кроме массы и преимуществ размера чувствительных элементов смещения волоконной оптики, выходной сигнал устойчив к электромагнитному шуму.

Оптоволокно



³² Alan S. Morris, Reza Langari. Measurement and instrumentation : theory and application. –pp401

Излучатель
Детектор

Рис.2 Чувствительный элемент Fotonic.

Однако, точность измерения является обычно ниже к снабженному переменными чувствительными элементами смещения, и выбор таких чувствительных элементов также подвергается штрафу стоимости. Таким образом, чувствительные элементы используя волоконные оптики, чтобы измерить диафрагму или смещение Трубчатой пружины манометра имеют тенденцию быть ограниченными приложениями где их небольшой размер, обедня без пения, и иммунитет к электромагнитному шуму особенно выгодны.



Рис.3 Использование чувствительного элемента давления волоконной оптики в теряющем вихрь расходомере.

Кроме ограниченного использования с диафрагмой и чувствительными элементами Трубчатой пружины манометра, кабели волоконной оптики также используются несколькими другими способами измерить давление. Форма чувствительного элемента давления волоконной оптики, известного как *чувствительный элемент микроизгиба*, делается набросок на рисунке 13.8а. В этом показатель преломления слоя (и следовательно интенсивность пропущенного света) изменяется согласно механической деформации слоя, вызванного давлением. Чувствительность прижимного измерения может быть оптимизирована, оказывая давление через роликовую цепь, так, что изгибающуюся, периодически применяется (см. рисунок 13.8b). Оптимальный вар для цепи изменяется согласно радиусу, показателю преломления, и типу завернутого кабеля. Чувствительные

элементы микроизгиба обычно используются, чтобы измерить малые прижимные изменения, генерируемые в расходомерах потери Вихря. Когда чувствительные элементы волоконной оптики используются в этой роли измерения расхода жидкости, переменное расположение, показанное на рисунке 15.3, может использоваться, где кабель волоконной оптики просто растягивается через трубу. Это часто упрощает обнаружение фокусов.

Также существуют модулирующие фазу чувствительные элементы давления волоконной оптики. Режим работы их был обсужден в Главе 13.

Сильфон, поясняемые схематично на рисунке 15.4, являются другим типом эластичного элемента прижимной чувствительный элемент, которые работают на очень подобных правилах к чувствительному элементу давления мембраны.

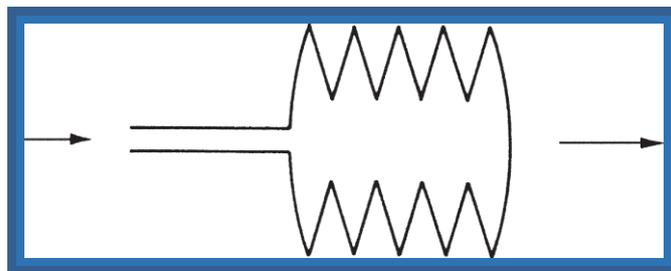
Различные версии могут измерить любое абсолютное давление (до 2.5 бар) или манометрическое давление (до 150 брусков). Версии двойных мехов также существуют, которые проектируются, чтобы измерить перепады давления до 30 брусков.

Сильфон имеют типичную измерительную неопределенность только в $\pm 0.5\%$, но имеют относительно высокую стоимость производства и являются склонными к отказу. Их атрибут правила в прошлом был их большей измерительной чувствительностью по сравнению с чувствительными элементами мембраны³³.

Однако, опережения в электронике означают, что требование высокой чувствительности может обычно удовлетворяться теперь типовыми диафрагмой устройствами, и использование мехов поэтому падает.

Трубчатая пружина манометра - также эластичный тип элемента прижимного преобразователя. Это относительно недорого и обычно используется для того, чтобы измерить манометрическое давление и газообразных и жидких жидкостей. Это составы особенно формированной части овального сечения, гибкая, металлическая труба, которая устанавливается в один конец и свободный перемещаться в другом конце. Когда давление оказывается на открытый, установленный конец трубы, овальный поперечный разрез становится большим количеством проспекта. В следствии есть смещение подвижной опоры трубы. Это смещение измеряется некоторой формой преобразователя смещения, который обычно является потенциаломером или LVDT. Емкостные и оптические чувствительные элементы также иногда используются, чтобы измерить смещение.

³³ Alan S. Morris, Reza Langari. Measurement and instrumentation : theory and application. –pp402



Поступательное перемещение

Рис.4 Сильфон. Трубчатая пружина манометра

Три общих формы Трубчатых пружин манометра показывают на рисунке 15.5. Максимальное возможное отклонение подвижной опоры трубы - член пропорции к углу, стягиваемому дугой, через которую изгибается труба. Для трубы С-типа максимальная величина для этой дуги несколько

меньше чем 360° . Где большая измерительная чувствительность и разложение требуются, спираль и спиральные трубы используются. Они оба дают намного большее отклонение в подвижной опоре для данного приложенного давления. Однако, эти увеличенные измерительные рабочие характеристики только получаются за счет существенного увеличения производственной трудности и стоимости по сравнению с трубами С-типа и также присоединяются со значительным сокращением на максимальном давлении, которое может быть взвешенный. Спиральные и спиральные типы иногда снабжаются вращающимся указателем, который перемещает против шкалы давать визуальное указание взвешенного давления.

Трубы С-типа доступны для измерения, опрессовывает к 6000 брусков. У типичной трубы С-типа 25-миллиметрового радиуса есть максимальное путешествие смещения 4 MMS, давая умеренный уровень измерительного разложения. Измерительная неточность обычно заключается в кавычки в $\pm 1\%$ натуральных отклонение

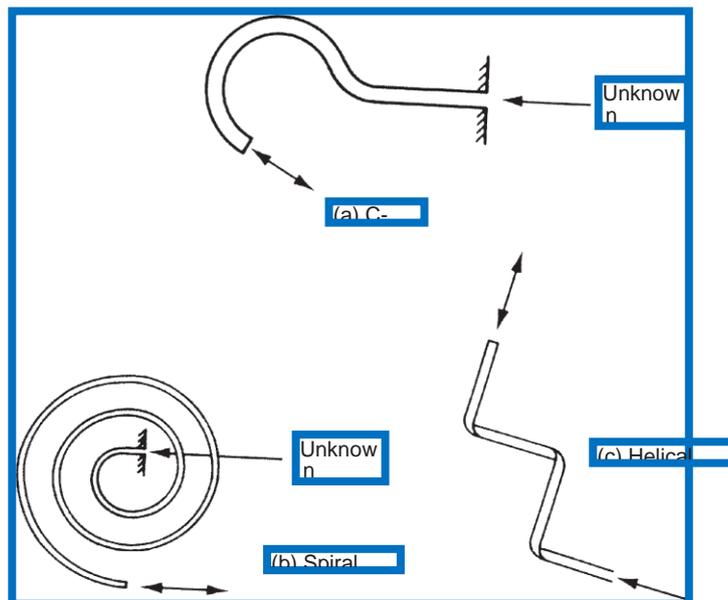


Рис.5 Три формы Трубчатой пружины манометра.

Подобная точность доступна от спиральных и спиральных типов, но в то время как измерительное разложение более высоко, максимальное измеримое давление является только 700 бар.³⁴

Существование одного потенциально основного источника погрешности в измерении давления Трубчатой пружины манометра не было широко задокументировано, и немного производителей Трубчатых пружин манометра предпринимают любую попытку предупредить пользователей их продуктов соответственно. Задача касается зависимости между измеряемой жидкостью и жидкостью, используемой для калибровки. Указатель Трубчатых пружин манометра обычно устанавливается в ноле во время изготовления, используя воздух в качестве градуировочной среды. Однако, если различная жидкость, особенно жидкость, будет впоследствии использоваться с Трубчатой пружинной манометра, то жидкость в трубе вызовет ненулевое отклонение согласно своему весу по сравнению с воздухом, следующим ошибкой считывания до 6 %. Этого можно избежать, калибруя Трубчатую пружину манометра с жидкостью, которая будет измерена вместо с воздухом, предполагая, конечно, что пользователь знает о задаче.

Альтернативно, исправление может быть сделано согласно расчетному весу жидкости в трубе. К сожалению, трудности возникают с обоими из этих растворов, если воздух захватывается в трубе, поскольку это предотвратит трубу, являющуюся заполненной полностью жидкостью. Затем, количество жидкости фактически в трубе, и ее весе, будет неизвестным.

³⁴ Alan S. Morris, Reza Langari. Measurement and instrumentation : theory and application. –pp404

В заключение поэтому, Трубчатые пружины манометра только гарантировали пределы точности, измеряя газообразные давления. Их использование для точного измерения жидких больших поз давлений трудность, если масштаб не может быть полностью заполнен жидкостью и во время калибровки и во время измерения, условие, которое очень трудно выполнить фактически.

4.2 Манометры

Манометры - пассивные инструменты, которые дают визуальное указание прижимных величин. Различные типы существуют.

U-образный Манометр

U-образный манометр, показанный на рисунке 15.6а, является наиболее распространенной формой манометра. Приложенное давление вызывает смещение жидкости в Подковообразной стеклянной трубе, и рабочее давление, читая P делается, наблюдая разность, h , между уровнем жидкости в двух половинах трубы A и B , согласно уравнению $P = h\gamma g$, где γ - удельный вес жидкости. Если неизвестное давление оказывается стороне A , и сторона B открыта для атмосферы, чтение выхода - манометрическое давление. Альтернативно, если сторона B трубы уплотнена и откачана, чтение выхода - абсолютное давление. U-образный манометр также измеряет перепад давления, ($p_1 - p_2$), согласно выражению $(p_1 - p_2) = h\gamma g$, если два неизвестного давления p_1 и p_2 оказывается, соответственно, сторонам A и B трубы.

Чтение выхода от U-образных манометров является подчиненным погрешности, преимущественно потому что очень трудно судить точно, где менисковые уровни жидкости находятся в двух половинах трубы. В измерении абсолютного давления происходит дополнительная погрешность, потому что невозможно полностью откачать закрытую из трубы.

U-образные манометры обычно используются, чтобы измерить манометрическое давление и перепады давления приблизительно до 2 брусков. Тип жидкости, используемой в инструменте, зависит от давления и характеристик измеряемой жидкости. Вода - недорогой и удобный выбор, но она испаряется легко и является трудной видеть.

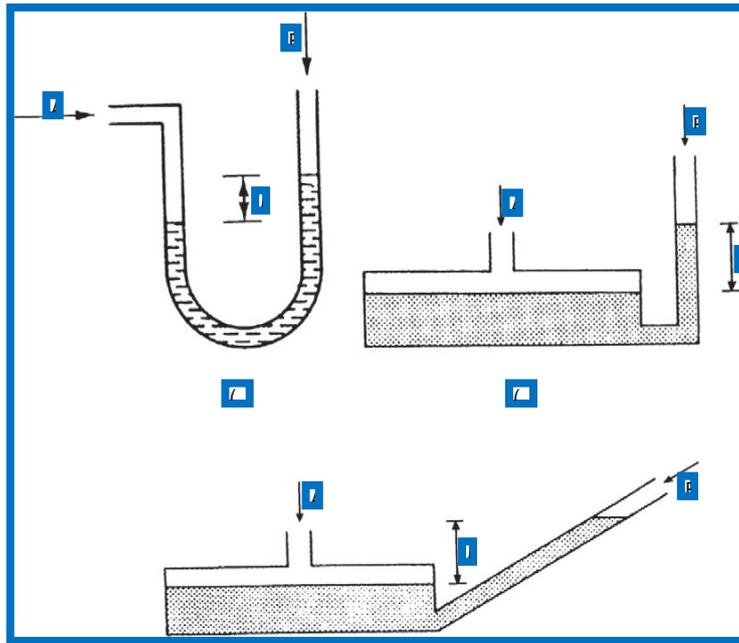


Рис.6 Три формы манометра: (а) U труба, (b) хороший тип, и (с) наклонял тип.

Однако, это используется экстенсивно, с большими препятствиями его использованию, преодолеваемому при использовании цветной воды и регулярно заливая трубу, чтобы противодействовать парообразованию. Однако, вода определенно не используется, измеряя давление жидкостей, которые взаимодействуют с или наплыв в воде. Вода является также неподходящей, когда измерения высокого давления требуются. При таких обстоятельствах жидкости, такие как анилин, тетрахлорметан, бромформ, ртуть, или нефть преобразователя используются вместо этого³⁵.

Типовой скважиной Манометр (Манометр Цистерны)

Манометр типа скважины или цистерны, показанный на рисунке 15.6b, подобен U-образному манометру, но половина трубы делается очень большой так, чтобы это сформировало скважину. Изменение в уровне скважины как взвешенное давление изменяется, незначительно. Поэтому, жидкий уровень только в одной трубе должен быть измерен, который делает инструмент намного легче использовать чем U-образный манометр. Если неизвестное давление, p_1 , оказывается, чтобы перенести A и перенести B, открыто для атмосферы, манометрическое давление дается $p_1 = \rho g h$. Могло бы казаться, что инструмент даст лучшую точность измерения чем U-образный манометр, потому что потребности вычесть два жидких измерения уровня, чтобы достигнуть прижимной величины, избегают. Однако, эта прибыль забывается погрешностями, которые возникают, сбор к типичным вариациям площади поперечного сечения в стакане имел

³⁵ Alan S. Morris, Reza Langari. Measurement and instrumentation : theory and application. –pp406

обыкновение делать трубу. Такие вариации не воздействуют на точность U-образного манометра

Наклоненный Манометр (Тягомер)

Наклоненный манометр или тягомер, показанный на рисунке 15.6с, являются вариацией на типовом скважинной манометре, в котором одна нога трубы склонна увеличить измерительную чувствительность.

Резонансные Проводные Устройства

Типичное резонансное проводное устройство показывают схематично на рисунке 15.7. Провод растягивается через камеру, содержащую жидкость на неизвестном давлении, подвергнутом магнитному полю. Провод резонирует в его собственной частоте согласно его напряжению, которое меняется в зависимости от давления. Таким образом

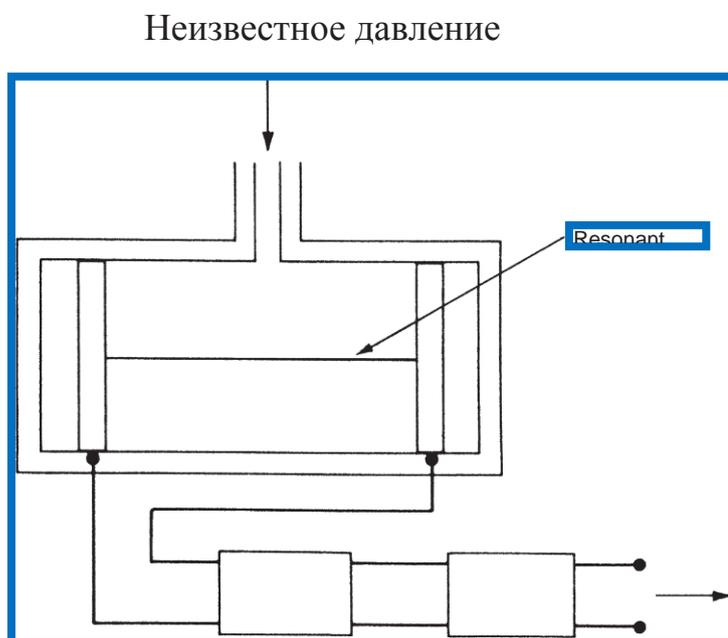


Рис.7 Резонансное проводное устройство.

давление вычисляется, измеряя частоту вибрации провода. Такое частотное измерение обычно выполняется электроникой, интегрированной в клетку. Такие устройства очень точны, с типичной фигурой неточности, являющейся \pm натурным чтением на 0.2 %. Они также особенно нечувствительны к окружающим изменениям условия и могут измерить давления между

Электронные Манометры

Это сечение включается, потому что у многих каталогов производителей инструмента есть сечение, названное “электронные манометры.” Однако, в действительности, электронные манометры - просто специальные формы манометров, описанных ранее, в котором электронные методы применяются, чтобы улучшить рабочие

характеристики. Все следующие обычно появляются в каталогах инструмента под возглавляющими “электронными манометрами.”

Пьезорезистивный прижимной преобразователь: Этот типовой диафрагмой чувствительный элемент использует пьезорезистивные тензодатчики, чтобы измерить смещение мембраны.

Пьезоэлектрический прижимной преобразователь: Этот типовой диафрагмой чувствительный элемент использует пьезоэлектрический кристалл, чтобы измерить смещение мембраны.

Магнитный прижимной преобразователь: Этот класс типового диафрагмой устройства измеряет смещение мембраны, магнитным полем используя индуктивное, переменное магнитное сопротивление, или чувствительные элементы токов Фуко. *Преобразователь давления Capacitive:* Этот типовой диафрагмой чувствительный элемент измеряет вариацию в емкости между диафрагмой и установленной металлической пластиной близко к ней.

Чувствительный элемент давления волоконной оптики: Известный альтернативно как оптический прижимной чувствительный элемент, это использует чувствительный элемент волоконной оптики, чтобы измерить смещение или мембраны или чувствительного элемента давления Трубчатой пружины манометра.

Потенциометрический прижимной чувствительный элемент: Это - устройство, где поступательное перемещение складного прижимного чувствительного элемента соединяется с элементом скольжения электрического потенциаломера

Резонансный прижимной преобразователь: Это - форма резонансного проводного прижимного измерительного прибора, в котором вызванное давлением частотное изменение измеряется электроникой, интегрированной в устройство.

4.3 Специальные Измерительные устройства для низкого давления

Вакуумный манометр члена применяется обычно, чтобы описать любой прижимной чувствительный элемент, проектированный, чтобы измерить давления в вакуумной амплитуде (давления меньше чем атмосферное давление, то есть, ниже

Много специальных версий типов прижимных преобразователей описали, ранее были разработаны для измерения в вакуумном манометре³⁶. Типичное минимальное давление measurable этими специальными формами "нормальных" прижимных измерительных приборов является 10 mbar (Трубчатые пружины манометра), 0.1 mbar (манометры и складные инструменты), и 0.001 mbar (мембраны). Однако, в дополнение к этим специальным версиям нормальных инструментов, много других устройств были определенно разработаны для измерения давлений ниже атмосферного давления. Эти

³⁶ Alan S. Morris, Reza Langari. Measurement and instrumentation : theory and application. –pp408

специальные устройства включают термоэлектрический масштаб, Манометр Пирани, термисторный манометр, масштаб Мак-Леода, и ионизационный манометр, и они покрываются более подробно затем. К сожалению, все эти специализированные инструменты довольно дороги.

Термоэлектрический Масштаб

Термоэлектрический масштаб - одна из группы масштабов, работающих над правилом удельной теплопроводности. В низком давлении кинематическая теория газов предсказывает линейную зависимость между прижимной и удельной теплопроводностью. Таким образом измерение удельной теплопроводности дает указание давления. **Рисунок 15.8** показывает эскиз термоэлектрического масштаба. Работа масштаба зависит от теплопроводности теплоты между тонкой лентой жидкого чугуна в центре и холодной наружной поверхностью стеклянной трубы (который обычно является в комнатной температуре). Металлическая полоса нагревается, проходя ток через это, и его температура измеряется термопарой.

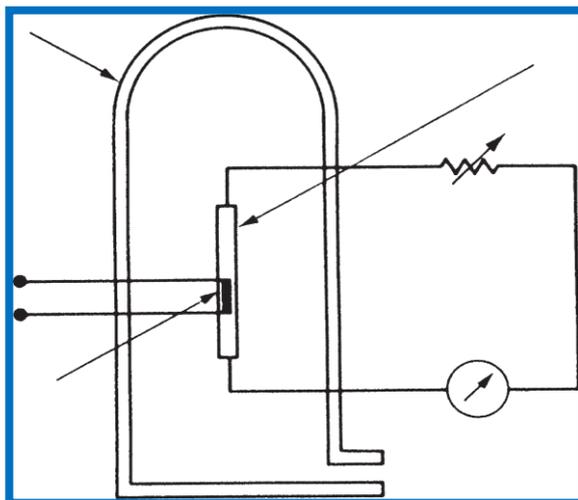


Рисунок 15.8 Термоэлектрический масштаб.

Измеренная температура зависит от удельной теплопроводности газа в трубе и следовательно на ее давлении. Источник погрешности в этом инструменте - факт, что теплота также перенесена

излучением так же как проводимостью. Эта погрешность имеет постоянную величину, независимую от давления. Следовательно, это может быть измерено, и таким образом исправление может быть сделано для этого. Однако, обычно более удобно проектировать для низких потерей на излучение, выбирая горячий элемент с низким коэффициентом излучения. Термоэлектрические масштабы обычно используются, чтобы измерить давления в амплитуде

Термисторный манометр

Это идентично в его режиме работы термоэлектрическому масштабу за исключением того, что терморезистор используется,

чтобы измерить температуру металлической полосы, а не термопары. Это обычно продается под именем *электронный вакуумный манометр* в форме, которая включает цифровой показ светодиода и переключаемые амплитуды выхода.

Манометр Пирани

Типичную форму Манометра Пирани показывают на рисунке 15.9а. Это подобно термоэлектрическому масштабу, но имеет горячий элемент что составы четырех змеевиковых проводов вольфрама, соединенных в параллель. Две идентичных трубы обычно используются, соединяются в мостовой схеме, как показано на рисунке 15.9б, с одним содержанием газа на неизвестном давлении и другой откачанный к очень низконапорный. Ток проходит через элемент вольфрама, который достигает определенной температуры согласно удельной теплопроводности газа. Сопротивление элемента изменяется с температурой и вызывает неустойчивость измерительного моста. Таким образом, Манометр Пирани избегает использования термопары, чтобы измерить температуру (как в термоэлектрическом масштабе), эффективно используя термометр сопротивления в качестве горячего элемента. Такие масштабы покрывают диапазон давлений 10^{-5} к 1 mbar³⁷.

манометр Мак-Леода

Рисунок 15.10а показывает общую форму масштаба Мак-Леода, в котором жидкость низкого давления сжимается до более высокого давления, которое тогда читается методами манометра. В основном, масштаб может визуализироваться как U-образный манометр, который уплотняется в одном конце и где основа из U может быть заблокирован по желанию.

Чтобы управлять масштабом, поршень сначала забирается. Это заставляет уровень ртути в более низкой части масштаба падать ниже уровня соединения J между маркированным Y двух труб и Z в масштабе. Жидкость в неизвестном прижимном P_u тогда вводится через маркированный Z трубы, от того, куда это также течет в трубу площади поперечного сечения маркированный Y.

³⁷ Alan S. Morris, Reza Langari. Measurement and instrumentation : theory and application. –pp410

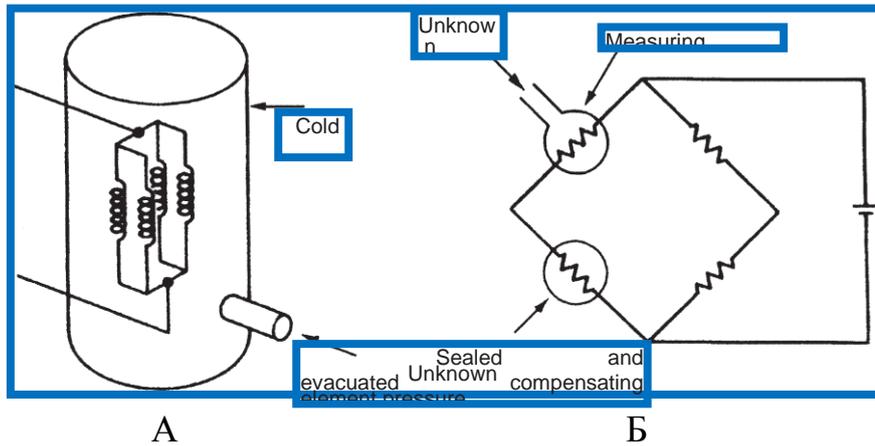


Рисунок 15.9 Манометр Пирани и (b) цепь моста Уитстона имели обыкновение измерять выход.

Затем, поршень нажимается в, перемещая ртуть выравнивает, чтобы заблокировать соединение J. На каскаде, где J был только заблокирован, жидкость в трубе Y в прижимном P_u и содержится в известном объеме, V_u . Дальнейшее перемещение поршня сжимает жидкость в трубе Y, и этот процесс продолжается до ртутного уровня в трубе Z достигает нулевой отметки. Измерение высота (h) выше ртутной колонны в трубе Y тогда позволяет вычисление сжатого объема жидкости, V_c , как $V_c = \rho a h$.

Затем, Законом Бойля-Мариотта: $P_u V_u = P_c V_c$.

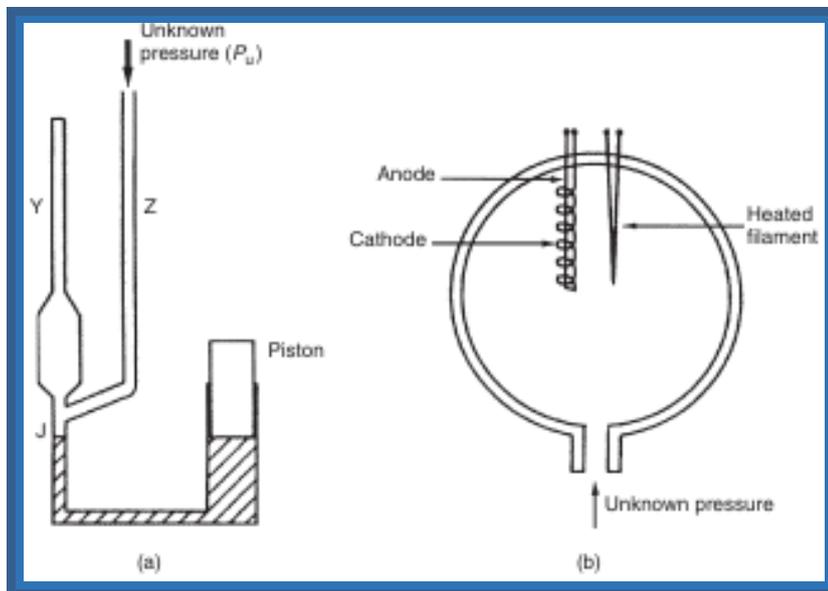


Рисунок 15.10 Другие манометры низкого давления: (a) масштаб Мак-Леода и (b) ионизационный манометр.

Кроме того, применяя нормальное уравнение манометра, $P_c = P_u + \rho h$, где ρ - массовая плотность ртути, давление, P_u , может быть вычислено как

$$P_x = \frac{Ah^2 \rho g}{V_n - Ah} \quad (15.1)$$

Сжатый V_c объема часто намного более мал чем первоначальный объем, когда [Уравнение \(15.1\)](#) приближается к

$$P_x = \frac{Ah^2 \rho g}{V_x} \text{ for } Ah \ll V_n \quad (15.2)$$

Хотя самая малая неточность, достижимая с масштабами Мак-Леода, составляет $\pm 1 \%$, это все еще лучше чем это достижимое с большинством других масштабов, доступных для измерительных давлений в этой амплитуде. Поэтому, масштаб Мак-Леода часто используется в качестве стандарта, против которого калибруются другие масштабы. Минимальное давление, обычно измеримое, является 10^{-1} мБар, хотя более низкие давления могут быть измерены, если делящие давление методы применяются.

Ионизационный манометр

Ионизационный манометр - специальный тип инструмента, используемого для того, чтобы измерить очень низкое давление в амплитуде 10^{-10} к 1 mbar. Обычно, они только используются в лабораторных условиях, потому что их калибровка очень чувствительна к композиции газов, в которых они работают, и использование масс-спектрометра часто необходимо, чтобы определить газовую композицию вокруг них. Они существуют в двух формах, известных как термокатод и холодный катод. Форму термокатода показывают схематично на рисунке [15.10b](#). В этом газ неизвестного давления вводится в стеклянное судно, содержащее свободные электроны, выпущенные от горячей нити накала, как показано на рисунке [15.10b](#). Давление газа определяется, измеряя ток, текущий между анодом и катодом в пределах судна. Этот ток - член пропорции к номеру ионов на единицу объема, которая поочередно является членом пропорции к давлению газа. Холодные катодные ионизационные манометры работают подобной формой за исключением того, что поток электронов производится высоким напряжением электрический выпуск³⁸.

Высоконапорное Измерение (Больше чем 7000 брусков)

Измерение давлений выше 7000 брусков обычно выполняется электрически, наблюдая изменение сопротивления проводов специальных материалов. Материалы, имеющие характеристики давления сопротивления, которые соответственно линейны и чувствительные, включают сплавы золотого хрома и манганин. Катушка такого провода ограждается в уплотненные, заполненные керосином, гибкие сильфон, как показано на рисунке [15.11](#). Неизвестное давление оказывается к одному концу мехов, которые

³⁸ Alan S. Morris, Reza Langari. Measurement and instrumentation : theory and application. –pp412

передают давление к катушке. Величина приложенного давления тогда определяется, измеряя сопротивление катушки. Устройства часто называют согласно металлу, используемому в них, например, *манганин телеграфируют прижимной чувствительный элемент*, и *золотой хром телеграфируют прижимной чувствительный элемент*. Опрессовывает к 30 000 брусков, может быть измерен устройствами, такими как проводной прижимной чувствительный элемент манганина, с типичной неточностью $\pm 0.5 \%$.

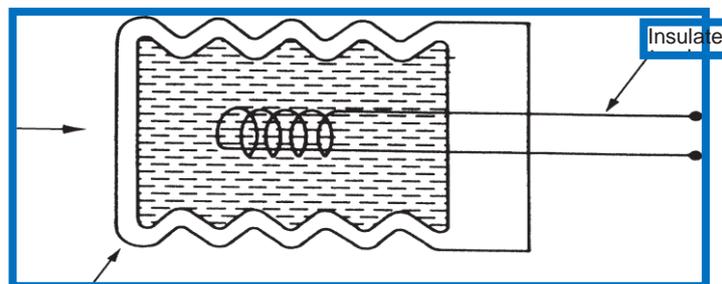


Рисунок 15.11 Высоконапорное измерение; бухта проволоки в сильфонах.

Интеллектуальные Прижимные Преобразователи

Добавление мощности микропроцессора к прижимным преобразователям вызывает существенные усовершенствования в их характеристиках. Измерительное усовершенствование чувствительности, расширенный предел измерений, компенсация за гистерезис и другую нелинейность, и исправление для температуры окружающей среды и прижимных изменений - только некоторые из оборудования, предлагаемых интеллектуальными прижимными преобразователями.

Например, величины неточности столь же низко как $\pm 0.1 \%$ могут быть достигнуты с пьезорезистивным кремнием - мостовые устройства.

Вложение микропроцессоров также включило использованию новых методов измерения смещения, например, оптического метода измерения смещения, показанного на рисунке 15.12. В этом движение передается к лопасти, которая прогрессивно штрихует один из двух монолитных фотодиодов, подвергнутых инфракрасному излучению. Вторые действия фотодиода как ссылка, позволяя микропроцессору вычислить сигнал отношения, который линейризуется и доступен или как аналог или как цифровое измерение давления. Типичная измерительная неточность составляет $\pm 0.1 \%$. Версии и диафрагм и Трубчатых пружин манометра, которые используют этот метод, доступны.

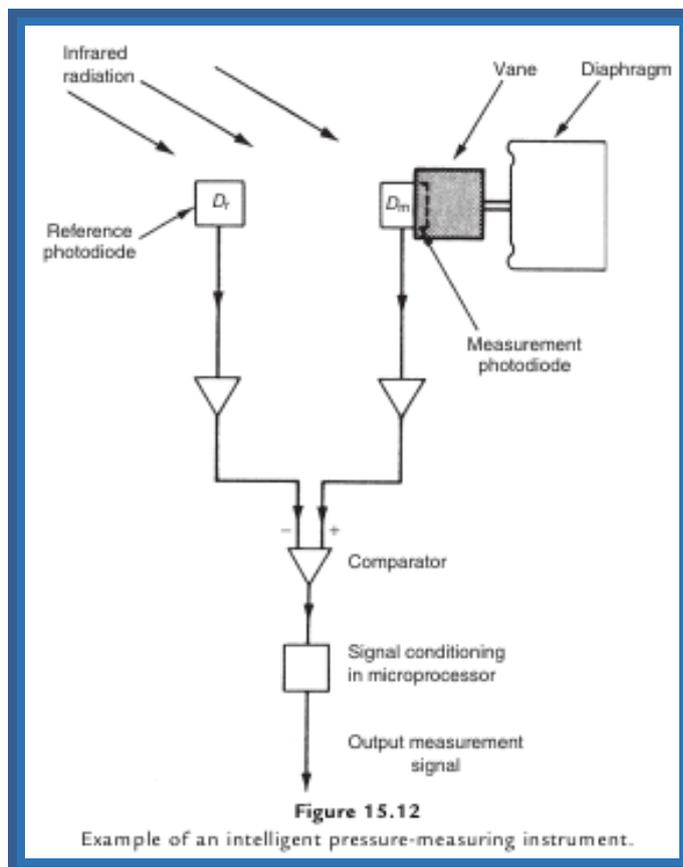


Рисунок 15.12 Пример интеллектуального прижимного измерительного прибора.

4.4 Измерительные приборы перепада давления

У измерительных приборов перепада давления есть два порта входа. Одно неизвестное давление оказывается к каждому порту, и выход инструмента - разность между этими двумя давлениями. Переменный способ измерить перепад давления состоял бы в том, чтобы измерить каждое давление с отдельным инструментом и затем вычесть тот, читающий из другого³⁹. Однако, это произвело бы далекое менее точное измерение перепада давления из-за известной задачи, что процесс вычитания измерений усиливает свойственную неточность в каждом индивидуальном измерении. Это - особенная задача, измеряя перепады давления низкой величины.

Дифференциальное давление может быть измерено специальными формами многих из прижимных измерительных приборов, описанных ранее. Диафрагмируйте прижимные чувствительные элементы, и их пьезорезистивное, пьезоэлектрическое, магнитное, емкостное, и волоконная оптика, названная разновидностями, все обычно доступны в а измеряющая перепад давления форма, в которой эти два давления быть вычтенным оказывается любой стороне мембраны. Преобразователи давления

³⁹ Alan S. Morris, Reza Langari. Measurement and instrumentation : theory and application. –pp413

двойных мехов (включая устройства, известные как потенциометрические прижимные преобразователи), также используются, но намного менее распространены чем мембрана - базируемые чувствительные элементы. Специальная форма U-образного манометра также иногда используется, когда визуальное указание величин перепада давления требуется.

Это имеет преимущество того, чтобы быть пассивным инструментом, который не требует источника питания, и это обычно используется в жидких индикаторах скорости потока.

Выбор Прижимных Чувствительных элементов

Выбор между различными типами инструментов, доступных для измерительных давлений средней дальности (1.013-7000 бар), обычно строго под влиянием применения по назначению. Манометры обычно используются, когда только визуальное указание прижимного уровня требуется, и децвейт масштабы, из-за их верхней точности, используются в градуировочных процедурах других прижимных измерительных приборов. Когда электрическая форма выхода требуется, выбор

обычно или один из нескольких типов чувствительных элементов мембраны (тензодатчик, пьезорезистивный, пьезоэлектрический, магнитный, емкостный, или волоконной оптики) или, реже, Трубчатая пружина манометра.

Складные инструменты также иногда используются с этой целью, но намного менее часто.

Если очень высокая точность измерения требуется, резонансное проводное устройство - популярный выбор.

В случае прижимного измерения в вакуумной амплитуде (меньше чем атмосферное давление, то есть, ниже 1.013 брусков), адаптация большинства типов прижимных преобразователей описала, ранее может использоваться. Специальные формы давлений критерия Трубчатых пружин манометра вниз к 10 mbar, манометрам и складным инструментам измеряют давления вниз к 0.1 mbar, и

мембраны могут быть проектированы, чтобы измерить давления вниз к 0.001 mbar. Однако, много более специализированных инструментов были также разработаны, чтобы измерить вакуумные давления, как обсуждено в [Секции 15.10](#)⁴⁰. Они обычно дают лучшую точность измерения и

чувствительность по сравнению с инструментами, которые проектируются прежде всего для измерительной средней дальности

давления. Эта улучшенная точность особенно очевидна в низком давлении. Поэтому, только специальные инструменты, описанные в [Секции 15.10](#), используются, чтобы измерить давления ниже 10^{-4} mbar.

⁴⁰ Alan S. Morris, Reza Langari. Measurement and instrumentation : theory and application. –pp415

В высоком давлении (> 7000 брусков), единственные широко используемые устройства являются чувствительным элементом провода манганина и подобными устройствами, основанными на переменных сплавах к манганину.

Для измерения перепада давления типовые диафрагмой чувствительные элементы - предпочтительный вариант, с чувствительными элементами двойных мехов, используемыми иногда. Манометры также иногда используются, чтобы дать визуальное указание величин перепада давления (особенно в жидких индикаторах скорости потока).

Они - пассивные инструменты, которые имеют преимущество не необходимости в источнике питания.

Контрольные вопросы:

1. Объясните разность среди абсолютного давления, манометрического давления, и перепада давления. Когда прижимное чтение записывается, каков механизм для того, чтобы определить, является ли величина масштабом, абсолютным, или перепадом давления?
2. Примеры усадки местоположений, где прижимные измерения обычно даются как (а) абсолютное давление, (b) манометрическое давление, и (с) перепад давления.
3. Суммируйте главные классы устройств, используемых для того, чтобы измерить абсолютное давление.
4. Суммируйте главные классы устройств, используемых для давления измерительного прибора.
5. Суммируйте главные классы устройств, используемых для того, чтобы измерить перепад давления.
6. Объясните, каков чувствительный элемент давления диафрагмы. Что различные материалы используются в строительстве чувствительного элемента давления диафрагмы и каковы их относительные достоинства?
7. Тензодатчики используются обычно, чтобы измерить смещение в чувствительном элементе давления диафрагмы. Каковы трудности в соединении стандартного тензодатчика к диафрагме и как эти трудности обычно решаются?
8. Каковы преимущества в использовании монолитного пьезорезистивного преобразователя смещения с чувствительными элементами давления диафрагмы?
9. Что другие типы устройств кроме тензодатчиков используются, чтобы измерить смещение в тензодатчике диафрагмы? Суммируйте главные функции каждого из этих переменных типов чувствительных элементов смещения.

10. Обсудите режим работы чувствительных элементов давления волоконной оптики. Каковы их главные преимущества перед другими формами прижимных чувствительных элементов?
11. Каковы чувствительные элементы давления мехов? Как они работают? Опишите некоторых типичных приложения.
12. Как Трубчатая пружина манометра работает? Каковы три общих формы Трубчатых пружин манометра и каков типичный предел измерений каждого типа?
13. Опишите три типа доступных манометров. Каков типичный предел измерений каждого типа?
14. Каков резонансный проводной прижимной измерительный прибор и для чего это обычно используется?
15. Каков электронный манометр? Обсудите различные типы электронных масштабов, которые существуют.

Использованные литературы:

1. Alan S Morris, Reza Langari, Measurement and Instrumentation. Theory and application, 2012 640 p.
2. Bela G. liPtak, Process Software and Digital Networks, Fourth Edition CRC Press 2012. – 1130 p.
3. Yusupbekov N.R., Muxamedov B.I., G'ulomov Sh.M. Texnologik jarayonlarni nazorat qilish va avtomatlashtirish. –Toshkent: O'qituvchi, 2011. -576 b.

5-тема: Измерение расхода жидкостей и газов.

План:

1. Виды расходомеров.
2. Термические расходомер массового расхода
3. Дифференциальное давление .

Ключевые слова: расходомеры, измерение потока количества, измерение коэффициента расхода, жидкость, плотность, объемные расходомеры, ротаметры, электромагнитные расходомеры, ультразвуковые расходомеры, доплеровский расходомер, интеллектуальные расходомеры.

5.1 Виды расходомеров

Чтобы смотреть на измерение расхода жидкости в этой главе. Измерение потока касается определения количества расхода материалов. Такое измерение - вполне общее требование в перерабатывающих отраслях промышленности. Измеренный материал может быть в твердом теле, жидкости, или газообразном состоянии. Когда материал находится в твердом теле, поток может только быть определен количественно как коэффициент массового расхода, этот являющийся массой материала, который течет в одной единице времени. Когда материал находится в жидком или газообразном состоянии, поток может быть определен количественно или как коэффициент массового расхода или как коэффициент объемного расхода, с последним существом объем материала, который течет в одной единице времени. Из этих двух предпочитается измерение расхода жидкости с точки зрения коэффициента массового расхода, если очень точное измерение требуется. Большая точность измерения массового расхода является результатом факта, что масса является инвариантной, тогда как объем - переменная величина.

Особенная сложность в измерении скорости потока жидкостей и газов, текущих в трубах, является потребностью рассмотреть, является ли поток ламинарным или турбулентным. Ламинарный поток характеризуется движением жидкости, находящейся в параллели направления сторонам трубы, и происходит в прямых длинах трубы, когда жидкость течет в низкой скорости. Однако, это должно быть замечено, что четное ламинарное течение не однородно через поперечный разрез трубы, со скоростью, являющейся самым большим в центре трубы и уменьшающейся, чтобы сразу обнулить рядом со стеной трубы. Напротив, турбулентный поток завертывает комплексную сетку фильтрации, которая не находится в однородном направлении. Турбулентный поток происходит в не прямых сечениях трубы и также происходит в прямых сечениях, когда жидкая скорость превышает критическую величину. Из-за трудности в измерении турбулентного потока обычная практика должна ограничить измерение расхода жидкости к местам, где поток является ламинарным, или по крайней мере приблизительно ламинарным. Это может быть достигнуто, измеряя поток в центре длинной, прямой длины трубы, если скорость потока ниже критической скорости для турбулентного потока. В случае высокой средней

жидкой скорости это часто возможный обнаружить где-нибудь в пределах путей проникновения потока, где более крупная труба диаметра существует и поэтому скорость потока ниже. Коэффициент Массового расхода Метод имел обыкновение иметь размеры, коэффициент массового расхода определяется тем, является ли взвешенное количество в твердом теле, жидкости, или газообразном состоянии, поскольку различные методы являются подходящими для каждого. Главные методы, доступные для измерения коэффициента массового расхода, получаются в итоге здесь.

Основанные на конвейере Методы

Основанные на конвейере методы являются подходящими для измерения потока твердых тел в форме порошков или малых гранулированных материальных точек. Такие порошки и материальные точки обычно производятся, дробясь или размалывая процедуры в перерабатывающих отраслях промышленности, и конвейер - очень соответствующее средство транспортировки материалов в этой форме. Транспортировка материалов по конвейеру позволяет коэффициенту массового расхода быть вычисленным с точки зрения массы материала по данной длине конвейера, умноженного на скорость конвейера. [Рисунок 16.1](#) показывает типичную систему измерения. Мессдоза измеряет массу, M , материала, распределенного по длине, L , конвейера. Если конвейерная скорость - v , коэффициентом массового расхода, Q , дают

$$Q = Mv/L:$$

Как вариант к взвешиванию плавного материала, может использоваться *ядерный чувствительный элемент массового расхода*, в котором серый источник направляется на материал, перенесенный вдоль конвейера. Материал поглощает некоторое излучение, и количество излучения, полученного детектором с другой стороны материала, указывает количество материала по конвейеру. Этот метод имеет очевидные безопасные проблемы и является поэтому подчиненным лицензированию и строгой стабилизации.

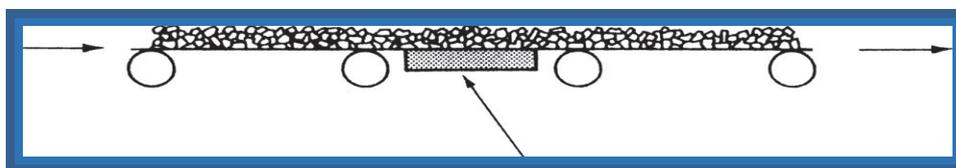
Расходомер Кориолиса

Так же как иногда, будучи известен переменным названием *инерционного расходомера*, Кориолисов расходомер часто упоминается просто как *массовый расходомер* из-за его преобладания на массовом рынке расходомера. Однако, это предположение, что массовый расходомер всегда обращается к Кориолисовому измерителю, является неправильным, поскольку несколько других типов устройств доступны, чтобы измерить массовый расход, хотя это является истинным, чтобы сказать, что они намного менее распространены чем Кориолисовы измерители⁴¹.

Кориолисовы измерители используются прежде всего, чтобы измерить коэффициент массового расхода жидкостей, хотя они также использовались успешно в некоторых измерительных приложениях выброса газа. Расходомер состоит или пары параллели, вибрирующей трубы или как единственная вибрирующая труба, которая формируется в

⁴¹ Alan S. Morris, Reza Langari. Measurement and instrumentation : theory and application. –pp427

конфигурацию, у которой есть два параллельных сечения. Две вибрирующие трубы (или два параллельных сечения единственной трубы) отклоняют согласно коэффициенту массового расхода взвешенной жидкости, которая течет внутри. Трубы делаются из различных материалов, из которых нержавеющая сталь наиболее распространена. Они также производятся в различных формах, таких как формованный В, D формованный, U формованный, треугольный формованный, спираль, формованная, и прямо. Эти переменные формы делаются набросок на рисунке 16.2a, и Подковообразную трубу показывают более подробно на рисунке 16.2b. Трубы ставятся на якорь в двух точках. Электромеханический привод, помещенный на полпути между двумя якорями, волнует колебания в каждой трубе в резонансной частоте трубы. Колебания в две трубы, или два параллельных сечения единственной трубы, являются 180 несовпадающими по фазе степенями.



Conveyor-based mass-flow-rate measurement.

Колебательное движение каждой трубы вызывает силы на материальных точках в плавной жидкости. Эти силы вызывают движение жидких материальных точек в направлении, которое является ортогональным к направлению потока, который производит Силу инерции Кориолиса. Эта Сила инерции Кориолиса вызывает отклонение труб, которое накладывается сверху колебательного движения. Сетевое отклонение одной трубы относительно другого дается $d = kfR$, где k является константой, f - частота вибрации трубы, и R - коэффициент массового расхода жидкой внутренней части труба. Это отклонение измеряется соответствующим чувствительным элементом.

Кориолисовы измерители дают превосходную точность, с измерительными неопределенностями в $\pm 0.2\%$, являющихся типичным. У них также есть требования низких эксплуатационных расходов. Однако, кроме того, чтобы быть дорогим (типичная стоимость составляет 6000\$), они страдают от многих эксплуатационных проблем. Отказ может произойти после периода использования из-за механической усталости в трубах. Трубы являются также подчиненными и коррозии, вызванной химическим взаимодействием со взвешенной жидкостью и истиранию, вызванному материальными точками в пределах жидкости. Обход плавной жидкости вокруг расходомера заставляет это переносить существенное падение давления, хотя это намного менее очевидно в прямых расчетах трубы.

5.2 Термические расходомер массового расхода

Расходомеры количества тепла используются прежде всего, чтобы измерить скорость потока газов. Правило работы должно направить плавный

материал, прошлый горячий элемент. Коэффициент массового расхода выводится одним из двух способов: (a), измеряя повышение температуры в плавном материале или (b), измеряя мощность нагревателя, требуемую достигнуть постоянной установленной температуры в плавном материале. В обоих случаях, удельная теплоемкость и плотность плавной жидкости должны быть известны.

Типичная измерительная неопределенность составляет $\pm 2\%$. Стандартные инструменты требуют, чтобы взвешенный газ был чистым и некоррозийным. Однако, версии, сделанные из специальных сплавов, могут справиться с более агрессивными газами. Крошечные версии расходомеров количества тепла были разработаны, который может измерить очень малые скорости потока в амплитуде nanoliters (10^{-9} литров) или микролитры (10^{-6} литров) на минуту..

Объединенное измерение коэффициента объемного расхода и плотности жидкости

Перед появлением Кориолисового измерителя обычный способ измерить коэффициент массового расхода состоял в том, чтобы вычислить это из отдельных, одновременных измерений коэффициента объемного расхода и жидкой плотности. При многих обстоятельствах это - все еще наименее дорогая опция, хотя точность измерения является существенно нижней к снабженному Кориолисовым измерителем.

Коэффициент Объемного расхода

Коэффициент объемного расхода - соответствующий способ определить количество потока всех материалов, которые находятся в газообразном, жидкости, или полужидкой шламовой форме (где твердые материальные точки взвешены в жидкой массе), хотя точность измерения является нижней к измерению массового расхода как замечено ранее. Материалы в этих формах обычно несут в трубах, и различные инструменты могут привыкнуть к

измерьте коэффициент объемного расхода как описано позже. Как замечено во введении, они все принимают ламинарное течение. Кроме того, плавные жидкости иногда несут в открытом русле, когда коэффициент объемного расхода может быть измерен расходомером открытого русла⁴².

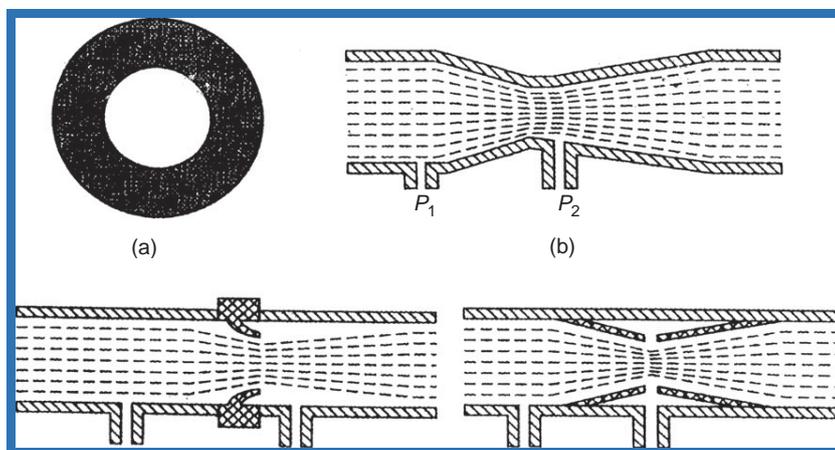
5.3 Дифференциальное давление (Тип преграды) Измерители

Измерители дифференциального давления завертывают введение некоторого устройства в несущую жидкость трубу, которая вызывает преграду и создает перепад давления по обе стороны от устройства. Такие измерители иногда известны как типовые преградой измерители или измерители сужения потока. Устройства, используемые, чтобы преградить поток, включают *диафрагму*, *Трубку Вентури*, *расходомерное сопло*, и *расходомерную трубку Dall*, как поясняющийся на рисунке 16.3. Когда такое ограничение устанавливается в трубе, скорости жидкости через увеличения сужения и

⁴² Alan S. Morris, Reza Langari. Measurement and instrumentation : theory and application. –pp430

падения давления. Коэффициент объемного расхода - тогда член пропорции к квадратному корню перепада давления через преграду. Способ, которым измеряется этот перепад давления, важен. Измерение этих двух давлений с различными инструментами и вычисляя разность между этими двумя измерениями не является удовлетворительным из-за большой измерительной погрешности, которая может возникнуть, когда перепад давления - малая величина, как объяснено в Главе 3. Поэтому, нормальная процедура должна использовать преобразователь перепада давления, который обычно является типовым диафрагмой устройством.

Приемник статического давления трубки Пито - другое устройство, которое измеряет поток, создавая перепад давления в пределах несущей жидкости трубы. Однако, в этом случае, есть незначительная преграда потока в трубе. Трубка Пито - очень тонкая труба, которая преграждает только небольшую часть плавной жидкости и таким образом измеряет поток в одноточечном через поперечный разрез трубы. Это измерение



Устройства преграды: (a) диафрагма, (b) Вентури, (c) расходомерное сопло, и (d) расходомерная трубка Dall

Это измерение только приравнивает, чтобы составить в среднем скорость потока в трубе для случая равномерного потока. *annubar* - тип многопортовой трубки Пито, которая измеряет средний поток через поперечный разрез трубы, формируя среднее значение нескольких локальных измерений расхода жидкости через поперечный разрез трубы. Все приложения этого метода измерения расхода жидкости принимают ламинарное течение, гарантируя, что восходящий поток условий потока устройства преграды находится в установившемся состоянии; определенная минимальная длина фракции прямой гонки трубы перед точкой измерения расхода жидкости определяется, чтобы достигнуть этого. Минимальные длины, требуемые для различных диаметров трубы, определяются в столах стандартов. Однако, полезное эмпирическое правило, широко используемое в перерабатывающих отраслях промышленности, должно определить длину 10 раз диаметра трубы. Если материальные сужения делают это невозможным достигнуть, специальные выравнивающие поток лопасти могут быть сразу вставлены перед измерительной точкой.

Инструменты типа сужения потока популярны, потому что они не имеют никаких подвижных частей и являются поэтому жесткими, достоверными, и легкими сохранить. Однако, один существенный недостаток этого метода - то, что преграда вызывает постоянное падение давления в плавной жидкости. Величина и следовательно значение этой потери зависит от типа используемого элемента преграды, но где потеря давления является большой, иногда необходимо восстанавливать потерянное давление вспомогательным насосом далее вниз линия тока. Этот класс устройства не является обычно соответствующим для того, чтобы измерить поток жидких растворов, поскольку нарезания резьбы метчиком в трубу, чтобы измерить перепад давления являются склонными к засорению, хотя Трубка Вентури может использоваться, чтобы измерить поток разбавленных жидких растворов⁴³.

Рисунок 16.4 поясняет приблизительно путь, которым прерывается спектр обтекания, когда диафрагма вставляется в трубу. Другие устройства преграды также имеют подобный эффект к этому, хотя величина потери давления более мала. Особенно интересный факт, что минимальная площадь поперечного сечения потока происходит не в пределах преграды, а в точке вниз по течению там. Знание модели прижимной вариации вдоль трубы, как показано на рисунке 16.5, также важно в использовании этого метода измерения скорости потока объема. Это показывает, что точка минимального давления совпадает с точкой минимального потока сечения небольшой способ вниз по течению преграды. Рисунок 16.5 также показывает, что есть малое возвышение давление сразу перед преградой.

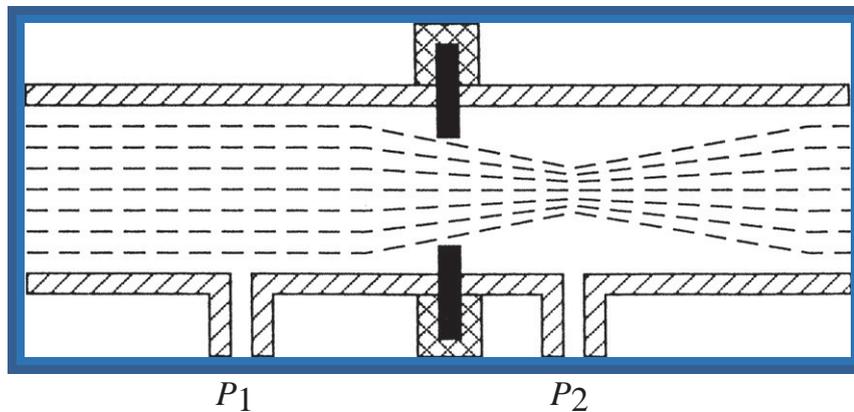
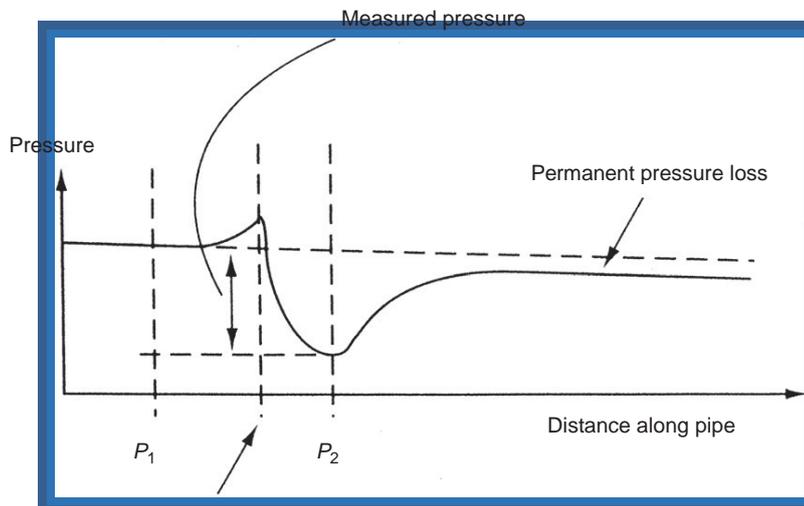


Figure 16.4
Профиль потока через диафрагму.

⁴³ Alan S. Morris, Reza Langari. Measurement and instrumentation : theory and application. –pp431



Модель прижимной вариации любая сторона диафрагмы..

Поэтому важно не только поместить инструмент, измеряющий P_2 точно в точке минимального давления, но также и измерить прижимной P_1 в восходящем потоке точки точки, где давление запускает возвышаться перед преградой.

В отсутствие любых механизмов теплопередачи, и невязкого течения принятия несжимаемой жидкости через трубу, теоретическим коэффициентом объемного расхода жидкости, Q , дают

$$Q = \left[\frac{A_2}{\sqrt{1 - (A_2/A_1)^2}} \right] \left[\sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho}} \right], \quad (16.1)$$

где A_1 и P_1 - площадь поперечного сечения и давление потока жидкости перед преградой, A_2 и P_2 - площадь поперечного сечения и давление потока жидкости в самой узкой точке потока вне преграды, и ρ - жидкая плотность.

Уравнение (16.1) никогда не полностью применимо практически по двум главным причинам. Во-первых, потоку всегда препятствует сила трения, которая изменяется согласно типу жидкости и ее скорости и определяется количественно константой, известной как Число рейнольдса. Во-вторых, поперечное область потока жидкости перед устройством преграды - меньше чем диаметр трубы, несущей это, и минимальной площади поперечного сечения жидкости после того, как преграда - меньше чем диаметр преграды. Эта последняя задача означает, что ни A_1 , ни A_2 не могут быть измерены точно. К счастью, снабженный труба гладка, и поэтому сила трения - малая величина, эти две задачи могут быть учтены соответственно, применяя константу, названную коэффициентом расхода. Это модифицирует **Уравнение (16.1)** к следующему:

$$Q = \left[\frac{C_D A_2'}{\sqrt{1 - (A_2'/A_1')^2}} \right] \left[\sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho}} \right], \quad (16.2)$$

где A_1' и A_2' - фактические диаметры трубы прежде и в преграде, и C_D - коэффициент расхода, который исправляет для силы трения и разности между трубой и диаметрами сечения потока.

Прежде, чем [Уравнение \(16.2\)](#) может быть оценено, коэффициент расхода должен быть вычислен. Поскольку это изменяется между каждым измерительным местоположением, казалось бы на первый взгляд, что коэффициент расхода должен быть определен практическим экспериментированием в каждом случае. Однако, при условии, что определенные условия соблюдаются, стандартные столы могут использоваться, чтобы получить величину коэффициента расхода, соответствующего диаметру трубы и завернутой жидкости.

Одна особенная задача со всеми устройствами сужения потока - то, что падение давления, $(P_1 - P_2)$, изменяется как площадь скорости потока Q согласно [Уравнению \(16.2\)](#). Трудность измерительных малых перепадов давления точно была уже замечена ранее. В следствии, методе является только соответствующим для измерительных скоростей потока, которые являются между 30 и 100 % максимальной скорости потока, с которой может обработать данное устройство. Это означает то переменное измерение расхода жидкости методы должны использоваться в приложениях, где скорость потока может измениться по большому спектру, который может спасть ниже 30 % максимального коэффициента.

Диафрагма

Диафрагма - металлический диск с концентрическим отверстием в этом, которое вставляется в трубу, несущую плавную жидкость. Диафрагмы просты, недороги, и доступны в широком диапазоне размеров. В следствии они учитывают почти 50 % инструментов, используемых в отрасли для измерительного коэффициента объемного расхода. Одно ограничение диафрагмы - то, что ее неточность обычно - по крайней мере $\pm 2\%$ и может приблизиться к $\pm 5\%$. Кроме того, постоянная потеря давления, вызванная во взвешенном потоке жидкости, между 50 и 90 % величины перепада давления, $(P_1 - P_2)$. Другие задачи с диафрагмой - постепенное изменение в коэффициенте расхода в течение времени, поскольку резкий край отверстия стирается и тенденция для любых материальных точек в плавной жидкости, чтобы застрять позади отверстия, таким образом понижая его диаметр постепенно, поскольку материальные точки растут. Последняя задача может быть минимизирована при использовании диафрагмы с эксцентриковым отверстием. Если это отверстие близко к основе трубы, твердых тел в плавная жидкость имеет тенденцию тралиться через, и наращивание материальных точек позади пластины минимизируется. Очень подобная задача возникает, если есть какие-либо пузыри пара или газа в плавной жидкости, когда жидкий поток завертывается. Они также имеют тенденцию

расти позади диафрагмы и искажать сетку фильтрации. Этой трудности можно избежать, монтируя диафрагму на вертикальном пробеге трубы⁴⁴.

Трубки Вентури и подобные устройства

Много устройств преграды доступны, которые особенно проектируются, чтобы минимизировать потерю давления во взвешенной жидкости. У них есть различные названия, такие как Вентури, расходомерное сопло, и расходомерная трубка Dall. Они все намного более дороги чем диафрагма, но имеют лучшие рабочие характеристики. Гладкая внутренняя форма означает, что они не являются склонными к твердым материальным точкам или пузырям газа, всовывающего преграду, как это, вероятно, произойдет в диафрагме. Гладкая форма также означает, что они переносят намного меньше износа и, следовательно, имеют более длинный срок службы чем диафрагмы. Они также требуют меньшего количества обслуживания и дают большую точность измерения.

Вентури: У Вентури есть спроектированная точностью труба специального шаблона. Это предлагает измерительную неопределенность только в $\pm 1\%$. Однако, комплексная механическая обработка, требуемая произвести это, означает, что это является самым дорогим из всех обсужденных устройств преграды. Постоянная потеря давления во взвешенной системе составляет 10-15 % перепада давления ($P_1 - P_2$) через это.

Расходомерная трубка Dall: составы расходомерной трубки Dall двух конических редукторов, вставленных в жидкость - несущий трубу. У этого есть очень подобная внутренняя форма к Вентури, за исключением того, что это отсутствия критическое сечение. Это строительство намного легче произвести, который дает расходомерную трубку Dall преимущество в стоимости по Вентури, хотя типичная измерительная неточность немного более высока ($\pm 1.5\%$). Другое преимущество расходомерной трубки Dall - свое более короткое, которое делает техническую задачу из вставки этого в линию тока легче. У трубы Dall есть одно дальнейшее операционное преимущество в этом, постоянная потеря давления, наложенная на взвешенную систему, составляет только приблизительно 5 % взвешенного перепада давления ($P_1 - P_2$).

Расходомерное сопло: Это сопло имеет более простое строительство все еще и поэтому менее дорого или чем Вентури или чем расходомерная трубка Dall, но потеря давления, наложенная на плавную жидкость, составляет 30-50 % взвешенного перепада давления ($P_1 - P_2$) через сопло.

Контрольные вопросы:

1. Название и обсуждает три различных видов инструментов, используемых для того, чтобы измерить коэффициент массового расхода материй (масса, текущая в единицу времени).
2. Инструменты имели обыкновение измерять коэффициент объемного расхода жидкостей (объем, текущий в единицу времени),

⁴⁴ Alan S. Morris, Reza Langari. Measurement and instrumentation : theory and application. –pp433

может быть разделен на многие различные типы. Объясните, что эти различные типы и обсуждают кратко как инструменты в каждой работе класса, используя эскизы инструментов как соответствующий.

3. Каков Кориолисов измеритель? Для чего это используется и как это работает?

4. Назовите четыре различных вида измерителей перепада давления. Обсудите кратко, как каждый работает, и объясните главные преимущества и недостатки каждого типа.

5. Объясните, как каждая из следующих работ и дает типичные приложения: ротаметр и вращательный поршневой измеритель.

Использованные литературы:

1. Alan S Morris, Reza Langari, Measurement and Instrumentation. Theory and application, 2012 640 p.
2. Bela G. liPtak, Process Software and Digital Networks, Fourth Edition CRC Press 2012. – 1130 p.
3. Yusupbekov N.R., Muxamedov B.I., G'ulomov Sh.M. Texnologik jarayonlarni nazorat qilish va avtomatlashtirish. –Toshkent: O'qituvchi, 2011. -576 b.

6-тема: Измерение уровня жидких и сыпучих материалов.

План

1. Виды уровнемеров.
2. Системы поплавка.
3. Гидростатические системы.
4. Емкостные устройства.
5. Ультразвуковой уровнемер.

Ключевые слова: уровень, уровнемер, поплавок, мерная линейка, гидростатический метод, ультразвуковой метод, дифманометрический уровнемер.

6.1 Виды уровнемеров

Измерение уровня требуется в широком диапазоне приложений и может завернуть измерение твердых тел в форме порошков или мелких частиц так же как жидкостей. В то время как некоторые приложения требуют, чтобы уровни были измерены в высокой степени точности, другие приложения только нуждаются в приблизительном указании уровня. Большое разнообразие инструментов доступно, чтобы удовлетворить эти отличающиеся потребности.

Простые устройства, такие как мерные линейки или системы поплавка относительно недороги. Хотя только предложение ограничивало точность измерения, они полностью достаточны для приложений и обнаруживают широкое использование. Много более высоких устройств точности также доступны для приложений, которые требуют лучшего уровня точности. Список устройств, широко используемых, которые предлагают хорошую точность измерения, включает прижимные измерительные приборы, емкостные устройства, ультразвуковые устройства, радарные устройства, и лучевые устройства. Много других устройств, используемых реже, также доступны. Все эти устройства обсуждаются более подробно в этой главе.

Мерные линейки

Мерные линейки предлагают простое средство измерения уровня жидкостей приблизительно. *Обыкновенная мерная линейка* - наименее дорогое доступное устройство. Это то, составы металлического бруска, на который а шкала гравирована, как показано на рисунке 17.1a. Брусок устанавливается в известном положении в жидкости - содержание судна. Измерение уровня делается, перемещая инструмент от судна и отсчитывая, как далеко шкала жидкость увлажнилась. Поскольку человеческий оператор обязан перемещать и читать мерную линейку, этот метод может только использоваться в относительно малых и мелких судах. Одно обычное использование находится в проверке остающегося количества пива в бочке пива⁴⁵.

Оптическая мерная линейка, поясняемая на рисунке 17.1b, является переменной формой, которая позволяет чтению быть полученным, не перемещая мерную линейку от судна и так применима к большим, более глубоким резервуарам. Свет из источника отражается от зеркала, распространяет скошенный конец мерная линейка, и входит в светоприемник после отражения вторым зеркалом. Когда скошенный конец

⁴⁵ Alan S. Morris, Reza Langari. Measurement and instrumentation : theory and application. –pp462

входит в контакт с жидкостью, ее внутренние фокальные свойства изменяются, и свет больше не входит в детектор. При использовании соответствующей механической системы приводов, чтобы переместить инструмент вверх и вниз и измерить его положение, может быть контролирован жидкий уровень.

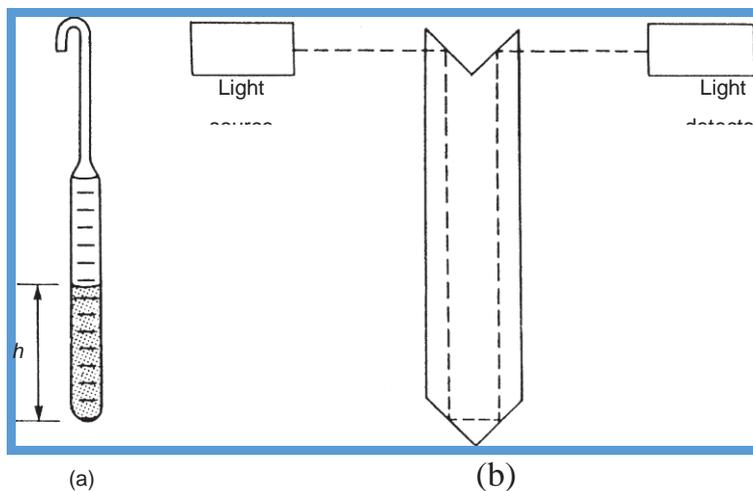


Figure 17.1 Dipsticks: (a) simple and (b) optical

6.2 Системы поплавка

Системы поплавка просты и недороги и снабжают переменный способ иметь размеры уровень жидкостей приблизительно, который широко используется. Системные составы поплавка на поверхности жидкости, положение которой измеряется посредством соответствующего преобразователя. У них есть типичная измерительная неточность $\pm 1\%$. Система, используя потенциаломер, показанный ранее на рисунке 2.2, очень распространена и известна за его приложение к контролю уровня в топливных баках автомашин. Переменную систему, которая используется в больших номерах, вызывают *масштабом поплавка-и-ленты* (или *уровнемер для резервуаров*). Этому прикрепляли ленту к поплавку, который распространяет шкив, расположенный вертикально выше поплавка. Другой конец ленты присоединен или к противовесу или к контррессоре отрицательного коэффициента. Количество вращения шкива, измеренного или синхронизатором или потенциаломером, является тогда членом пропорции к жидкому уровню. Эти две чрезвычайно механических системы измерения популярны во многих приложениях, но требования к обслуживанию их всегда высоки.

6.3 Гидростатические Системы

Прижимные измерительные приборы измеряют жидкий уровень с лучшей точностью и используют правило, что сбор гидростатического давления к жидкости прямо пропорционален к ее глубине и следовательно к уровню ее поверхности. Несколько инструментов доступны, которые используют это правило и широко используются во многих отраслях, особенно в грубых химических средах. В случае открыто-покрытых судов (или покрытые, которые продуваются к атмосфере), уровень может быть измерен, вставляя прижимной чувствительный элемент у основания судна, как показано на рисунке 17.2a. Жидкий уровень, h , тогда связывается со

взвешенным давлением, P , согласно $h=P/\rho g$, где ρ - жидкая плотность, и g ускоряющий сбор к тяжести. Один источник погрешности в этом методе может быть неточным знанием жидкой плотности. Это может быть особенной задачей в случае жидких растворов и смесей (особенно углеводороды), и в некоторых случаях только оценка плотности доступна. Даже с однородными жидкостями, плотность является подчиненной вариации с температурой, и поэтому температурное измерение может быть требовано, если очень точные измерения уровня необходимы.

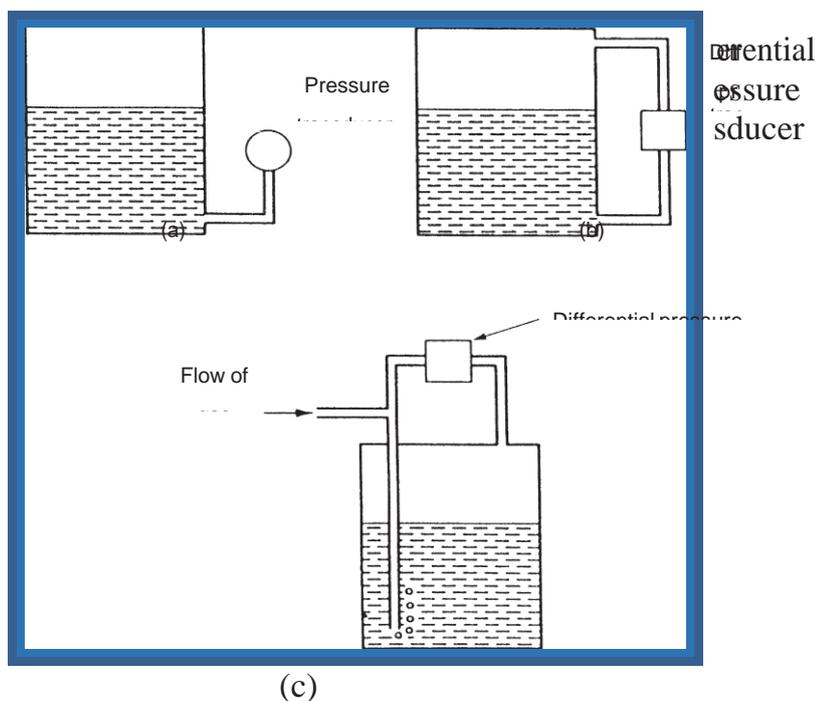


Figure 17.2 Hydrostatic systems: (a) open-topped vessel, (b) sealed vessel, and (c) bubbler unit.

Где содержащая жидкость суда полностью уплотняются, жидкий уровень может быть вычислен, измеряя перепад давления между вершиной и основой резервуара, как показано на рисунке 17.2b⁴⁶. Используемый преобразователь перепада давления обычно является стандартным типом диафрагмы, хотя кремний - основанные микрочувствительные элементы используются в увеличивании чисел. Жидкий уровень связывается с измеренным перепадом давления, разность потенциалов, согласно $h = dP/\rho g$. Те же самые комментарии что касается случая судна открытого типа применимы относительно неопределенности в величине ρ . Дополнительная задача, которая может произойти, является накоплением жидкости на стороне преобразователя перепада давления, измеряющего давление наверху судна. Это может возникнуть из-за температурных флуктуаций, которые позволяют жидкости поочередно испаряться от жидкой поверхности и затем конденсировать в нарезании резьбы метчиком давления наверху судна. Эффект этого на точности измерения

⁴⁶ Alan S. Morris, Reza Langari. Measurement and instrumentation : theory and application. –pp464

перепада давления серьезен, но задачи избегают легко, размещая резервуар дренажа в системе.

Конечная связанная с давлением система измерения уровня - *единица барботера*, показанная на рисунке 17.2с. Это использует гидравлический затвор, который достигает к основе резервуара и очищается свободный от жидкости установившимся течением газа через это. Расход корректируется, пока газовые пузырьки, как только не замечалось, появились из конца трубы. Давление в трубе, измеренной прижимным преобразователем, тогда равно жидкому давлению у основания резервуара. Важно, чтобы используемый газ был инертен относительно жидкости в судне. Азот, или иногда только проветривают, является соответствующим в большинстве случаев. Расход газа низок, и цилиндр азота может обычно длиться 6 месяцев. Этот метод является соответствующим для того, чтобы измерить жидкое давление и у основания открытых и у основания запечатанных баков. Это особенно выгодно в уходе от большой задачи обслуживания, присоединенной с утечками у основания резервуаров в местонахождении прижимных нарезаний резьбы метчиком, требуемых альтернативными методами.

Измерительная неопределенность изменяется согласно приложению и условию взвешенного материала. Типичная величина составила бы $\pm 0.5\%$ натурального чтения, хотя $\pm 0.1\%$ могут быть достигнуты при некоторых обстоятельствах.

6.4 Емкостные Устройства

Емкостные устройства широко используются для того, чтобы измерить уровень и жидкостей и твердых тел в порошковой или гранулированной форме. Они выполняют хорошо во многих приложениях, но становятся неточными, если взвешенная материя является склонной к загрязнению средствами, которые изменяют диэлектрическую постоянную. Вход влажности в порошки - один такой пример этого. Они являются также соответствующими для использования в крайних условиях измерительные жидкие металлы (высокие температуры), сжиженные газы (низкие температуры), коррозионные жидкости (кислоты, и т.д.), и высоконапорные процессы. Две версии используемый согласно тому, проводит ли взвешенная материя или нет. Для непроводящих материй (меньше чем 0.1 mhmho/cm^3), две голо-металлических обкладки конденсатора в форме концентрических цилиндров поглощаются в материю, как показано на рисунке 17.3. Материя ведет себя как диэлектрик между пластинами согласно глубине материи. Для концентрических цилиндрических пластин радиуса a и b ($b > a$), и общая высота L , глубина материи, h , связывается со взвешенной емкостью, C ,

$$h = \frac{C \log_e(b/a) - 2\pi\epsilon_0}{2\pi\epsilon_0(\epsilon - 1)} \quad (17.1)$$

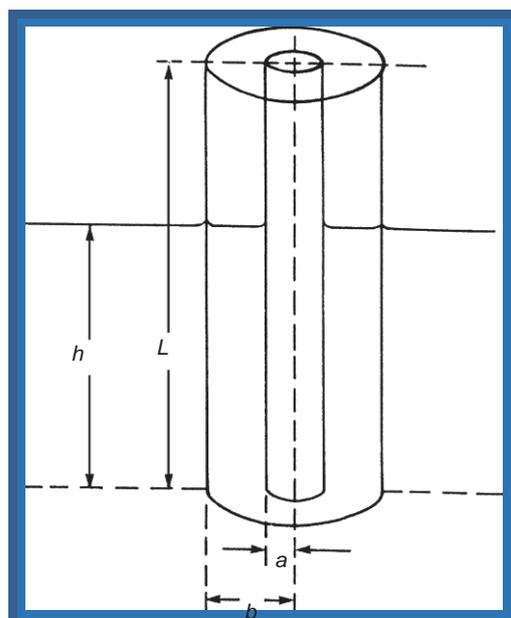


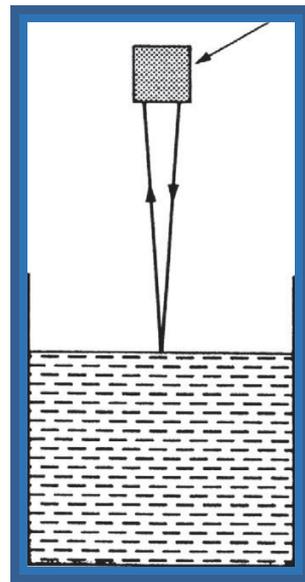
Figure 17.3
Capacitive level sensor.

где ϵ - относительная диэлектрическая постоянная взвешенной материи, и ϵ_0 - диэлектрическая постоянная свободного пространства. В случае проведения материй точно применяются те же самые техники измерений, но обкладки конденсатора герметизируются в изолирующем материале. Зависимость между C и h в [Уравнении \(17.1\)](#) тогда должна модифицироваться, чтобы учесть диэлектрический эффект изолятора. Измерительная неопределенность обычно - 1-2 %.

6.5 Ультразвуковой Уровнемер

Ультразвуковое измерение уровня - один из многих бесконтактных доступных методов. Это используется прежде всего, чтобы измерить уровень материалов, которые являются или в очень вязкой жидкой форме или в твердом теле (порошок или гранулированы) форма⁴⁷. Правило ультразвукового уровнемера - та энергия из ультразвукового источника выше материала отражается назад от материальной поверхности в ультразвуковой энергетический детектор, как поясняющийся на рисунке [17.4](#).

⁴⁷ Alan S. Morris, Reza Langari. Measurement and instrumentation : theory and application. –pp465



Ultrasonic
transmitter-
receiver

Figure 17.4
Ultrasonic level gauge.

Измерение времени рейса позволяет уровню материальной поверхности быть выведенным. В переменных версиях (только справедливый для жидкостей), ультразвуковой источник размещается у основания судна, содержащего жидкость, и время рейса между испусканием, отражения от жидкой поверхности, и обнаружение назад у основания судна измеряется.

Ультразвуковые методы особенно полезны в измерении положения поверхности раздела между двумя несмешивающимися жидкостями, содержащими в том же самом судне или измерении промывочного раствора, смешанного с разбуренной породой, или осаждают уровень у основания заполненного жидкостью резервуара. В любом случае используемый метод должен установить ультразвуковой преобразователь приемопередатчика на известной высоте в верхней жидкости, как показано на рисунке 17.5. Это устанавливает уровень уровня жидкости/жидкости или жидкости/промывочного раствора, смешанной с разбуренной породой в постоянных членах. При использовании ультразвуковых инструментов важно, что присущая компенсация делается для рабочей температуры, если это отличается от градуировочной температуры, поскольку скорость ультразвука через воздух меняется в зависимости от температуры (см. Главу 13). У скорости ультразвука также есть малая чувствительность к влажности давление воздуха, и концентрация двуокиси углерода, но эти коэффициенты обычно незначительны. Температурная компенсация может быть достигнута двумя способами. Во-первых, работа температура может быть измерена, и соответствующее исправление делается. Во-вторых, и предпочтительно, метод сравнения может использоваться, в котором система калибруется каждый раз, когда это используется, измеряя время прохождения ультразвуковой энергии между двумя известными опорными точками. Это

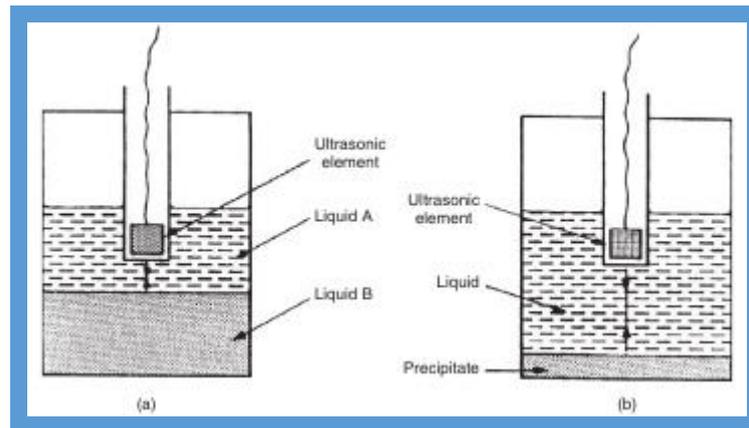


Рис 17.5

Измерение граничных положений: (а) жидкая/жидкая поверхность раздела и (b) поверхность раздела жидкости/осадка.

второй метод принимает во внимание влажность, давление, и вариации концентрации двуокиси углерода так же как снабжающую температурную компенсацию. С соответствующей заботой измерительную неопределенность можно понизить приблизительно к $\pm 1\%$.

Радар (Радиовидение) Чувствительные элементы

Измерительные приборы уровня используя микроволновый радар являются переменным методом для бесконтактное измерение. В настоящий момент, они все еще очень дороги (\$5000), но цены падают, и использование расширяется быстро. Они в состоянии снабдить успешное измерение уровня в приложениях, которые являются иначе очень трудными, такими как измерение в закрытых резервуарах, где жидкость турбулентна, и в присутствии преград и парового конденсата. Они могут также использоваться для того, чтобы обнаружить поверхность твердых тел в порошковой или корпускулярной форме. Метод завертывает направление постоянной амплитуды, частотно-модулированного микроволнового сигнала в жидкой поверхности. Получатель измеряет сдвиг фаз между отраженным сигналом и первоначальный сигнал, переданный прямо через воздух к этому, как показано на рисунке 17.6. Этот взвешенный сдвиг фаз линейно пропорционален жидкому уровню. Система подобна в принципе ультразвуковому измерению уровня, но имеет важное преимущество, что время передачи радара через воздух почти полностью незатронуто температурой окружающей среды и колебаниями давления⁴⁸. Однако, как микроволновая частота в пределах зоны, используемой для радиосвязи, строгие условия на амплитудных уровнях должны быть удовлетворены, и соответствующие лицензии должны быть получены.

⁴⁸ Alan S. Morris, Reza Langari. Measurement and instrumentation : theory and application. –pp467

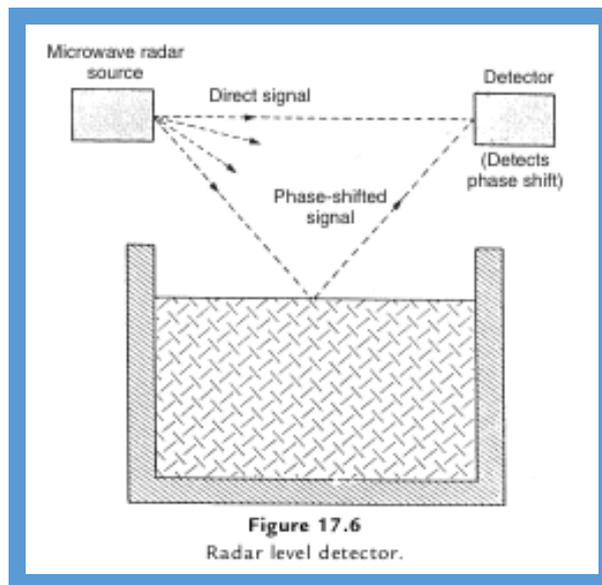


Figure 17.6 Radar level detector.

Краткие выводы

Мы видели, что чувствительные элементы уровня могут использоваться, чтобы измерить положение поверхности в пределах некоторого типа контейнера и твердых материалов в форме порошков и жидкостей. Мы смотрели на различные типы чувствительных элементов уровня, после которых мы рассматривали, как различные формы доступных чувствительных элементов уровня могли быть калиброваны.

Одно очень важное наблюдение, сделанное в начале нашего обсуждения, состояло в том, что требования точности во время измерения уровня значительно различаются, который имеет важный эффект на тип чувствительного элемента, используемого в любом данном местоположении и соответствующих градуировочных требованиях. Например, если нулевой горизонт жидкости в пределах резервуара, используемого для того, чтобы охладить цели в производственном процессе, контролируется, только очень приблизительное измерение уровня необходимо, чтобы позволить прогноз о том, какой длины это будет прежде, чем резервуар нуждается в дополнении. Однако, если уровень жидкости потребительского товара в пределах контейнера контролируется во время заполняющегося процесса, высокая точность требуется в измерительном процессе.

Где только приближаются, измерения жидкого уровня необходимы, мы видели, что мерные линейки снабжают соответствующий, дешевый метод измерения, хотя они требуют человеческого оператора и так не могут использоваться в качестве части автоматической системы регулирования уровня. Системы поплавка также у относительно дешевых инструментов и есть электрическая форма выхода, который может использоваться в качестве части автоматической системы регулирования уровня, хотя точность немного лучше чем та из мерных линеек.

Наше обсуждение, тогда перейденное к чувствительным элементам, которые снабжают большую точность измерения. Сначала среди них были

гидростатические системы. Они широко используются во многих отраслях для того, чтобы измерить жидкий уровень, особенно в грубых химических средах. Измерительная неопределенность обычно - приблизительно ± 0.5 % натурального чтения, хотя это можно понизить к ± 0.1 % в лучших гидростатических системах. Поскольку точное знание жидкой плотности важно в работе гидростатических систем, серьезные измерительные погрешности могут произойти, если эти системы используются, чтобы измерить уровень смесей жидкостей, как плотность таких смесей редко известна достаточной степени точности.

Переходя, чтобы смотреть на емкостные чувствительные элементы уровня, мы заметили, что они широко использовались для того, чтобы измерить уровень и жидкостей и твердых тел в порошковой или гранулированной форме, с типичной измерительной неопределенностью в 1-2 %. Они особенно полезны для измерения уровня трудных материалов, таких как жидкие металлы (высокие температуры), сжиженные газы (низкие температуры), и коррозионные жидкости (кислоты, и т.д.). Однако, они становятся неточными, если взвешенная материя является склонной к загрязнению средствами, которые изменяют диэлектрическую постоянную.

Затем на списке изученных устройств был ультразвуковой чувствительный элемент уровня. Мы замечали, что это - один из многих бесконтактных доступных методов. Это используется прежде всего, чтобы измерить уровень материалов, которые являются или в очень вязкой жидкой форме или в твердом теле (порошок или гранулированы) форма. Мы также заметили, что это особенно полезно для измерения положения поверхности раздела между двумя несмешивающимися жидкостями, содержащими в том же самом судне, и также для того, чтобы измерить промывочный раствор, смешанный с разбуренной породой или уровень осадка у основания заполненного жидкостью резервуара. Самая низкая измерительная достижимая неопределенность составляет ± 1 %, но увеличение погрешностей, если система не калибруется должным образом, особенно относительно температуры окружающей среды из-за изменений в скорости ультразвука, которые происходят когда температурные изменения.

Обсуждение, тогда перейденное к радарным чувствительным элементам, другой бесконтактной технике измерений. Мы видели, что это, хотя очень дорогой, метод снабжало метод для того, чтобы измерить уровень в условиях, которые являются слишком трудными для большинства других форм чувствительных элементов уровня. Такие условия включают измерение в закрытые резервуары, где жидкость турбулентна, и в присутствии преград и парового конденсата. Как ультразвуковые чувствительные элементы, они могут также измерить уровень твердых тел в порошковой или гранулированной форме⁴⁹.

Мы тогда смотрели на нуклонные чувствительные элементы. Они снабжают еще одни средства бесконтактного измерения уровня, которое обнаруживает приложения ниши в измерении уровня горячих, расплавленных металлов и также в измерении уровня порошковых или гранулированных твердых тел. Однако, кроме высокой стоимости нуклонных чувствительных

⁴⁹ Alan S. Morris, Reza Langari. Measurement and instrumentation : theory and application. –pp469

элементов, необходимо прилипнуть к очень строгим правилам техники безопасности при использовании таких чувствительных элементов.

Тогда смотря кратко на два других менее общих чувствительных элемента уровня, а именно, вибрирующий чувствительный элемент уровня и основанные на лазере чувствительные элементы, мы продолжали делать краткие комментарии об интеллектуальных чувствительных элементах уровня. Мы замечали, что большинство типов обсужденных чувствительных элементов уровня было теперь доступно в интеллектуальной форме, которая заключила измерительные величины неопределенности в кавычки вниз к $\pm 0.05\%$.

Конечный предмет, покрытый в этой главе, был предметом калибровки чувствительного элемента уровня. Мы замечали, что устройства, такие как простая мерная линейка могли использоваться, чтобы калибровать чувствительные элементы, которые только были обязаны снабжать приблизительные измерения уровня. Однако, для более точной калибровки, мы заметили, что было обычно использовать калиброванный резервуар, в котором количества жидкости были прибавлены, измеренные или в развес или по объему, чтобы создать ряд точек калибровки. Мы пришли к заключению, что большая точность могла быть достигнута в точках калибровки, если бы каждое количество жидкости было взвешено, а не измерено с объемными критериями. Мы также замечали, что вода была наименее дорогой жидкостью, чтобы использовать в градуировочном резервуаре, но заметила, что было необходимо использовать ту же самую жидкость как обычно измерено для определенных чувствительных элементов.

Контрольные вопросы:

1. Как мерные линейки и системы поплавка работают и каковы их преимущества и недостатки в жидком измерении уровня?
2. Эскиз три различных видов гидростатических систем измерения уровня. Обсудите кратко режим работы и приложения каждого.
3. Обсудите режим работы следующего, используя эскиз, чтобы помочь Вашему обсуждению как соответствующему: емкостный чувствительный элемент уровня и ультразвуковой чувствительный элемент уровня.
4. Каковы достоинства микроволновых и радиометрических чувствительных элементов уровня? Обсудите, как каждое из этих устройств работает.
5. Что главное состоит в том, чтобы рассмотреть, выбирая жидкий чувствительный элемент уровня для особенного приложения? Какие типы устройств Вы могли использовать для приложения, которое требовало (a) низкой точности измерения, (b) высокая точность измерения, где контакт между чувствительным элементом и взвешенной жидкостью является приемлемым, или (c) высокая точность измерения, где не должно быть никакого контакта между чувствительным элементом и взвешенной жидкостью?

6. Обсудите амплитуду устройств, квалифицированных измерять уровень материала поверхности твердого тела в порошковой форме, содержащей в пределах загрузочного лотка.
7. Какие процедуры Вы могли использовать, чтобы калибровать чувствительный элемент, который только обязан снабжать приблизительные измерения жидкого уровня?
8. Что лучшая градуировочная процедура должна использовать для чувствительных элементов, требуемых дать высокую точность в измерении уровня?

Использованные литературы:

1. Alan S Morris, Reza Langari, Measurement and Instrumentation. Theory and application, 2012 640 p.
2. Bela G. liPtak, Process Software and Digital Networks, Fourth Edition CRC Press 2012. – 1130 p.
3. Yusupbekov N.R., Muxamedov B.I., G'ulomov Sh.M. Texnologik jarayonlarni nazorat qilish va avtomatlashtirish. –Toshkent: O'qituvchi, 2011. -576 b.

IV. МАТЕРИАЛЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

1-практическое занятие : Измерительная погрешность

Цель работы: Решить задачи по расчетам измерительных погрешностей, погрешности измерительных приборов. Определяются абсолютные, относительные погрешности измерения.

Постановка задач:

Пример 1

У манометра с пределом измерений 0-10 бар есть заключенная в кавычки неточность $\% \pm 1.0 \text{ f.s.}$ ($\% \pm 1$ полной шкалы). (a), Что максимальная измерительная погрешность ожидается для этого инструмента? (b), Что является вероятной измерительной погрешностью, выраженной как процент от выхода чтение, если этот манометр измеряет давление 1 бар?

Решение

(a) Предельная ошибка, ожидаемая в любом измерительном чтении, составляет 1.0 % натурального чтение, которое является 10 бар для этого особенного инструмента. Следовательно, максимальная вероятная погрешность составляет $1.0 \% \times 10 \text{ бар} = 0.1 \text{ бар}$. (b) Максимальная измерительная погрешность - постоянная величина, связанная с полной шкалы инструмента, независимо от величины количества, что прибор фактически имеет размеры. В этом случае, как решено ранее, величина погрешности - 0.1 бар. Таким образом, измеряя давление 1 бар, максимальный возможная погрешность 0.1 бар составляет 10 % измерительной величины⁵⁰.

Пример 2

Пакет сопротивлений, купленных в магазине узла электроники, дает номинальную величину сопротивления как 1000 Ом и производственный допуск как $\pm 5\%$. Если одно сопротивление выбирается наугад из пакета, какова минимальная и максимальная величина сопротивления, которую, вероятно, будет иметь это особенное сопротивление?

Решение

Минимальная вероятная величина - $1000 \text{ Ом} - 5 \% = 950 \text{ Ом}$.
Максимальная вероятная величина - $1000 \text{ Ом} + 5 \% = 1050 \text{ Ом}$.

Пример 3

⁵⁰ Alan S. Morris, Reza Langari. Measurement and instrumentation : theory and application. –pp54

Следующие величины сопротивления платинового термометра сопротивления были измерены в пределах колебания температур. Определите измерительную чувствительность инструмента в $\text{ohms}/^{\circ}\text{C}$.

Сопротивление (V)	Температура ($^{\circ}\text{C}$)
307	200
314	230
321	260
328	290

Решение

Если эти величины составляются план на диаграмме, прямолинейная зависимость между изменением сопротивления и изменением температуры очевидна.

Для разнообразия в температуре 30°C , изменение в сопротивлении - 7 Ом. Следовательно измерительная чувствительность = $7/30 = 0.233 \text{ Ом}/^{\circ}\text{C}$.

Пример 4

Следующая таблица показывает измерения выхода вольтметра под двумя наборами условий:

- (a) Используйте в среде, сохраненной в 20°C , который является температурой, в которой это было калибровано.
- (b) Используйте в среде при температуре 50°C .

напряжение при градуировочной температуре 20°C (принятый корректный)	напряжение в температуре 50°C
10.2	10.5
20.3	20.6
30.7	40.0
40.8	50.1

Определите сдвиг нуля, когда он используется в 50°C среда, предполагая что измерение оценивает, когда оно использовалось в 20°C , среда корректна. Также вычислите коэффициент сдвига нуля.

Решение

Сдвиг нуля при температуре 50°C является постоянной разностью между парами чтения выхода, то есть, 0.3 вольта. Коэффициент сдвига нуля - величина дрейфа (0.3 вольта), разделенные на величину из изменения температуры, вызывающего дрейф (30°C). Таким образом коэффициент сдвига нуля - $0.3/30 = 0.01 \text{ volts}/^{\circ}\text{C}$.

Пример 5

Пружинные весы калибруются в среде при температуре 20°C и имеют следующее отклонение/динамическую характеристику:

Груз (кг)	0	1	2
3			
Отклонение (MMS)	0	20	40
60			

Это тогда используется в среде при температуре 30°C, и следующее отклонение /

динамическая характеристика измеряется:

Груз (кг)	0	1	2
3			
Отклонение (MMS)	5	27	49
71			

Определите сдвиг нуля и изменение чувствительности на °C изменение в температуре окружающей среды.

Решение

В 20°C, отклонение/динамическая характеристика - прямая линия. Чувствительность = 20 MMS/кг. В 30°C, отклонение/динамическая характеристика - все еще прямая линия. Чувствительность = 22 MMS/кг. Сдвиг нуля (смещение) = 5 MMS (холостое отклонение) Изменение чувствительности = Сдвига нуля на 2 MMS/кг/°C = 5/10 = 0.5 mm/°C Изменения чувствительности/1C = 2/10 = 0.2 (MMS/кг)/°C

Пример 6

Воздушный шар оборудуется температурой - и высотные измерительные приборы и имеет радиоаппаратуру, которая может передать чтение выхода этих инструментов назад к основанию. Воздушный шар первоначально ставится на якорь к основанию с чтением выхода инструмента в установившемся состоянии. Высотный измерительный прибор - приблизительно нулевой порядок, и температурный преобразователь - первый порядок с постоянной времени 15 секунд. Температура на основании, T_0 , 10°C, и температурному T_x в высоте x измерителей дает соотношение: $T_x = T_0 - 0.01x$. (a), Если воздушный шар выпускается в начале отсчета времени, и после того возвышается вверх в скорости 5 измерителей / второй, тяните стол, показывая, что измерения температуры и высоты сообщали с промежутками в 10 секунд за первые 50 секунд путешествия. Покажите также в столе погрешность в каждом температурном чтении. (b) Какая температура воздушный шар является в высоту 5000 метр?

n

Решение

Чтобы ответить на этот вопрос, предполагается, что решение высокоточного дифференциального уравнения был представлен считывателю в курсе математики. Если считыватель не будет столь снабжен, то за следующим решением будет трудно следовать⁵¹.

⁵¹ Alan S. Morris, Reza Langari. Measurement and instrumentation : theory and application. –pp30

Пустите температуре, о которой сообщает воздушный шар в некоторое общее время t быть Концерном Затем, T_x связывается с T_r соотношением:

$$T_r = \frac{T_x}{1 + \tau D} = \frac{T_c - 0.01x}{1 + \tau D} = \frac{10 - 0.01x}{1 + 15D}$$

Это, учитывая, что $x = 5t$, таким образом

$$T_r = \frac{10 - 0.05t}{1 + 15D}$$

Кратковременная или дополнительная часть функции решения ($T_x = 0$) дается

$T_{r_c} = Ce^{-t/15}$ Часть определенного интеграла решения дается
 $T_{r_p} = 10 - 0.05(t - 15)$ Таким образом, целый решение дается
 $T_r = T_{r_c} + T_{r_p} = Ce^{-t/15} + 10 - 0.05(t - 15)$

Применение начальных условий: В $t = 0$, $T_r = 10$, то есть, $10 = Ce^{-0} + 10 - 0.05(-15)$ Таким образом $C = -0.75$ и решение могут быть записаны как $T_r = 10 - 0.75e^{-t/15} - 0.05(t - 15)$

Используя вышеупомянутое выражение, чтобы вычислить T_r для различных величин t , может быть создан следующий таблица:

Время	Высота	Температурное показание	Температурная погрешность
0	0	10	0
10	50	9.86	0.36
20	100	9.55	0.55
30	150	9.15	0.65
40	200	8.70	0.70
50	250	8.22	0.72

(с) При 5000 m, $t = 1000$ секунд. Вычисление T_r от вышеупомянутого выражения:

$$T_r = 10 - 0.75 e^{-1000/15} - 0.05(1000 - 15):$$

Экспоненциальный член аппроксимирует обнулять и таким образом, T_r может быть записан как

$$T_r \approx 10 - 0.05(985) = -39.25^\circ\text{C}$$

Этот результат, возможно, был выведен из таблицы, приведенного ранее, где можно заметить, что погрешность сходится к величине 0.75.

Для больших величин t чтение преобразователя отстает истинная температурная величина к промежутку времени, равному постоянной времени 15 секунд. В это время воздушный шар путешествует на расстояние 75 метр и температурные падения 0.750. Таким образом для больших величин t , чтение выхода всегда - 0.750 меньше, чем это должно быть.

7 Задачи

2.1. Кратко объясните четыре пути, которыми измерительные приборы могут быть подразделены в различные классы согласно их режиму работы, давая примеры инструментов, которые попадают в каждый класс.

2.2. Объясните, что предназначается

(a) активные инструменты

(b) пассивные инструменты

Привести примеры для каждого и обсуждать относительных достоинств этих двух классов инструментов.

2.3. Обсудите преимущества и недостатки нуля и типы отклонения измерительных приборов. Каковы пустые типы инструментов, главным образом, используемых для чего и почему?

2.4. Каковы различия между аналоговыми приборами и цифровыми измерительными приборами? Какие преимущества цифровые измерительные приборы имеют по аналоговым?

2.5. Объясните разность между статическими и динамическими характеристиками измерительных приборов.

2.6. Кратко определите и объясните все статические характеристики измерительных приборов.

2.7. Как точность инструмента, обычно определяемого? Какова разность между точностью и точностью?

2.8. Эскизы тяги, чтобы пояснить динамические характеристики следующего:

(a) инструмент нулевого порядка

(b) измерительный прибор первого класса точности

(c) инструмент второго порядка

В случае инструмента второго порядка, укажите эффект различных степеней затухания на реакции времени.

2.9. Государство кратко, как динамические характеристики инструмента воздействуют на его использование.

2.10. У вольфрамового термометра сопротивления с диапазоном измерения $-270 - 1100^{\circ}\text{C}$ имеется погрешность $\pm 1.5\%$ от полной шкалы. Какова вероятная измерительная погрешность, когда он показывает температуру 950°C ?

2.11. Партия стальных стержней производится к номинальной длине 5 метр с допущенной погрешностью $\pm 2\%$. какими являются самыми длинными и самым короткими из стержней, которых будет ожидать в партии?

2.12. То, каков предел измерений для микрометра, намеревалось измерять диаметры между 5.0 и 7.5 см?

2.13. $\%$ вольфрама/5 rhenium-tungsten/26 у термопары рения $\%$ есть

выход e.m.f. как показано в следующем столе, когда его горячее (измерительное) соединение при показанных температурах. Определите чувствительность измерения для термопары в $mV/0C$.

mV	4.37	8.74	13.11	17.48
$^{\circ}C$	250	500	750	1000

2.14. Определите изменение чувствительности и сдвиг нуля. Какие коэффициенты могут вызвать изменение чувствительности и сдвиг нуля в характеристиках инструмента?

2.15. (a) инструмент калибруется в среде при температуре $20^{\circ}C$, и следующее чтение выхода у получаются для различных входных величин x:

y	13.1	26.2	39.3	52.4	65.5	78.6
x	5	10	15	20	25	30

Определите измерительную чувствительность, выраженную как отношение y/x .

(b) Когда инструмент впоследствии используется в среде при температуре $50^{\circ}C$, характеристика ввода - вывода изменяется на следующее:

y	14.7	29.4	44.1	58.8	73.5	88.2
x	5	10	15	20	25	30

Определите новую измерительную чувствительность. Следовательно определите сбор изменения чувствительности к изменению в температуре окружающей среды $30^{\circ}C$.

2.16. Следующие температурные измерения были проведены с инфракрасным термометром тот произведенный смещенный измерительный сбор к инструменту, испытывающему недостаток калибровки. Вычислите смещение в измерениях.

Величины, измеренные некалиброванным инструментом ($^{\circ}C$)	Корректная величина температуры ($0C$)
20	21.5
35	36.5
50	51.5
65	66.5

2.17. Мессдоза калибруется в среде при температуре $21^{\circ}C$ и имеет следующее отклонение/динамическую характеристику:

Груз (кг)	0	50	100	150	200
Отклонение (мм)	0.0	1.0	2.0	3.0	4.0

Когда использующийся в среде в 35°C , ее характеристика изменяется на следующее:

Груз (кг)	0	50	100	150	200
Отклонение (MMS)	0.2	1.3	2.4	3.5	4.6

- (a) Определите чувствительность в 21 и 35°C .
 (b) Вычислите полный сдвиг нуля и изменение чувствительности в 35°C .
 (c) Следовательно определите сдвиг нуля и коэффициенты изменения чувствительности (в единицах $\text{мм}/^{\circ}\text{C}$ и $(\text{мм на кг}) / (^{\circ}\text{C})$).

2.18. Работающая без обслуживающего персонала субмарина оборудуется температурой - и измерительные приборы глубины и имеет радиоаппаратуру, которая может передать чтение выхода этих инструментов назад к поверхности. Субмарина первоначально плавает на поверхности моря с чтением выхода инструмента в установившемся состоянии. Измерение глубины инструмент - приблизительно нулевой порядок и температурный первый порядок преобразователя с постоянной времени 50 секунд. Водная температура на морской поверхности, T_0 , 20°C , и температурному T_x в глубине x метр дает соотношение:

$$T_x = T_0 - 0,01x$$

- (a) Если субмарина запускает нырять в начале отсчета времени, и после того теряет работоспособность в скорости 0.5 измерители / второй, тяните стол, показывая температуру, и измерения глубины сообщали с промежутками в 100 секунд за первые 500 секунд путешествия. Покажите также в столе погрешность в каждом показании температуры.

- (b) Какая температура субмарина является в глубину 1000 метр?

2.19. Запишите общее дифференциальное уравнение, описывающее динамическую характеристику измерительного прибора второго порядка, и формулируйте выражения, связывающие статическую чувствительность, незадемпфированную собственную частоту, и декремент затухания к параметрам в этом дифференциальном уравнении. Делайте набросок реакции инструмента для случаев тяжелого увлажнения, критического демпфирования, и легкого увлажнения и состояния, которое из них является обычной целью, когда инструмент второго порядка проектируется.

Пример 3.1

Предположите, что у узлов цепи, показанной на рисунке 3.1a, есть следующие величины:

$$R_1 = 400 \text{ Ом}; R_2 = 600 \text{ Ом}; R_3 = 1000 \text{ Ом}; R_4 = 500 \text{ Ом}; R_5 = 1000 \text{ Ом};$$

Напряжение через AB измеряется вольтметром, внутреннее сопротивление которого 9500 Ом. Что измерительная погрешность вызывается сопротивлением измерительного прибора?

Решение

Продолжение, применяя теорему Тевенина, чтобы обнаружить схему замещения к тому из рисунка 3.1a формы, показанной на рисунке 3.1b, и подставляя данный узел, оценивает в уравнение за R_{AB} (3.1), мы получаем

$$R_{AB} = \frac{[(1000^2/2000) + 500]1000}{(1000^2/2000) + 500 + 1000} = \frac{1000^2}{2000} = 500 \Omega.$$

От Уравнения (3.2), мы имеем

$$\frac{E_m}{E_o} = \frac{R_m}{R_{AB} + R_m}.$$

Измерительная погрешность дается ($E_o - E_m$):

$$E_o - E_m = E_o \left(1 - \frac{R_m}{R_{AB} + R_m} \right).$$

Замена в величинах:

$$E_o - E_m = E_o \left(1 - \frac{9500}{10,000} \right) = 0.95E_o.$$

Таким образом, погрешность во взвешенной величине составляет 5 %.

Пример 3.2

Частота переградуировки манометра с диапазоном от 0 до 10 бар устанавливается так, чтобы это было перекалибровано, как только измерительная погрешность выросла + 1 % от полной шкалы. Как его неточность может быть выражена в форме $\pm x$ погрешностей % в показания выхода?

Решение

Непосредственно перед тем, как инструмент - сбор для переградуировки, измерительная погрешность вырастит на + 0.1 бар (1 % из 10 бар). Количество половины этой предельной ошибки, то есть, 0.05 бар, должен быть вычтен из всех измерений. Сделав это, погрешность сразу после того, как прибор был калиброван, будут -0.05 бар (-0.5 % натурального чтения) и погрешность непосредственно перед тем, как следующая переградуировка будет + 0.05 бар (+ 0.5 % о полной шкалы). Сбор неточности к градуировочной погрешности может тогда быть выражен как ± 0.05 % полной шкалы⁵².

Пример 3.3

Три отдельных источника постоянной ошибки идентифицируются в

⁵² Alan S. Morris, Reza Langari. Measurement and instrumentation : theory and application. –pp55

системе измерения и, после сокращения величины этих погрешностей в максимально возможной степени, величины этих трех погрешностей, как оценивается,

- Системная нагрузка: $\pm 1.2 \%$:
- Изменений среды на 0.8%
- Градуировочная погрешность: 0.5%

Вычислите максимальную возможную полную постоянную ошибку и вероятную системную погрешность среднеквадратичным методом.

Решение

Максимальная возможная системная погрешность $\pm (1.2 + 0.8 + 0.5) \% = \pm 2.5 \%$, Применяющие среднеквадратичный метод,

$$\text{likely error} = \pm \sqrt{1.2^2 + 0.8^2 + 0.5^2} = \pm 1.53\%$$

Пример 3.4

Вычислите s , и V для измерения устанавливает А, В, и С, данный ранее.

Решение

Во-первых, тяните стол измерений, и девиации для набора (подразумевайте = 409 как вычислено ранее):

Measurement	409	406	402	407	405	404	407	404	407	407	408	
Deviation from mean	+2.5	-0.5	-4.5	+0.5	-1.5	-2.5	+0.5	-2.5	+0.5	+0.5	+1.5	
(deviations) ²	6.25	0.25	20.25	0.25	2.25	6.25	0.25	6.25	0.25	0.25	2.25	
Measurement	406	410	406	405	408	406	409	406	405	409	406	407
Deviation from mean	-0.5	+3.5	-0.5	-1.5	+1.5	-0.5	+2.5	-0.5	-1.5	+2.5	-0.5	+0.5
(deviations) ²	0.25	12.25	0.25	2.25	2.25	0.25	6.25	0.25	2.25	6.25	0.25	0.25

$P(\text{deviations}^2) = 1370$; $n = \text{номера измерений} = 11$.

Затем, от Уравнений (3.9) и (3.10), $V = P(\text{deviations}^2)/n - 1 = 1370/10 = 137$;

$s = 11.7$.

Измерения и девиации для набора В (подразумевайте = 406 как вычислено ранее):

Девиация от среднего значения

От этих данных, используя Уравнения (3.9) и (3.10), $V = 4.2$ и $s = 2.05$.

Измерения и девиации для набора С (подразумевайте = 406.5 как вычислено ранее):

Девиация от среднего значения

От этого данные, используя Уравнения (3.9) и (3.10), $V = 3.53$ и $s = 1.88$.

Контрольные вопросы:

1. В каких путях действие измерения может вызвать нарушение в измеряемой системе?
2. Объясните, что предназначается членом “модифицирующие входы”.
3. Объясните кратко, какие критерии могут быть приняты, чтобы понизить или устранить эффект изменения входов.

Использованные литературы:

1. Alan S Morris, Reza Langari, Measurement and Instrumentation. Theory and application, 2012 640 p.
2. Bela G. liPtak, Process Software and Digital Networks, Fourth Edition CRC Press 2012. – 1130 p.
3. Yusupbekov N.R., Muxamedov B.I., G’ulomov Sh.M. Texnologik jarayonlarni nazorat qilish va avtomatlashtirish. –Toshkent: O‘qituvchi, 2011. -576 b.

**2-практическое занятие:
Средства измерений температуры**

Цель задачи: Решить задачи по расчетам измерений температуры, рассчитать и выбор термометров, расчет погрешностей измерений температуры и расчёт термопреобразователей.

Постановка задач:

Пример 1

Если выход ЭДС, измеренный от термопары константана хромеля, составляет 14.419 мВ со ссылочным соединением в 0°C, соответствующая колонна в таблицах показывает, что это соответствует температуре горячего спая 200°C.

n

Пример 2

Если взвешенный выход ЭДС для термопары константана хромеля (ссылочное соединение в 0°C) составлял 10.65 мВ, необходимо выполнить линейную интерполяцию между температурой 160°C соответствие ЭДС 10.501 мВ, показанных в таблице и температура 170°C соответствие ЭДС 11.222 мВ. Эта процедура интерполяции дает обозначенную температуру горячего спая 162°C.

Пример 14.3

Предположите, что ссылочное соединение термопары константана хромеля сохраняется при температуре 80°C, и выход ЭДС измеренный составляет 40.102 мВ, когда горячий спай поглощается в жидкость.

Данными количествами является $T_r = 80^\circ\text{C}$ и $E(T_h, T_r) = 40.102$ мВ из таблицы, $E(T, T_r) = 4.983$ мВ

$r \quad 0$

Теперь применяя Уравнение (14.6), $E(T, T_r) = 40.102 + 4.983 = 45.085$ мВ

$h \quad 0$

Снова обращаясь к таблицам, это указывает температуру жидкости 600°C. В использовании термопар важно, что они соединяются правильно. Большие погрешности могут следовать, если они соединяются неправильно, например, чередуясь свинцы растяжения или при использовании неправильных удлинительных проводов. Такие ошибки особенно серьезны, потому что они не предотвращают своего рода получаемый выход, который может выглядеть разумным даже при том, что это неправильно, и таким образом, ошибка может остаться незамеченной в течение длительного периода времени. Следующие примеры поясняют виды погрешностей, которые могут возникнуть.

Пример 14.4

Этот пример - пример в использовании термоэлектрических таблиц, но это также служит, чтобы пояснить большие погрешности, которые могут возникнуть, если термопары используются неправильно. В особенном индустриальном местоположении термопара алюмеля хромеля с удлинительными проводами алюмеля хромеля используется, чтобы измерить температуру жидкости. В присоединении этой системы измерения ответственный инженер непреднамеренно чередовался удлинительные провода от термопары. Концы удлинительных проводов держатся при температуре 0°C , и выход ЭДС измеренный составляет 14.1 мВ. Если соединение между термопарой и проводами растяжения при температуре 40°C , какая температура жидкости обозначается и какова истинная температура жидкости?

Решение

Начальный шаг, необходимый в решении задачи этого типа, должен тянуть схематическое представление системы и маркировать на этом ЭДС источники, температуры, и т.д., как показано на рисунке 14.5. Первая часть задачи решается очень просто, ища в термоэлектрических таблицах, какую температуру ЭДС выход 12.1 мВ указывает для термопары алюмеля хромеля. Это 297.4°C . Затем, суммируя ЭДС вокруг петли:

$$V = 12:1 = E_1 + E_2 + E_3 \text{ или } E_1 = 12:1 - E_2 - E_3$$

$$E_2 = E_3 = \text{Emf}(\text{alumel-chromel}+40) = -\text{Emf}(\text{chromel-alumel}+40) = -1:611 \text{ mV}$$

Следовательно $E_1 = 12.1 + 1.611 + 1.611 = 15.322 \text{ mV}$.

Интерполируя от термоэлектрических столов, это указывает, что истинная температура жидкости 374.5°C ⁵³.

Пример.5

Этот пример также поясняет большие погрешности, которые могут возникнуть, если термопары используются неправильно. Термопара железного константана измерение температуры жидкости соединяется по ошибке со удлинительными проводами медного константана (так, что два провода константана соединяются вместе и медный провод растяжения, соединяется с железным проводом термопары). Если температура жидкости была фактически 200°C , и соединение между термопарой и удлинительными проводами было в 50°C , какой ЭДС будет измерен в открытых концах проводов растяжения, если ссылочное соединение будет сохранено в 0°C ? Какая жидкая температура была бы выведена из этого (предполагающий, что соединительная ошибка не была известна)?

⁵³ Alan S. Morris, Reza Langari. Measurement and instrumentation : theory and application. –pp356

Решение

Снова, начальный необходимый шаг должен тянуть схему, показывая соединения, температуры, и ЭДС, как показано на рисунке 14.6. Различные количества могут тогда быть вычислены:

$$E_2 = Emf(iron-copper)_{50}$$

Согласно закону промежуточных металлов:

$$Emf(iron-copper)_{50} = Emf(iron-constantan)_{50} - Emf(copper-constantan)_{50}$$

$$= 2.585 - 2.035 \text{ [from thermocouple tables]} = 0.55 \text{ mV}$$
$$E_1 = Emf(iron-constantan)_{200} = 10.777 \text{ [from thermocouple tables]}$$
$$V = E_1 - E_2 = 10.777 - 0.55 = 10.227$$

Используя столы и интерполирование, 10.227 мВ указывают температуру

$$\left(\frac{10.227 - 10.222}{10.777 - 10.222} \right) 10 + 190 = 190.1^\circ \text{C.}$$

Контрольные вопросы:

1. Обсудите кратко различные материальные правила, используемые в температурных измерительных приборах и примерах усадки инструментов, которые используют каждое из этих правил.
2. Объясните, что каждое следующее относительно термопар: (a) свинцы растяжения, (b) компенсационные провода, (c) закон промежуточных металлов, и (d) закон промежуточной температуры.
3. Какую термопару основного металла Вы рекомендовали бы для каждого из следующих приложений?
- 4 Почему термопары нуждаются в предохранении от некоторых сред и как это предохранение дается?

Использованные литературы:

1. Alan S Morris, Reza Langari, Measurement and Instrumentation. Theory and application, 2012 640 p.
2. Bela G. liPtak, Process Software and Digital Networks, Fourth Edition CRC Press 2012. – 1130 p.
3. Yusupbekov N.R., Muxamedov B.I., G'ulomov Sh.M. Texnologik jarayonlarni nazorat qilish va avtomatlashtirish. –Toshkent: O'qituvchi, 2011. -576 b.

3-практическое занятие: Средства измерений давления

Цель работы: рассчитать измерений абсолютного, избыточного и барометрического давления газов и жидкостей в технологических аппаратах, в трубопроводах.

Постановка задач:

Определите погрешность манометра с токовым выходным сигналом (0—5 мА) с пределами измерения 0—40 кгс/см², если при измерении давления 32 кгс/см² выходной сигнал составил $I_d=3,93$ мА.⁵⁴

Определите погрешность манометра с пневматическим выходным сигналом (0,2—1 кгс/см²) и пределом измерения 0—6 кгс/см², если при давлении 4,5 кгс/см² значение выходного сигнала составило 0,84 кгс/см².

Манометр, измеряющий давление пара, установлен на 5 м ниже точки отбора. Манометр показывает $p=50$ кгс/см², среднее значение температуры конденсата в импульсной линии $t=60^\circ$ С.

Определите действительное значение давления в паропроводе.

Инструменты имели обыкновение измерять коэффициент объемного расхода жидкостей (объем, текущий в единицу времени), может быть разделен на многие различные типы. Объясните, что эти различные типы и обсуждают кратко как инструменты в каждой работе класса, используя эскизы инструментов как соответствующий.

1. Название четыре различных видов измерителей перепада давления. Обсудите кратко, как каждый работает, и объясните главные преимущества и недостатки каждого типа.

2. Объясните, как каждая из следующих работ и дает типичные приложения: ротаметр и вращательный поршневой измеритель.

3. Обсудите режим работы и приложения каждого следующего: газотурбинный измеритель и теряющий вихрь расходомер.

4. Как делают каждую следующую работу и что является ими особенно полезный для: измеритель с затворами, реактивный измеритель, измеритель Турбины Пельтона, лазер Доплеровский расходомер, и тепловой анемометр.

5. Какие инструменты, специальное оборудование, и процедуры используются на калибровке расходомеров, используемых для того, чтобы измерить поток жидкостей?

Контрольные вопросы:

1. Каков Кориолисов измеритель? Для чего это используется и как это работает?
2. Как электромагнитный расходомер работает и для чего он обычно используется?

⁵⁴ Alan S. Morris, Reza Langari. Measurement and instrumentation : theory and application. –pp358

3. Каковы два главных типа ультразвуковых расходомеров? Обсудите режим работы каждого.
4. Каков расходомер открытого русла? Тяните эскиз одного и объясните, как это работает.

Использованные литературы:

1. Alan S Morris, Reza Langari, Measurement and Instrumentation. Theory and application, 2012 640 p.
2. Bela G. liPtak, Process Software and Digital Networks, Fourth Edition CRC Press 2012. – 1130 p.
3. Yusupbekov N.R., Muxamedov B.I., G'ulomov Sh.M. Texnologik jarayonlarni nazorat qilish va avtomatlashtirish. –Toshkent: O'qituvchi, 2011. -576 b.

4-практическое занятие: Измерение расхода жидкостей и газов

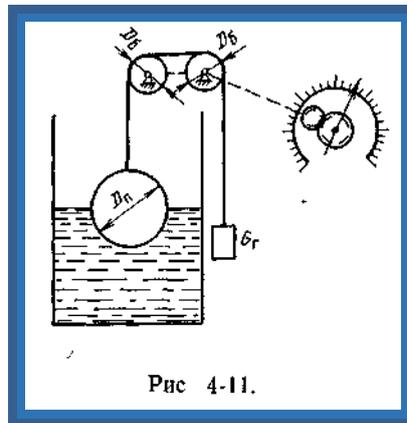
Цель работы: Решить задачи по расчетам измерений объемного и массового расхода газов и жидкостей в трубопроводах.

Постановка задач:

Уровень воды в открытой емкости измеряется дифманометром-уровнемером. Уровнемер градуировался при температуре воды в емкости и в импульсных трубках 30°C .

Изменятся ли показания уровнемера, если температура воды в емкости увеличилась до 90°C , а температура воды в импульсных линиях осталась 30°C .⁵⁵

В цилиндрическом вертикальном стальном резервуаре—хранилище диаметром 12 м и высотой 10 м находится керосин. При температуре 30°C высота уровня керосина составляет 8,5 м.



Изменятся ли показания гидростатического уровнемера и изменится ли действительный уровень керосина, если температура окружающего воздуха и резервуара вместе с керосином будет 0°C ?

По трубе диаметром $D = 100$ мм движется поток жидкости со средней скоростью $v_c = 1,5$ м/с.

Определите массовый расход жидкости, если ее плотность $\rho = 990$ кг/м³.

При установке диафрагмы в трубопроводе предполагалось, что номинальное значение расхода I среды составляет 230 т/ч, диафрагма была рассчитана на $Q_{\text{макс}} = 250$ т/ч, а дифманометр на $\Delta p_{\text{макс}} = 400$ кгс/м². Однако в процессе эксплуатации выяснилось, что расход среды будет равен 380 т/ч. Сменить диафрагму не представляется возможным.

Подберите дифманометр, с помощью которого можно было бы измерить расход 380 т/ч.

⁵⁵ Alan S. Morris, Reza Langari. Measurement and instrumentation : theory and application. –pp358

- 1 Эскиз три различных видов гидростатических систем измерения уровня. Обсудите кратко режим работы и приложения каждого.
3. Обсудите режим работы следующего, используя эскиз, чтобы помочь Вашему обсуждению как соответствующему: емкостный чувствительный элемент уровня и ультразвуковой чувствительный элемент уровня.
4. Каковы достоинства микроволновых и радиометрических чувствительных элементов уровня? Обсудите, как каждое из этих устройств работает.
5. Что главное состоит в том, чтобы рассмотреть, выбирая жидкий чувствительный элемент уровня для особенного приложения? Какие типы устройств Вы могли использовать для приложения, которое требовало (a) низкой точности измерения, (b) высокая точность измерения, где контакт между чувствительным элементом и взвешенной жидкостью является приемлемым, или (c) высокая точность измерения, где не должно быть никакого контакта между чувствительным элементом и взвешенной жидкостью?
6. Обсудите амплитуду устройств, квалифицированных измерять уровень материала поверхности твердого тела в порошковой форме, содержащей в пределах загрузочного лотка.
7. Какие процедуры Вы могли использовать, чтобы калибровать чувствительный элемент, который только обязан снабжать приблизительные измерения жидкого уровня?
8. Что лучшая градуировочная процедура должна использовать для чувствительных элементов, требуемых дать высокую точность в измерении уровня?

Контрольные вопросы:

1. Как мерные линейки и системы поплавка работают и каковы их преимущества и недостатки в жидком измерении уровня?
2. Как электромагнитный расходомер работает и для чего он обычно используется?
3. Обсудите режим работы и приложения каждого следующего: газотурбинный измеритель и теряющий вихрь расходомер.
4. Каковы два главных типа ультразвуковых расходомеров? Обсудите режим работы каждого.
5. Каков расходомер открытого русла? Тяните эскиз одного и объясните, как это работает.

Использованные литературы:

1. Alan S Morris, Reza Langari, Measurement and Instrumentation. Theory and application, 2012 640 p.
2. Bela G. liPtak, Process Software and Digital Networks, Fourth Edition CRC Press 2012. – 1130 p.
3. Yusupbekov N.R., Muxamedov B.I., G'ulomov Sh.M. Texnologik jarayonlarni nazorat qilish va avtomatlashtirish. –Toshkent: O'qituvchi, 2011. -576 b.

V. Банк кейсов

Кейс №1. Маленькая кондитерская фабрика должна закрыться на реконструкцию. Необходимо реализовать оставшиеся запасы сырья, для производства продуктов из ассортимента фабрики, получив максимальную прибыль. Запасы и расход каждого вида сырья для производства единицы продукции каждого вида, а также нормы прибыли для каждого продукта (прибыль на 1 пакет), представлены в таблице.

Сырье	Запасы, кг	Продукты, расход сырья, кг				
		Ореховый звон	Райский вкус	Батончик	Белка	Ромашка
Темный шоколад	1411	0.8	0.5	1	2	1.1
Светлый шоколад	149	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2
Сахар	815.5	0.3	0.4	0.6	1.3	0.05
Карамель	466	0.2	0.3	0.3	0.7	0.5
Орехи	1080	0.7	0.1	0.9	1.5	0
Прибыль/пакет у.е.		1	0.7	1.1	2	0.6

В разговоре с владельцем фабрики мастер, используя свой 20-летний опыт, предлагает «на глазок» выпустить по 200 пакетов каждого продукта, утверждая, что ресурсов «должно хватить», а прибыль получится, очевидно, 1080 у.е.

При разговоре присутствует сын владельца фабрики, только что закончивший программу «Бакалавр делового администрирования», который утверждает, что такие проблемы надо решать не «на глазок», а с помощью линейного программирования. Умиленный отец обещает сыну всю прибыль сверх 1080 у.е., если он предложит лучший план, чем многоопытный мастер.

Действие 2-е. После решения задачи об оптимальном плане производства для родной кондитерской фабрики, юноша (сын владельца фабрики) испытал двойственное чувство. С одной стороны, прибыль, соответствующая найденному им производственному плану, почти на 430 у.е. больше, чем по плану мастера, т.е. он заработал более 400 баксов. Это здорово! С другой стороны, почему компьютер отказался от выпуска Батончика (его с раннего детства любимого лакомства)? Юноша был уверен, что «Батончик» – один из лучших продуктов, который выпускает фабрика его отца. Если его не окажется на прилавках, может пострадать имидж фабрики. Ведь не только он сам, но и все соседи в округе обожают эту конфету!

Кроме того, он вспомнил, что на занятиях по количественным

методам в менеджменте, преподаватель все время твердил об анализе полученного оптимального решения на устойчивость: малые изменения величины запасов могут привести к радикальному изменению решения! А вдруг этот вредный старый мастер не только план производства определяет на глазок, но и запасы сырья взвешивает кое-как? А что, если каких-то запасов не хватит для его оптимального плана? Он не доберет прибыли! Может быть тогда более прибыльным станет иной план? Какой?

И еще одна мысль. У него есть в кармане, что-то около 50 баксов. Может пустить их в дело? Докупить у знакомого оптовика какого-нибудь сырья, потихоньку подложить на склад (чтоб мастер не заметил), как будто, так и было. Тогда можно получить дополнительную прибыль (и премию от отца). Только вот какого сырья докупать? И сколько? И на сколько от этого возрастет прибыль?

Итак, ответьте на следующие вопросы.

- f) Как надо изменить норму прибыли для любимого продукта сына хозяина фабрики (Батончика), чтобы он вошел в оптимальный план (ответьте, не решая задачу, анализируя лишь отчет об устойчивости)?
- g) Введите это изменение в данные и решите задачу заново. Как изменился оптимальный план?
- h) Какой ресурс является наиболее дефицитным (т.е. максимально влияет на прибыль)?
- i) Можете ли Вы сказать (не решая задачу снова) как изменится прибыль от производства, если количество этого ресурса оценено а) с избытком в 10 весовых единиц; б) с недостатком в 5 единиц?
- ж) Есть ли другой способ добиться производства «Батончика» (кроме изменения нормы прибыли)?

Действие 3-е. После проведенного анализа, сын владельца фабрики принес свой первый оптимальный план в цех и с гордостью показал мастеру. Мастер на мгновение нахмурился («ишь, какой умный нашелся!»), но затем с облегчением вздохнул и громко засмеялся:

- Ну, что ж, молодой человек, замечательно! Будем реализовывать! Только учти, что по технологии до (или после) производства конфеты Белка (особенно в таком количестве как ты рекомендуешь), надо остановить производственную линию и тщательно ее вычистить, а то будет брак! А стоит такая очистка 400 у.е.! Так что с премией своей можешь попрощаться.

Вот это удар!

Что же делать? Надо срочно пересчитать оптимальный план с учетом этой постоянной издержки. Тем более (вспомнил мальчик), что для этого существует очень изящный метод, использующий целочисленные переменные.

Кейс №2: Оптимизация производства на заводе «Прогресс»

На рисунке представлена схема движения материалов, частей, узлов и агрегатов, проходящих трансформацию от сырья к готовой продукции на заводе «Прогресс». Завод производит 3 продукта А, D, и F.

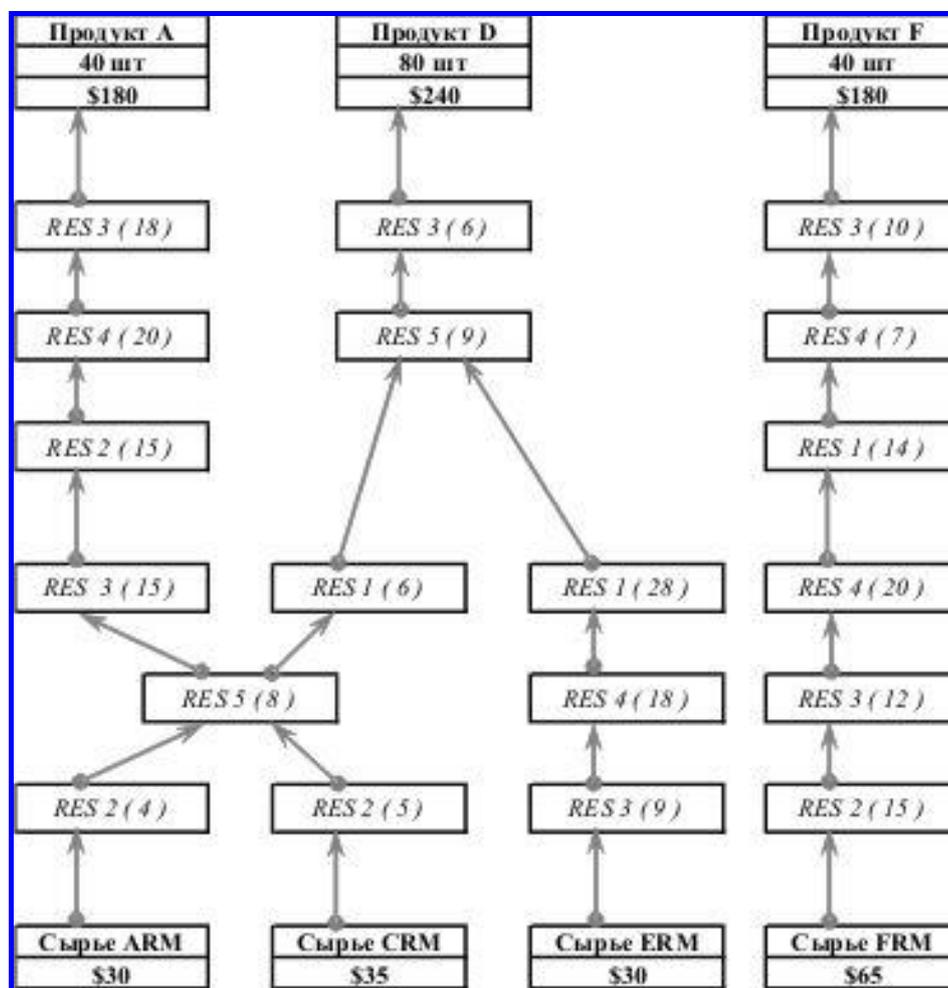


Схема показывает последовательность операций на имеющихся у завода универсальных станках, которым необходимо подвергнуть сначала сырье, а затем полуфабрикаты, для производства готовых продуктов, и время (в минутах), необходимое для каждой операции. Это время указано на схеме в скобках рядом с именем соответствующего станка.

Таким, образом, хотя положение станков на заводе, разумеется, фиксировано, они могут (и должны) выполнять различные операции (на разных стадиях технологического процесса) над сырьем, или полуфабрикатами для производства различных продуктов, *после соответствующей настройки*.

Например, два имеющихся одинаковых станка, обозначенных как Ресурс- 2, требуются для выполнения 4-х операций (см. рисунок). Для осуществления каждой из этих операций нужно некоторое время для перенастройки станка (*setup time*). В случае Ресурс- 2 необходимо

120 минут для перенастройки на любую из 4-х требуемых операций. На схеме также показан максимальный рыночный спрос на каждый из продуктов фабрики (кол-во шт./неделю).

Для производства одной единицы продукта А требуется по одной единице сырья ARM и CRM. Одна единица продукта D требует по одной единице сырья ARM, CRM и ERM. Одна единица продукта F требует только одну единицу сырья FRM.

В первой таблице указано количество имеющихся на заводе станков каждого типа и время перенастройки каждого из станков на новую операцию.

Имеющиеся ресурсы		
Тип станка	Время переналадки, минут	Количество станков
Ресурс- 1	15	1
Ресурс- 2	120	2
Ресурс- 3	60	2
Ресурс- 4	20	2
Ресурс- 5	0	1

Завод работает 5 дней в неделю, по 8 часов в день. Сверхурочная работа не допускается. Завод не имеет больших собственных складов и не может, поэтому, произвести за неделю больше, чем потребляет рынок.

В следующей таблице указаны операционные расходы по эксплуатации станков каждого типа. Эти суммы должны выплачиваться в конце каждой недели после продажи выпущенной продукции и, таким образом, входят в себестоимость продукции.

Операционные расходы по эксплуатации станков			
Тип станков	Зарплата \$	Накладные расходы \$	Всего\$
Ресурс- 1	500	1500	2000
Ресурс- 2	1000	1000	2000
Ресурс- 3	1000	1800	2800
Ресурс- 4	1000	2000	3000
Ресурс- 5	500	700	1200
Итого	4000	7000	11000

Первый шаг анализа

Какую максимальную прибыль может получить завод за неделю, если он удовлетворит полностью рыночный спрос на продукты А, D и F?

Способен ли завод удовлетворить этот спрос?

Найдите оптимальный план производства продуктов А, D и F за неделю, который обеспечит заводу максимальную прибыль. Какова эта реальная прибыль?

Второй шаг анализа (Предложение добросовестного рабочего)

Недавно на заводе прошло общее собрание персонала, на котором выступал директор и призывал всех работать более эффективно, добиваться большей производительности.

Мастер, отвечающий за работу универсального станка Ресурс-2, принял пламенную речь директора близко к сердцу и почувствовал угрызения совести, поскольку вверенный ему универсальный станок (чудо техники) простаивает.

(Определите, сколько процентов рабочего времени станок Ресурс-2 простаивает).

Мастер подсчитал, сколько необходимых полуфабрикатов для продуктов А, D и F может произвести его станок. Он также подсчитал, какую прибыль мог бы получить завод, если бы он произвел и продал такое количество продуктов А, D и F (Подсчитайте и Вы).

Мастер подготовил предложение о немедленном увеличении снабжения его станка сырьем и материалами с целью гигантского увеличения объема производства. «Сумасшедшие деньги просто валяются у нас под ногами, а мы не хотим их подобрать из-за нашего разгильдяйства и неумения работать!» – лейтмотив его предложения.

Принять ли предложение мастера или отклонить (и мягко успокоить добросовестного работника)?

Третий шаг анализа (Предложение ненормального инженера-технолога)

Через несколько дней после собрания к директору пришел молодой инженер-технолог. Директор его недолюбливал. Вид у него всегда был какой-то рассеянный. Вместо того чтобы летать по цехам, ликвидировать сбои и аварии, организовывать людей на авралы, он частенько забивался в какой-нибудь тихий уголок и чего-то писал на бумажке.

И вот написал...рационализаторское предложение: переоборудовать станок Ресурс-2 так, чтобы тот смог выполнять часть работы станка Ресурс-1. При этом все операции, в которых участвует станок Ресурс-1, сократятся на 1 мин., зато все операции станка Ресурс-2 увеличатся на 3 мин. На переоборудование 2-х станков Ресурс-2 нужно \$15000.

Директор не поленился и подсчитал, что в результате при производстве по 1 шт. продуктов А, D и F на станке Ресурс-1 будет выиграно только 3 мин, а на станках Ресурс-2 проиграно 18 мин. Таким образом, длительность производственного цикла увеличится на 15 мин!

(Подсчитайте и Вы, по схеме технологического процесса на рисунке).

«И за это \$15000? Да он и правда ненормальный!» Вне себя, директор уже готов вызвать нерадивого инженера, наорать на него и заставить заниматься делом, а не глупыми выдумками. «А не послушается, так и выгнать, к чертовой матери!»

Остановить ли директора или, правильно, пусть выгоняет дурака?

Четвертый шаг анализа

После истории с ненормальным инженером-технологом, зам. директора по маркетингу и продажам то же решил включиться в процесс оптимизации работы завода. На собрании руководителей подразделений он отметил, что рост прибыли сдерживается не только ограниченностью производственных ресурсов, но и ограниченным спросом отечественного рынка на некоторые продукты завода.

«Рынок полностью потребляет все производимые нами продукты типа А и F. Если бы мы могли найти для них новые рынки сбыта, мы смогли бы производить их больше и получать больше прибыли!» Все восприняли замечание зам. директора как очень правильное. (Согласны ли Вы с ним?)

Зам. директора по маркетингу сказал также, что он слышал о том, что в Монголии есть спрос на продукты, которые производит завод. Он готов съездить в командировку в Монголию и разобраться на месте. Разумеется, предложение было одобрено.

Через две недели, зам. директора вернулся чрезвычайно воодушевленный. «В Монголии замечательный рынок для наших продуктов D и F! Они готовы покупать еженедельно 35 шт. D и 25 шт. F. Никаких дополнительных затрат для нас! Они будут забирать продукцию у нас прямо со склада, как наши отечественные потребители, каждую неделю!»

«Есть только одна маленькая проблема, Монголия бедная страна, поэтому они не могут платить столько же, сколько наши отечественные потребители. Они просят сбросить наши цены на одну треть. Но ведь и в этом случае мы будем иметь заметную прибыль! При этом есть твердая уверенность, что монголы будут использовать нашу продукцию для своего внутреннего производства, а не спекулировать купленными у нас товарами на нашем отечественном рынке».

Директор согласен, что любая прибыль будет одобрена акционерами.

Как изменить производственный план, и сколько продавать монголам?

Пятый шаг анализа

После долгих колебаний директор решается выйти на собрание акционеров с предложением купить еще один станок Ресурс-1 за \$300,000. Это потребует удвоить количество рабочих, занятых на обслуживание и в операциях со станком Ресурс-1. Соответственно удвоятся операционные расходы. Акционеры потребуют информацию о том, когда окупятся инвестиции, и какую прибыль сможет приносить завод после этого

Найдите новый оптимальный план производства продуктов А, D и F за неделю, который обеспечит заводу максимальную прибыль. Какова теперь эта прибыль?

За сколько времени окупятся инвестиции? (Найдите не дисконтированный период окупаемости).

Сделайте расчет в двух вариантах:

- завод отказался от предложения зам. директора по маркетингу от выхода на монгольский рынок, т.е. продукцию можно поставлять только на отечественный рынок;
- монгольский рынок доступен для продукции завода.

Какое решение относительно целесообразности покупки второго станка Ресурс-1, приняли бы Вы в каждом из вариантов?

Завод "Прогресс"			Продукты								
Станки	Кол-во	Запас времени	A	D	F	DM	FM	Пере-наладок	Время пере-наладки	Полное время обработки	% использо-вания
RES 1	2	4800	0	32	13	32	13	3	15	4 549,3	95%
RES 2	2	4800	33	15	18	15	18	4	120	4 666,4	97%
RES 3	2	4800	33	15	22	15	22	6	60	4 800,0	100%
RES 4	2	4800	20	18	27	18	27	4	20	4 662,0	97%
RES 5	1	2400	8	17	0	17	0	2	0	2 275,0	95%
Прибыль			115	145	115	65	55				
Рыночный спрос			40	80	40	35	25				
План производства			40	80	40	35	23,4				
Прибыль			13 362,50								
Станки	Кол-во	Запас времени	A	D	F	DM	FM	Пере-наладок	Время пере-наладки	Полное время обработки	% использо-вания
Прибыль			115	145	115	65	60				
Рыночный спрос			40	80	40	35	25				
План производства			40	42,5	40	0	25				
Прибыль			5 862,50								

. VI. Темы для самостоятельного обучения

Слушатель во время подготовки самостоятельной работы по данному модулю должен:

- изучат главы и содержание учебника и учебных пособий по предмету;
- освоить по раздаточному материалу определенные части лекций;
- работать над темами модуля с использованием специальной литературы;
- глубоко изучить главы предмета, связанные с выполнением учебно-научной работой;
- использовать интерактивные методы обучения, дистанционное обучение.

Темы самостоятельных работ

1. Единицы измерения в СИ.
2. Аналоговые шкалы и цифровые индикаторы.
3. Потребность калибровки.
4. Метрологические свойства измерительных средств.
5. Высокоточные средства измерения.
6. Вторичные приборы измерения.
7. Измерительные преобразователи
8. Виды погрешностей.
9. Источники ошибки.
10. Методы устранения погрешностей.
11. Оценка случайных ошибок.
12. Пирометры.
13. Кварцевые термометры.
14. Выбор температурных преобразователей.
15. Тягомер.
16. Высокочувствительные микроанометры.
17. Ультразвуковые расходомеры.
18. Доплеровский расходомер.
19. Объемные расходомеры.
20. Чувствительные элементы средств измерения.
21. Интеллектуальные измерительные приборы уровня.
22. Погружные вибрационные плотномеры.
23. Радиоизотопные плотномеры.
24. Вискозиметры с падающим шариком.
25. Хроматографы.
26. Масс-спектрометры.

VII. ГЛОССАРИЙ

Term / Термин	Пояснение на русском	Description in English
Абсолютная погрешность прибора / The absolute error of the instrument	Разность между показанием прибора и истинным значением измеряемой величины.	The difference between the readings and the true value of the measured value.
Агрегатирование / Hitching	Это метод создания и эксплуатации машин, приборов и оборудования из отдельных стандартных, унифицированных узлов, многократно используемых при создании различных изделий на основе геометрической и функциональной взаимозаменяемости.	This method of creation and operation of machines, devices and equipment of the individual standard, standardized units, repeatedly used in the creation of various products based on the geometric and functional interchangeability.
Активный вид контроля / The active type of control	Контроль, результаты которого вызывают изменение параметров технологического процесса и влияют на качество выпускаемой продукции.	Control, the results of which cause a change in process parameters and affect the quality of the products.
Безотказность / Infallibility	Свойство объекта непрерывно сохранять работоспособность в течение некоторого времени или некоторой наработки.	Property of an object continuously keep working for a certain time or a certain operating time.
Бесконтактный метод измерений / Non-contact measurement method	Метод, при котором измеряемый размер определяют без механического контакта между измерительным наконечником и измеряемой деталью.	A method in which the measured size is determined without mechanical contact between the measuring tip and the work piece being measured.
Вероятность безотказной работы средств измерений P(t) / The probability of failure-free operation of measuring P (t)	Вероятность того, что в течение времени t нормируемые характеристики погрешности средства измерения не выйдут за допустимые пределы.	The likelihood that for a time t normalized characteristics of measuring instruments, error will not go beyond the permitted limits.
Взаимозаменяемость / Interchangeability	Это свойство независимо изготовленных деталей, узлов и агрегатов обеспечивать беспрепятственную сборку машин или приборов и	This property is independently produced parts, components and assemblies to ensure smooth assembly of machines or appliances

	выполнять своё служебное назначение без нарушения технических требований, предъявляемых к данному изделию в целом.	and to carry out his official appointment without breaking the technical requirements for this product as a whole.
Внезапный отказ / Sudden failure	Отказ, вызванный случайной поломкой, выходом из строя какого-либо элемента средства измерения.	Failure caused by accidental breakage, failure of any means of measuring element.
Внесистемные единицы / Common units	Единицы, которые не входят в какую-либо систему единиц.	Units that are not included in any system of units.
Внешняя взаимозаменяемость / External interchangeability	Это взаимозаменяемость покупных и кооперируемых изделий и узлов по эксплуатационным показателям, а также по размерам и формам присоединительных поверхностей, по которым взаимосвязанные узлы основного изделия соединяются между собой, а также с покупными и кооперируемыми изделиями.	This interchangeability of purchased and cooperative products and components for performance indicators, as well as the size and shape of connecting surfaces, which interconnected nodes of the main products are connected to each other, as well as to the purchase and cooperates products.
Внутренняя взаимозаменяемость / Internal interchangeability	Это взаимозаменяемость деталей, составляющих отдельные узлы, или составных частей и механизмов, входящих в изделие.	This interchangeability of parts that make up the individual components or component parts and tools included in the product.
Государственный эталон / The state standard	Официально утвержденный в качестве исходного для страны первичный или специальный эталон.	Approved as a source country for primary or special standard.
Градуировка / Graduation	Приписывание значений мерам и отметкам шкал отсчетных устройств средств измерений, в результате непосредственной передачи информации о размере единиц, выраженных в этих единицах.	Attributing values measures and scale marks indicating devices measuring instruments, as a result of direct transmission of information on the size of units, expressed in these units.
Действительное значение физической величины / The actual value of a physical quantity	Это значение физической величины, найденное экспериментальным путем и настолько приближающееся к истинному значению, что	The physical quantity is a value found by experiment and as approaching to the true value, which for this

	для данной цели может быть использовано вместо него.	purpose can be used instead.
Диапазон измерений / Measurement range	Область значений измеряемой величины, для которой нормированы допускаемые погрешности средства измерений.	Область значений измеряемой величины, для которой нормированы допускаемые погрешности средства измерений.
Динамические погрешности / Dynamic error	Погрешности, которые возникают из-за инерционности применяемых технических средств при достаточно быстрых изменениях измеряемой величины.	Errors that occur due to the inertia of the applied technical means at a sufficiently rapid change of the measured value.
Дифференциальный метод измерений / Differential measurement method	Метод определения отклонения известного значения от меры.	Method for determining the deviation of the known value of the measures.
Дополнительная погрешность средства измерения / Additional measuring instruments, error	Погрешность средства измерения, используемого в рабочих условиях, которая отличается от нормальных более широкими диапазонами влияющих величин	Error of measuring instruments used in the operating conditions that differ from normal broader ranges of influence quantities
Долговечность / Durability	Свойство объекта сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонтов	Property of an object remain operational until the limit state when the installed system maintenance and repairs
Дольная единица / Additional errors	единица в целое число раз меньшая системной или внесистемной единицы, она образуется путем умножения основной или производной единицы на число 10 в соответствующей отрицательной степени.	Unit integer times less systemic or non-systemic unit, it is formed by multiplying the derivative or basic units in the number corresponding to negative 10 degrees.
Дополнительные погрешности /	погрешности, которые обусловлены отклонением условий, в которых работает прибор, от нормальных.	errors that are caused by deflection conditions in which the device operates from the normal.
Единица физической величины / The unit of the physical quantity	Это физическая величина, которой по определению присвоено числовое значение, равное 1.	It is a physical quantity, which by definition was given a numeric value of 1

Единство измерений / Traceability	Это состояние измерений, при котором их результаты выражены в узаконенных единицах и погрешности измерений известны с заданной вероятностью.	It is a condition of measurements at which their results are expressed in legalized units and errors of measurements are known with a given probability
Измерение / Measurement	Процесс сравнения данной величины с некоторым ее значением, принятым за единицу измерений.	The process of comparing this value with some of its value received per unit of measurement .
Измерительные преобразователи / Transmitters	Это средства измерений, вырабатывающие сигналы измерительной информации в форме, удобной для дальнейшего преобразования, передачи, хранения, обработки, но как правило, недоступной для непосредственного восприятия наблюдателем.	This measurement means producing signals measurement information in a form suitable for further conversion , transmission , storage, processing, but is generally inaccessible to the direct perception of the observer .
Измерить какую-либо величину / Measure any value	Это значит сравнить ее значение с некоторым значением этой величины, принятым за единицу измерения.	It means to compare it with the value of a certain value this value taken as the unit of measurement.
Индикаторы / Indicators	Технические устройства, предназначенные для обнаружения (индикации) физических свойств.	Engineering devices designed to detect (indicate) the physical properties.
Инструментальные погрешности / Instrumental error	Погрешности, которые зависят от погрешностей применяемых средств измерения.	Errors, which errors depend on the used measurement equipment.
Интенсивность (или опасность) отказов \? (t) / Intensity (or hazard) bounce \? (T)	Вероятность того, что средство измерения, проработавшее безотказно в течение времени t, откажет в последующий малый промежуток времени ? t.	The likelihood that the measurement tool will work smoothly for a time t, refuses to follow a small period of time? t.
Интерскоп / Interskol	Прибор, преобразующий невидимые инфракрасные лучи в оптически видимые лучи.	Device that converts invisible infrared light in an optically visible rays.
Истинное значение физической величины / The true value of a physical quantity	Это такое значение физической величины, которое идеальным образом отражало бы в качественном и количественном	It is the value of a physical quantity, which is the perfect way to reflect the qualitative and quantitative relationship

	отношения соответствующее свойство объекта.	corresponding property of the object.
Класс точности / Accuracy class	Обобщенная характеристика всех средств измерений данного типа, устанавливающая оценку снизу точности их показаний.	Generalized description of all measuring instruments of this type, which sets a lower bound for the accuracy of their readings.
Класс точности средства измерения / Accuracy of measurement tools	Его обобщенная характеристика, указывающая предельные значения допускаемой основной и дополнительной погрешностей.	It is generalized characteristic indicating the limits of permissible basic and additional errors.
Комплексный контроль / Complex control	Одновременная проверка комплекса элементов, определяющих качество контролируемого объекта.	Simultaneous verification of complex elements that determine the quality of the controlled object.
Контактный метод измерений / Contact measurement method	Метод, при котором измерительный наконечник соприкасается с поверхностью измеряемой детали, причем характер контакта может быть точечным, линейным или поверхностным.	A method in which the probe tip comes into contact with the surface of the measured part, the contact may be a dot character, line or surface.
Кратная единица / Multiple unit	Единица в целое число раз большая системной или внесистемной единицы, она образуется путем умножения основной или производной единицы на число 10 в соответствующей положительной степени.	Unit to an integer times greater systemic or non-systemic unit, it is formed by multiplying the derivative or basic units in the number corresponding to a positive 10 degree.
Лазер / Laser	Уникальный источник излучения, удачно сочетающий такие свойства, как высокая монохроматичность, малая расходимость луча и большая интенсивность, благодаря чему он (в сочетании с оптико-электронными устройствами) оказался одним из лучших средств для измерения длин, скоростей и оптических характеристик различных	A unique source of radiation, successfully combines the properties such as high monochromatic, low beam divergence and high intensity, making it (in combination with optical-electronic devices) was one of the best ways to measure the length, speed and optical characteristics of the different environments.

	сред.	
Метод замещения / Substitution method	Метод, заключающийся в том, что измеряемая величина замещается известной величиной, получаемой при помощи регулируемой меры.	Method, which consists in the fact that the measured value is replaced with a known value obtained by means of an adjustable action.
Метод измерения / Method of measurement	Это совокупность приемов использования принципов и средств измерений, при которых происходит процесс измерений.	A set of principles and methods of use of measuring instruments, at which the measurement process.
Методические погрешности / Methodical errors	Погрешности, которые произошли от несовершенства метода измерения, использования упрощающих предположений и допущений при выводе применяемых формул, а также от влияния измерительного прибора на объект измерения.	Errors that occurred on the imperfections of the method of measurement, the use of simplifying assumptions, and the assumptions used in the derivation of formulas, as well as from the influence of the measuring device on the measurement object.
Метод компенсации погрешности по знаку / Error compensation method in sign	Метод, который применяется для исключения систематических погрешностей, которые в зависимости от условий измерения могут входить в результат измерения с тем или иным знаком.	Method, which is used to eliminate systematic errors, which, depending on the measurement conditions are included in the result of measurement with a particular mark.
Метрологическая надежность / Metrological reliability	Это свойство средств измерений сохранять установленные значения метрологических характеристик в течение определенного времени при определенных режимах и условиях эксплуатации.	This property measuring means to maintain setpoints metrological characteristics for a certain time under certain conditions and environments.
Метрологические характеристики средств измерений / The metrological characteristics of measuring instruments	Такие их технические характеристики, которые влияют на результаты и точность измерений.	Such their technical characteristics that affect performance and measurement accuracy.
Метрологический отказ средства измерения / Metrological refusal	"Выход" за допусаемые пределы.	"Output" of tolerance.

measuring instruments		
Метрологическое обеспечение / Metrological support	Это обеспечение, необходимое для достижения единства и требуемой точности измерений.	This software required to achieve the unity and the required measurement accuracy.
Метрология / Metrology	Наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности.	Science about measurements, methods and means to ensure their unity and ways to achieve the required accuracy.
Надёжность / Reliability	Свойство объекта выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения установленных эксплуатационных показателей в заданных пределах, соответствующим заданным режимам и условиям использования, технического обслуживания, ремонта, хранения и транспортирования.	Property of the object to perform specified functions, keeping in time the value set of operating characteristics within the specified limits, the appropriate preset mode and conditions of use, maintenance, repair, storage and transportation.
Неоднородные серии / Heterogeneous series	Серии, состоящие из значений, не подчиняющихся одному и тому же закону распределения вероятности.	Series consisting of the values do not obey the same law of probability distributions.
Неполная взаимозаменяемость / Incomplete interchangeability	Это взаимозаменяемость деталей, которая характеризуется возможностью проведения таких дополнительных мероприятий при сборке, как групповой подбор деталей (селективная сборка), применение компенсаторов, регулировка положения, пригонка.	This interchangeability of parts, which is characterized by the ability to carry out such additional activities in the assembly, as a group the selection of components (selective assembly), the use of expansion joints, position adjustment, fit.
Непосредственный метод измерений / Direct measurement method	Метод определения всего значения определяемой величины.	Method of determining the values of all determined values.
Неравноточные измерения / unequal measurement	Измерения, проводимые разными наблюдателями с применением разнообразных измерительных средств и методов измерений.	Measurements made by different observers with a variety of measuring instruments and measurement methods.

Нестационарный процесс / non-stationary process	Процесс, в котором определен закон распределения вероятности случайной величины неодинаков для любого сечения, т. е. зависит от времени .	A process in which a certain law of probability distribution of the random variable is not the same for all cross sections, ie. e. time-dependent.
Нормативно-технический документ / Regulatory and technical documents	Документ, устанавливающий требования к объектам стандартизации, обязательный для исполнения в определенных областях деятельности, разработанный в установленном порядке и утвержденный компетентным органом .	Document setting out the requirements for the objects of standardization, mandatory for execution in certain areas, designed in accordance with established procedure and approved by the competent authority.
Образцовые средства измерений / Standard gauges	Средства, служащие для определения по ним значений метрологических характеристик аттестуемого.	Means serving to define them values of metrological characteristics attestation.
Однородные серии / uniform series	Серии, состоящие из значений, подчиняющихся одному и тому же закону распределения вероятности.	Series, consisting of the values that obey the same law of probability distribution.
Органические (методические) погрешности / Organic (methodological) error	Систематические погрешности, появление которых обусловлено несовершенством метода измерений или формулой, по которой вычисляют результат, и другими аналогичными факторами и не зависящие от качества изготовления применяемых средств измерений.	Systematic errors, the occurrence of which is caused by the imperfection of the measurement method or the formula by which the result is calculated, and other similar factors, and do not depend on the quality of manufacturing of measuring instruments used.
Органолептические измерения / Organoleptic measurement	Измерения, основанные на использовании органов чувств человека (осязания, обоняния, зрения, слуха и вкуса).	Measurements based on the use of human senses (touch, smell, sight, hearing and taste).
Основная погрешность средства измерения / The basic error of measuring instruments	Погрешность средства измерения, используемого в нормальных условиях.	Error of measuring instruments used in normal conditions.
Основной диапазон измерений / The main	Диапазон, из которого с помощью входных	Range, from which with the help of input

measurement range	элементов (делителей, шунтов, измерительных усилителей) образуются все остальные диапазоны измерений.	elements (dividers, shunts, measuring amplifiers) are formed all the other measurement ranges.
Основные единицы / Main unit	Единицы, выбранные произвольно при построении системы единиц.	Units selected at random in the construction of a system of units.
Относительная погрешность прибора / The relative error of the instrument	Отношение абсолютной погрешности к истинному (или измеряемому) значению величины.	The ratio of the absolute error to the true (or measured) value of the quantity.
Пассивный вид контроля / The passive type of control	Контроль, результаты которого не вызывают изменение параметров технологического процесса и не влияют на качество выпускаемой продукции.	Control, the results of which do not cause a change in process parameters and do not affect the quality of the products.
Первичный эталон / Primary standard	Эталон, воспроизводящий единицу с наивысшей в стране точностью.	Standard reproducing unit with the highest precision in the country.
Погрешность измерения / Measurement error	Отклонения результата измерения от истинного значения измеряемой величины.	The deviation of the measurement result from the true value of the measured value.
Погрешность показаний прибора / Error readings	Разность между показанием прибора и истинным (действительным) значением измеряемой величины.	The difference between the readings and the true (real) value of the measured value.
Погрешность средств измерений / Accuracy of measuring instruments	Разница между значением величины, полученным при помощи этого средства, и истинным значением.	The difference between the values obtained with the help of this tool, and the true value.
Полная взаимозаменяемость / Full interchangeability	Это взаимозаменяемость деталей, которая обеспечивается соблюдением параметров с такой точностью, которая допускает сборку и замену любых сопрягаемых деталей, узлов и агрегатов без каких-либо дополнительных мероприятий ~ обработки, подбора, регулировки.	This interchangeability of parts, which ensures compliance with the parameters of such precision that allows the assembly and replacement of all mating parts, components and assemblies without any additional measures ~ processing, selection, adjustment.
Поправка / Amendment	Значение величины, одноименной с измеряемой, которое нужно прибавить к полученному (при	Value of the quantity being measured with the same name, which must be added to the obtained

	измерении) значению величины с целью исключения систематической погрешности.	(measured) value of the quantity in order to avoid bias.
Поправочный множитель / Correction factor	Число, на которое умножают результат измерения для исключения систематической погрешности.	The number by which multiply the measurement result to avoid bias.
Порог чувствительности / Sensitivity threshold	Наименьшее изменение значения измеряемой величины, способное вызвать малейшее изменение в показаниях прибора.	The smallest change in measured value that can cause the slightest change in the readings.
Предел метрологической характеристики / Limit metrological characteristics	Есть наибольшее (без учета знака) значение метрологической характеристики, при котором НСИ может быть признан годным и допущено к применению.	Is the largest (excluding the sign) the value of the metrological characteristics, in which the NSI may be declared fit and approved for use.
Предметная специализация / Subject specialization	Это специализация, которая заключается в том, что на отдельном предприятии сосредоточивается выпуск продукции, соответствующей профилю предприятия.	It's socialization, which is a separate company that focuses output corresponding to the profile of the enterprise.
Производные единицы / Derived units	Единицы, образуемые по определяющему эти единицы уравнению из других единиц данной системы.	The unit formed by the defining equation of these units from other units of the system.

VIII. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основные литературы:

1. Alan S Morris, Reza Langari, Measurement and Instrumentation. Theory and application, 2012 640 p.
2. Bela G. liPtak, Process Software and Digital Networks, Fourth Edition CRC Press 2012. – 1130 p.
3. Yusupbekov N.R., Muxamedov B.I., G'ulomov Sh.M. Texnologik jarayonlarni nazorat qilish va avtomatlashtirish. –Toshkent: O'qituvchi, 2011. -576 b.
4. Иванова Г.М., Кузнецов Н.Д., Чистяков В.С. Теплотехнические измерения и приборы. –М.:МЭИ, 2005.-460с.
5. SIMULINK – моделирование в среде MATLAB. Учебное пособие. –М.: МГУИЭ. 2002. -128с.
6. Калиниченко А.В. Справочник инженера по КИП и А. -М.: Инфра Инженерия, 2008. -564с.
7. «Теплотехнические измерения и приборы». -М.: МЭИ, 2005.

Интернетные ресурсы:

1. www.labview.ru
2. www.ziyonet.uz
3. www.elibrary-book.ru
4. www.books.ru/.../technologicheskie-izmereniya-i-pribory-dlya-khimiche
5. www.radiosovet.ru/.../5815-tehnologicheskie-izmereniya-i-pribory