

**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»**

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

**Ташкент -2019**

**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 -2019**

Данный учебно-методический комплекс разработан на основании учебного плана и программы утвержденного приказом Министерства высшего и среднего специального образования Республики Узбекистан № 1023 от 02.11. 2019 года

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

**Рецензент:** А.Н. Юсупбеков - д.т.н., профессор кафедры  
«Автоматизация производств» ТГТУ

Данный учебно-методический комплекс рекомендован к использованию Советом Ташкентского государственного технического университета (протокол № 1 от 24 сентября 2019 года).

## СОДЕРЖАНИЕ

I.	Рабочая программа .....	5
II.	Интерактивные методы обучения, используемые в модуле .....	11
III.	Теоретические материалы.....	15
IV.	Практические материалы.....	63
V.	Банк кейсов .....	72
VI.	Глоссарий .....	80
VII.	Список литературы .....	90

## **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 учебная 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 «Автоматизация и управление технологических процессов и производств» 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			
		Итого	Теоригические	Практические	Выездные занятия
1.	Основные понятия об измерениях и измерительных приборах	2	2		
2.	Измерительная погрешность	4	2	2	4
3.	Средства измерений температуры	4		2	
4.	Средства измерений давления	4		2	
	<b>Жами:</b>	<b>14</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>4</b>

### 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.

### 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 устранению грубых ошибок при измерении давления

### **Выездные занятия:**

Тема: Измерительная погрешность. Знакомство слушателей с разработками фирм Узбекистана в области автоматизация технологических процессов. ГАК «Uzprommashimpeks»

### **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, руководствуясь 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.

## 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.

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.

Что такое кейс? Кейс – это жизненная история, включающая в себя необходимую информацию: для принятия решения, для разрешения конфликта или проблемы, которая может быть предложена для обсуждения в группе и выявления позиций слушателей по существу вопроса.

## 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).
-----------------------------	--	---	---------------------------------------	---------------------------------------

### Пример занятия по методу «Кейс-стади»

**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 об измерениях и измерительных приборах

- 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 <sup>1</sup>.

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

---

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

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 втабл1.2 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	$9.192631770 \times 10^9$ 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	Ампер	Один ампер - ток, перекачивающий два бесконечно длинных параллельных проводника незначительного поперечного разреза, размещенного на расстоянии в 1 измеритель в вакууме и производящий силу $2 \times 10^{-7}$ 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 ( $\text{Гц} \times 10^{12}$ ), 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 <sup>2</sup>.

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

<sup>2</sup> 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 <sup>2</sup>	
Volume	cubic meter	m <sup>3</sup>	
Velocity	metre per second	m/s	
Acceleration	metre per second squared	m/s <sup>2</sup>	
Angular velocity	radian per second	rad/s	
Angular acceleration	radian per second squared	rad/s <sup>2</sup>	
Density	kilogram per cubic meter	kg/m <sup>3</sup>	
Specific volume	cubic meter per kilogram	m <sup>3</sup> /kg	
Mass flow rate	kilogram per second	kg/s	
Volume flow rate	cubic meter per second	m <sup>3</sup> /s	
Force	newton	N	kg·m/s <sup>2</sup>
Pressure	pascal	Pa	N/m <sup>2</sup>
Torque	newton meter	N·m	
Momentum	kilogram meter per second	kg·m/s	
Moment of inertia	kilogram meter squared	kg·m <sup>2</sup>	
Kinematic viscosity	square meter per second	m <sup>2</sup> /s	
Dynamic viscosity	newton second per sq metre	N·s/m <sup>2</sup>	
Work, energy, heat	joule	J	N·m
Specific energy	joule per cubic meter	J/m <sup>3</sup>	
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 <sup>2</sup>	
Magnetic flux	weber	Wb	V·s
Magnetic flux density	tesla	T	Wb/m <sup>2</sup>
Magnetic field strength	ampere per meter	A/m	
Frequency	hertz	Hz	s <sup>-1</sup>
Luminous flux	lumen	lm	cd·sr
Luminance	candela per square meter	cd/m <sup>2</sup>	
Illumination	lux	lx	lm/m <sup>2</sup>
Molar volume	cubic meter per mole	m <sup>3</sup> /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", термопара, 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 книги<sup>3</sup>.

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.

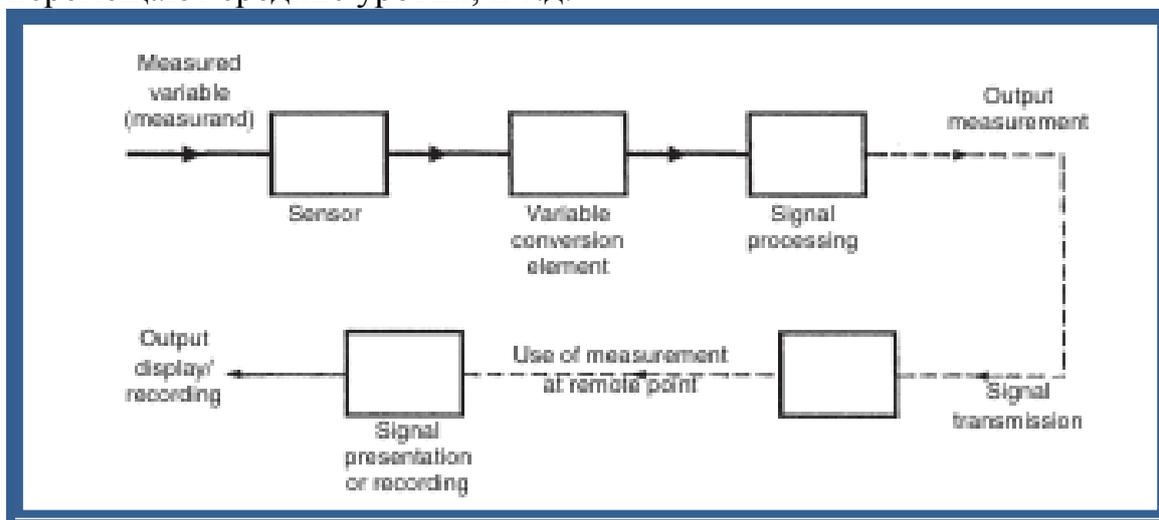


Рисунок 1.1 Элементы измерительной системы.

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

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

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 мультистержевого 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 устранят 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 термометры 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, стоимости, 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 <sup>4</sup>.

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 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

---

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

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<sup>5</sup>.

---

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

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.

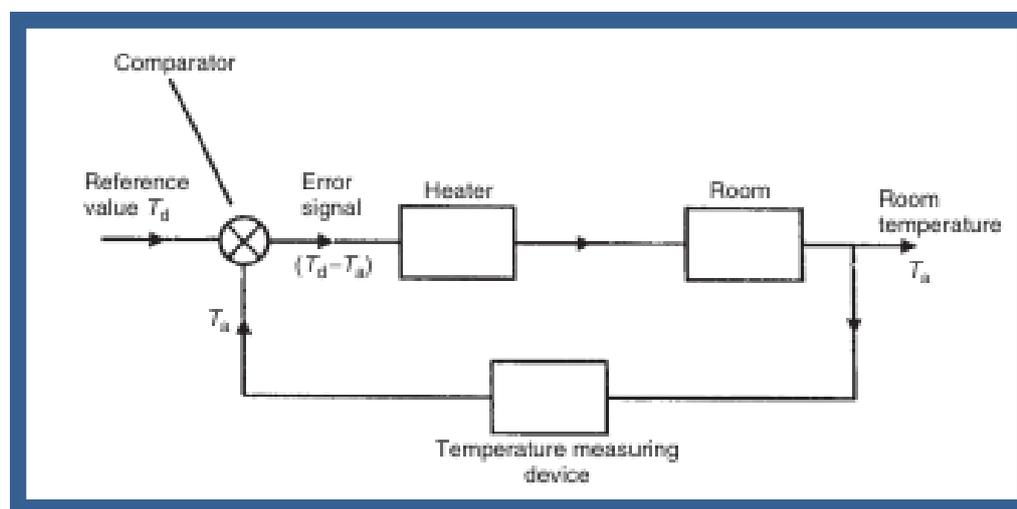


Рисунок 1.2 Элементы простой системы регулирования по замкнутому циклу.

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.

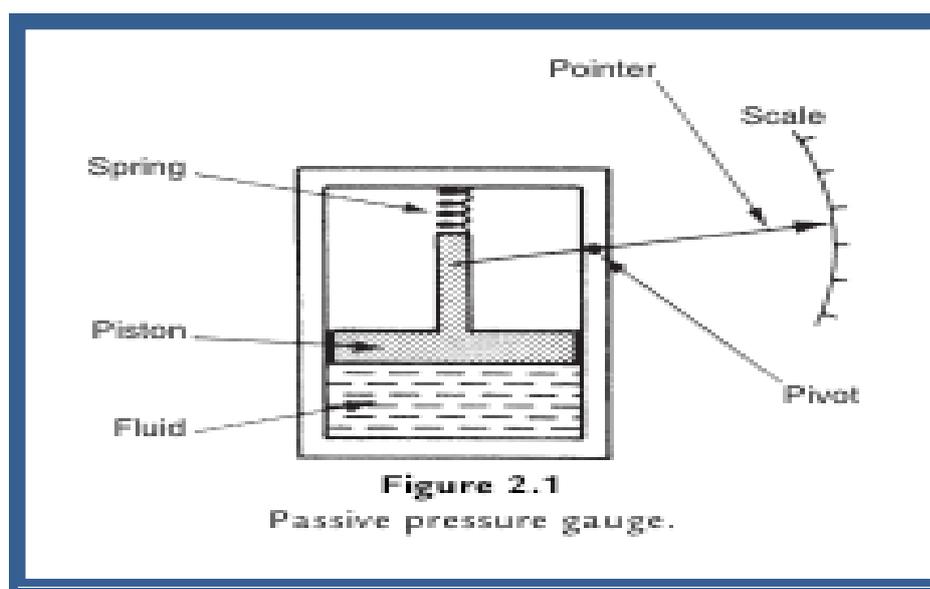


Рисунок 2.1 Пассивный манометр.

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 <sup>6</sup>.

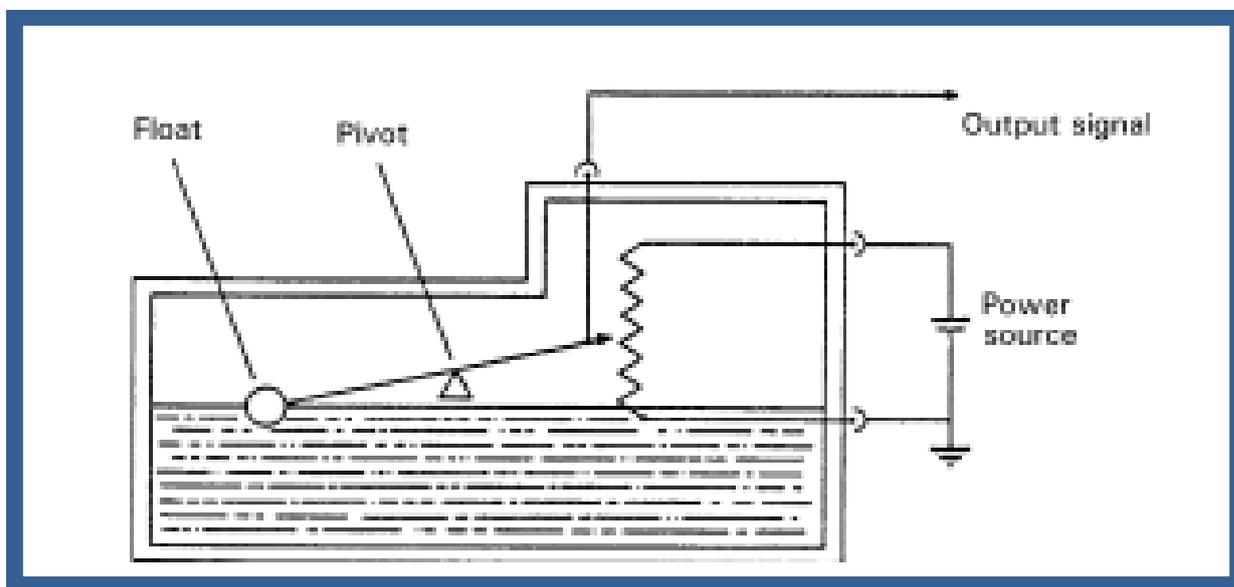
<sup>6</sup> Alan S. Morris, Reza Langari. Measurement and instrumentation : theory and application. –pp. 12,13

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 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 горючего 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*

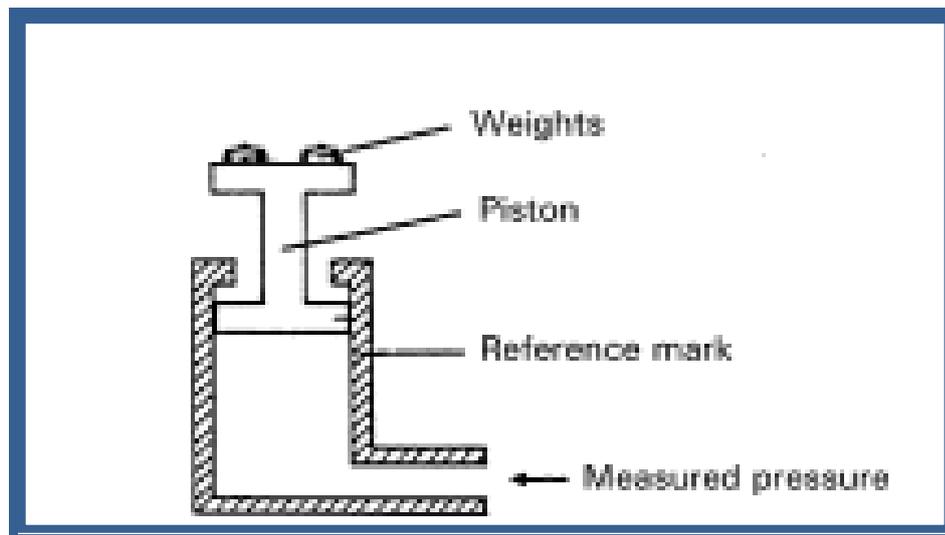
Манометр, только упомянутый, является хорошим примером типа отклонения инструмента, где величина измеряемого количества выделяется с точки зрения количества перемещения указателя. Переменный тип манометра - масштаб дедвейта, показанный на рисунке 2.3, который является пустым типовым инструментом. Здесь, 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<sup>7</sup>.

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.

---

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



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 (рисунок 2.1), является хорошим примером аналогового прибора. Поскольку входная величина изменяется, передвижения указателя с гладким непрерывным 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

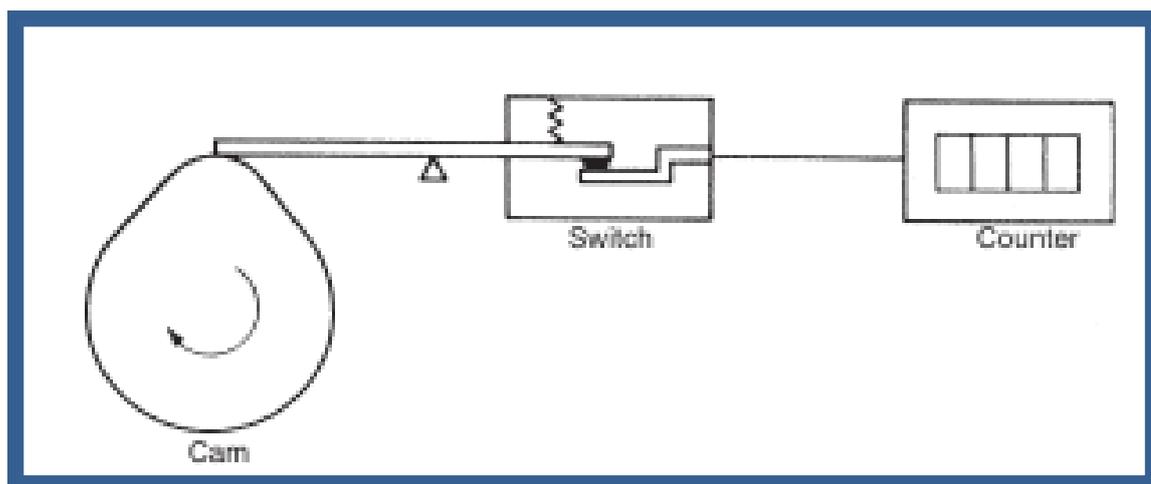


Рисунок 2.4 Тахометр.

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 A/D 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<sup>8</sup>.

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

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

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  $20^{\circ}\text{C}$ , то это действительно не имеет значение, является ли истинная температура комнаты  $19.5$  или  $20.5^{\circ}\text{C}$ . Такие малые вариации вокруг  $20^{\circ}\text{C}$  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  $0.5^{\circ}\text{C}$  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.) чтение 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<sup>9</sup>.

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.

---

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

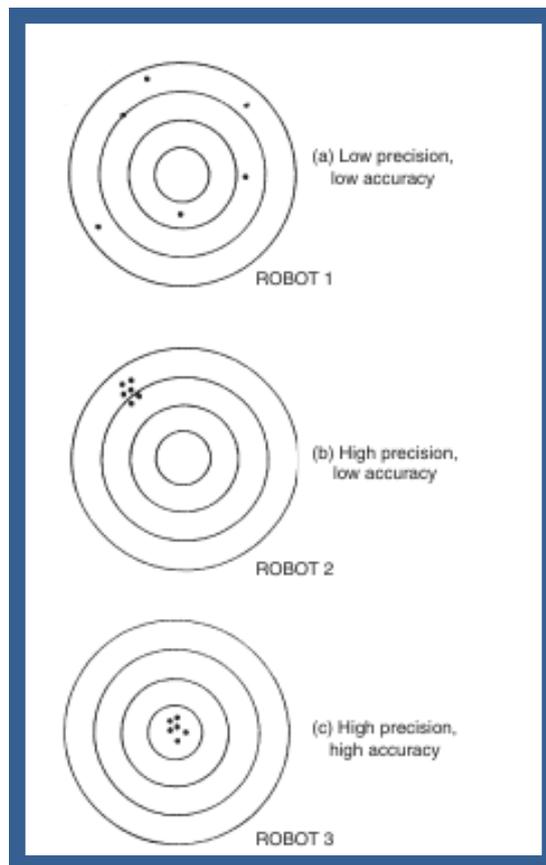


Рисунок 2.5 Сравнение точности и точности.

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 используемый 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 <sup>10</sup>.

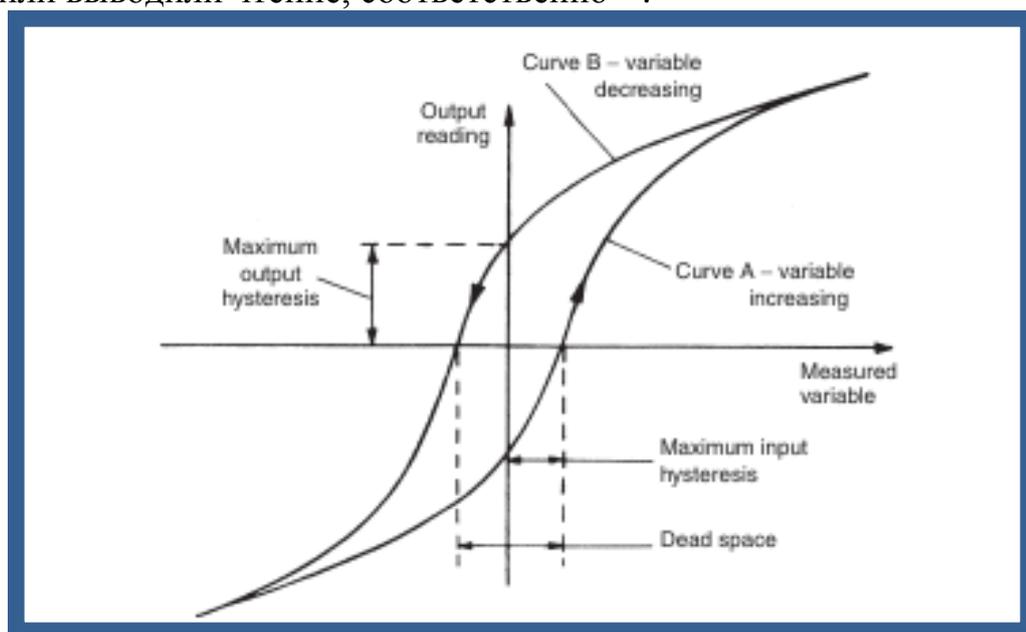


Рисунок 2.8 Характеристика инструмента с гистерезисом.

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 происходит 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

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

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 ( $t > 0$ ):

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

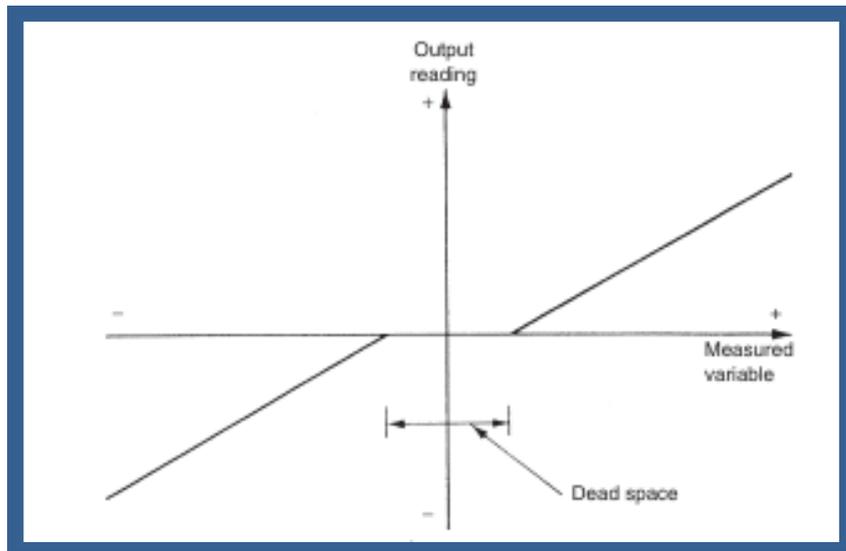


Рисунок 2.9 Характеристика инструмента с зоной нечувствительности.

где  $q_i$  - взвешенное количество,  $q_o$  - чтение выхода, и  $a_0, \dots, b_m$  - 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 местоположениях<sup>11</sup>. У 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

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

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 нуль 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 добиваемся и реконструкция этого тогда подается

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

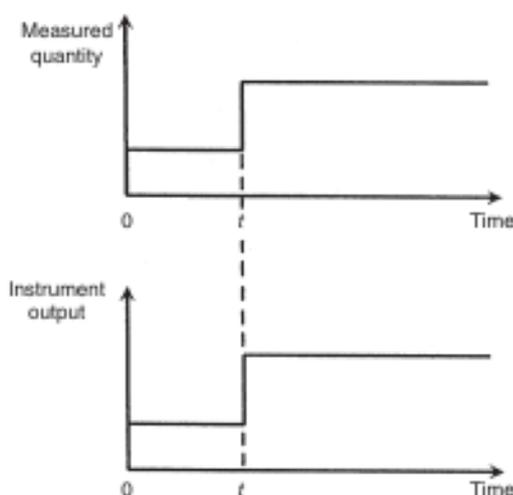


Рисунок 2.10 Характеристика инструмента нулевого порядка.

#### 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  $q^0$ , 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  $100^{\circ}\text{C}$ , но вместо этого приближается к чтению, указывающему  $100^{\circ}\text{C}$  способом, подобным показанному на рисунке 2.11<sup>12</sup>.

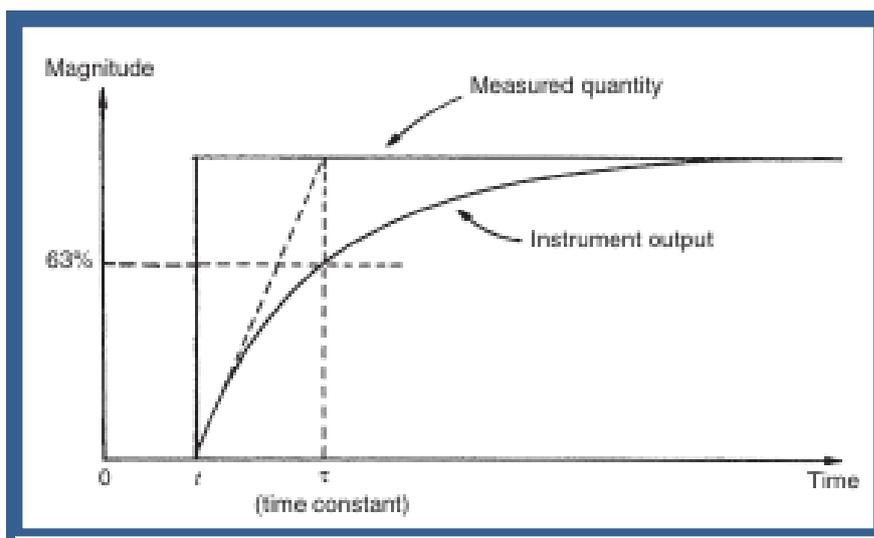


Рисунок 2.11 Характеристика измерительного прибора первого класса точности.

Большое количество других инструментов также принадлежит этому высокоточному классу: это имеет подробность 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:

<sup>12</sup> 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),  $\omega$  (незатемпированная собственная частота), и  $\xi$  (декремент затухания), где

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

$\xi$  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  $\omega$  и  $\xi$  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 усадки  $a_2$

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

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  $\xi$ . Реакции выхода инструмента второго порядка для различных величин  $\xi$  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  $\xi$  понижает колебания и перерегулирование все еще больше, как показано кривыми С и D, и наконец

реакция становится очень сверхзатухшей, как показано кривой E, где чтение выхода медленно накапливается к корректному чтению. Ясно, крайние характеристики чувствительности A и E являются чрезвычайно неподходящими для любого измерительного прибора.<sup>13</sup>.

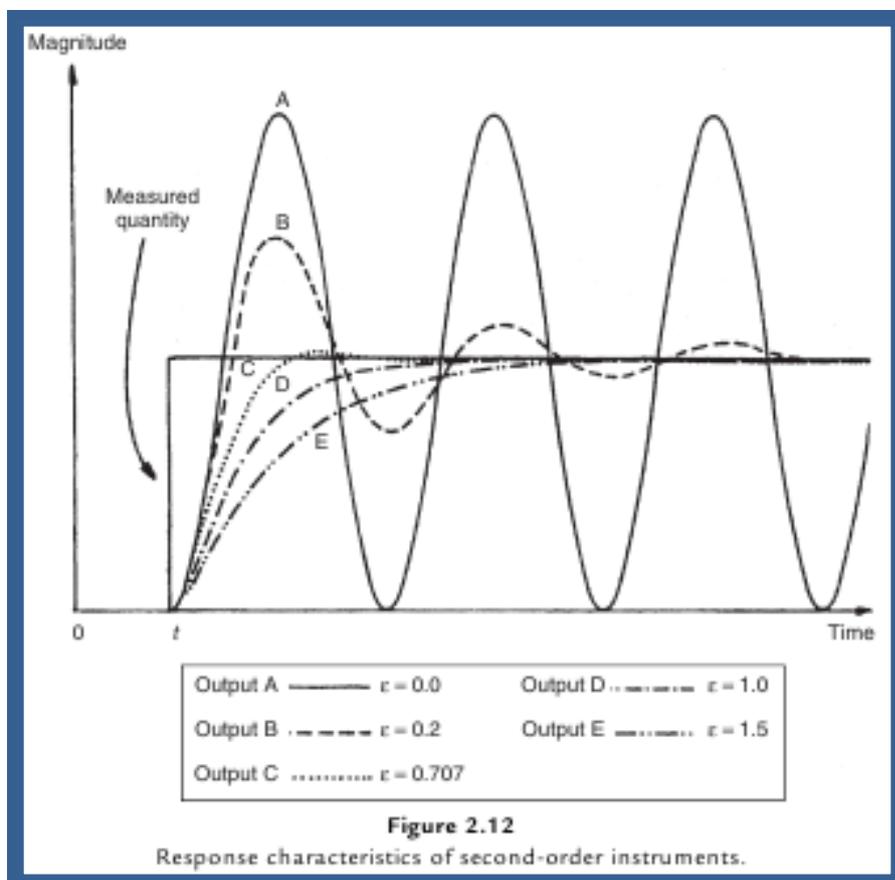


Рисунок 2.12 Частотные характеристики инструментов второго порядка.

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 (C). К сожалению, большинство физических величин, которые инструменты обязаны измерять, не изменяется в математически удобной форме шагов, а скорее в форме скачков изменения падений Какформа изменений входной переменной, таким образом, оптимальное значение для  $\zeta$  изменяется, и выбор  $\zeta$ , 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 ( $\zeta$ ) где-нибудь в амплитуде 0.6-0.8.

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

## 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 прибывает 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 обсуждайте 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: Измерительная погрешность

### 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**  $\beta$ , 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.<sup>14</sup>..

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 сигнала средства измерений  $y$  от входного сигнала  $x$ , представленная в виде таблицы, графика или формулы, называется **номинальной статической**

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

характеристикой (НСХ) средства измерений, часто называемой градуировочной. Отношение изменения сигнала на выходе измерительного прибора  $\Delta y$  к вызвавшему его изменению входной величины (сигнала)  $\Delta x$  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 характеристик узлов приборов в 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 погружаемого 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 температуры воды. Данный эффект ясно устанавливает правило, что в почти во всех случаях процесс измерения оказывает возмущающее влияние на систему и изменяет величины измеряемых физических величин<sup>15</sup>.

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 величин влияний 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 *АВ* 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  $E_m$ .

---

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

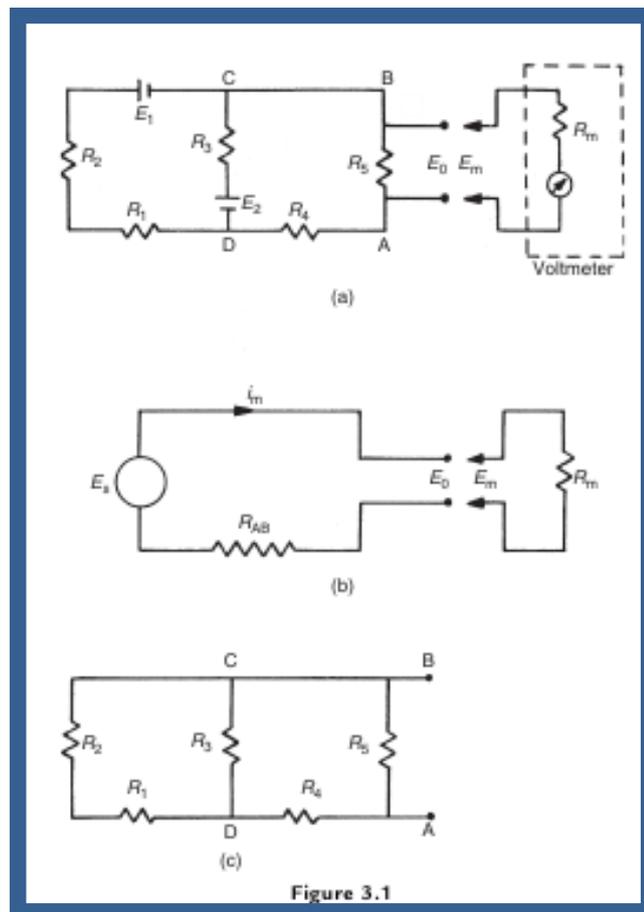


Figure 3.1

Рисунок 3.1 Анализ нагрузки цепи: (а) цепь, в которой напряжение через  $R_5$  должно быть измерено, (б) схема замещения теоремой Т'евенина, и (с) цепь имели обыкновенные 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 З'евенина 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  $(R_{CD}R_4)$  параллельно с  $R_5$ . Сопротивление схемы замещения  $R_{AB}$  может таким образом быть записано как

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

Заменение  $R_{CD}$ , который использование выражения выводило ранее, мы получаем<sup>16</sup>

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

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

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

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

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

магнитоэлектрического вольтметра. Такие составы инструмента катушки, несущей указатель, смонтированы 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 9<sup>17</sup>.

### Пример 3.1

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

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

Напряжение через  $AB$  измеряется вольтметром, внутреннее сопротивление которого  $9500 \text{ Ом}$ . Что измерительная погрешность

---

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

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

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

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 %.

### 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 сколько сбор 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 позже<sup>18</sup>.

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,

---

<sup>18</sup>Alan S. Morris, Reza Langari. Measurement and instrumentation : theory and application. –p. 47

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 завертывая инструментариий 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.

#### **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 противво 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 количествоиз 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 указателя<sup>19</sup>. 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 усилия ко многим системам измерения поясняется, рассматривая случай измерительного прибора напряжения, принципиальную схему которого показываютна 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 постоянный  $K_s$ . Эффект экологических входов на двигателе и константах пружины представляется переменными  $D_m$  и  $D_s$ . В отсутствие

---

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

экологических входов смещения указателя  $X_o$  дает  $X_o = KmKsEi$ .

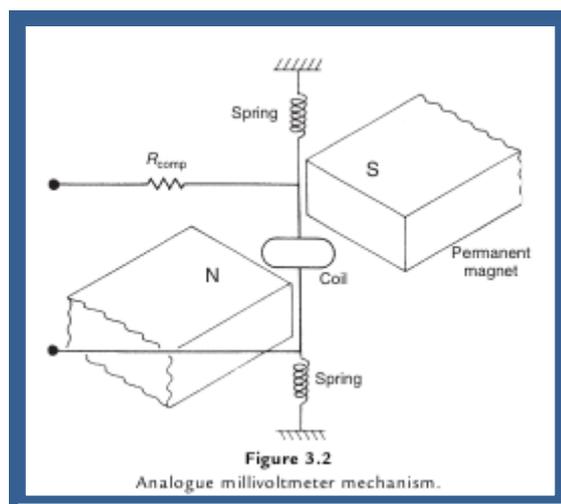


Рисунок 3.2  
Аналоговый механизм милливольтметра.

Напряжение  $E_i$

Катушка

Вращающий момент

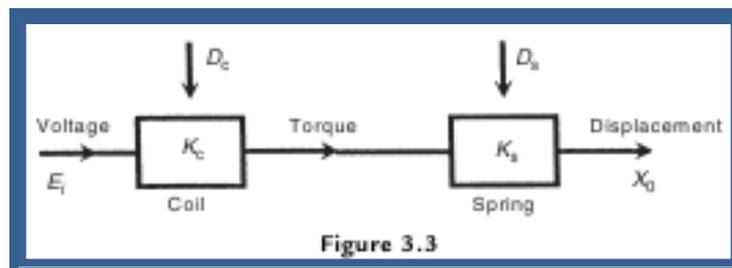


Рисунок 3.3

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 воздействованы 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  $X_o$ <sup>20</sup>. Это по сравнению с неизвестным напряжением,

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

$E_i$ 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

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

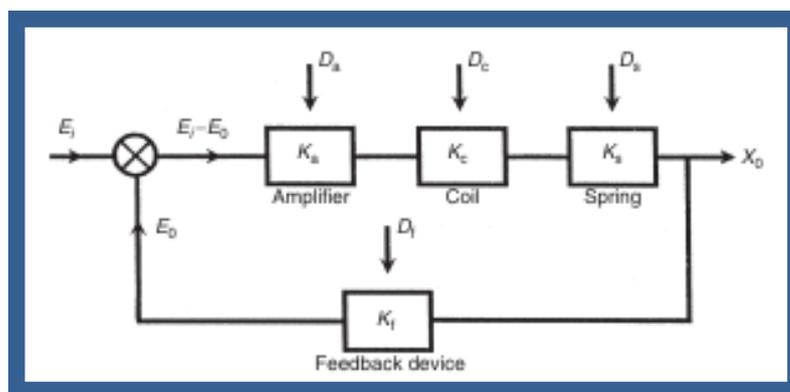


Рисунок 3.4

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 усиления 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 усиления 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.<sup>21</sup>

### ***Ручная коррекция показания выхода***

---

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

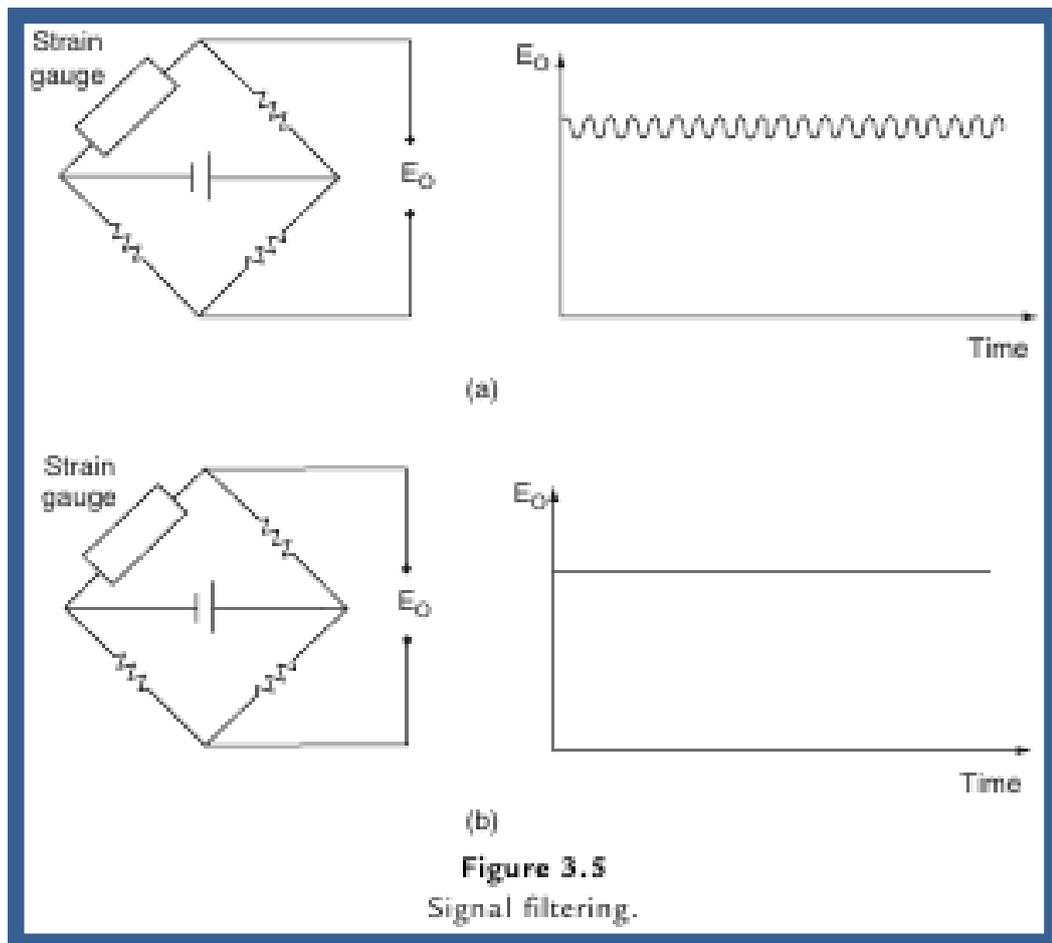


Рисунок 3.5  
Сигнальное фильтрование.

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 параметров окружающей среды и автоматически компенсируют величину показания выхода<sup>22</sup>. У них есть возможность иметь дело очень эффективно с постоянными ошибками в системах измерения, и погрешности могут быть ослаблены к очень низким уровням во многих случаях.

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

## **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 нагрузки<sup>23</sup>.

### ***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  $\pm 1$  % каждый, погрешность прогноза худшего случая была бы суммой отдельных погрешностей, то есть,  $\pm 3$  %. Однако, очень маловероятно, что все узлы погрешности 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

---

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

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

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.<sup>24</sup>

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 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*

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

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

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

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

Съ

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 значении<sup>25</sup>. 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  $x_1, x_2, \dots, x_n$ :

$$d_i = x_i - x_{mean}. \quad (3.6)$$

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  $x_{mean}$  конечного множества измерений будет отличаться от истинного среднего значения  $x_{mean}$  теоретической бесконечной совокупности измерений, из которых конечное множество является частью. Это означает, что есть погрешность в среднем значении  $x_{mean}$  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

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

бесконечной совокупности может быть получен, применяя Бесселевский поправочный коэффициент  $(n/n-1)$  к формуле для  $P_o$  сравнения с в Уравнении (3.7):

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

где  $P_o$  сравнение 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):

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

*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* названия<sup>26</sup>.

#### 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?

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

### **Использованные литературы:**

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.

## 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 неточность  $\% \pm 1.0 \text{ f.s.}$  ( $\% \pm 1$  полной шкалы). (a), Какая максимальная измерительная погрешность ожидается для этого инструмента? (b), Что является вероятной измерительной погрешностью, выраженной как процент от выхода показания, если этот манометр измеряет давление 1 бар?

Решение (a) Предельная ошибка, ожидаемая в любом измерительном чтении, составляет 1.0 % натурального чтения, 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 величины<sup>27</sup>.

#### 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 -  $1000 \text{ Ом} + 5 \% = 1050 \text{ Ом}$ .

---

<sup>27</sup> Alan S. Morris, Reza Langari. Measurement and instrumentation : theory and application. –pp54

### Пример 3

Следующие величины сопротивления платинового термометра сопротивления были измерены в пределах колебания температур. Определите измерительную чувствительность инструмента в  $\text{ohms}/1^{\circ}\text{C}$ .

Сопротивление (V)	Температура ( $1^{\circ}\text{C}$ )
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  $30^{\circ}\text{C}$ , 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) калибровка была произведена при температуре  $20^{\circ}\text{C}$ , (b) калибровка была произведена при температуре  $50^{\circ}\text{C}$ .

напряжение градуировочной температуре $20^{\circ}\text{C}$	при	напряжение при температуре $50^{\circ}\text{C}$
10.2		10.5
20.3		20.6
30.7		40.0
40.8		50.1

Определите сдвиг нуля, когда он используется в 50<sup>0</sup>С среде, предполагая что измерение оценивает, когда оно использовалось в 20<sup>0</sup>С. Также вычислите коэффициент сдвига нуля.

Решение

Сдвиг нуля при температуре 50<sup>0</sup>С является постоянной разностью между парами измерения выхода, то есть, 0.3 вольта. Коэффициент сдвига нуля - величина дрейфа (0.3 вольта), разделенные на величину изменения температуры, вызывающего дрейф (30<sup>0</sup>С). 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<sup>0</sup>С и имеют следующее отклонение/динамическую характеристику:

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

Эксплуатация при температуре 30<sup>0</sup>С

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

Определите сдвиг нуля и изменение чувствительности в <sup>0</sup>С изменение при температуре окружающей среды.

Решение

При 20<sup>0</sup>С, отклонение/динамическая характеристика - прямая линия. Чувствительность = 20 MMS/кг. При 30<sup>0</sup>С, 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/<sup>0</sup>С =  $5/10 = 0.5 \text{ mm/}^{\circ}\text{C}$  Изменения чувствительности/1С =  $2/10 = 0.2 \text{ (MMS/кг)/}^{\circ}\text{C}$

Задания

1-1. Температура в термостате измерялась техническим термометром со шкалой 0-500<sup>0</sup>С, имеющим пределы допускаемой основной погрешности  $\pm 4^{\circ}$  С. Показания термометра составили 346<sup>0</sup> С. Одновременно с техническим термометром в термостат был погружен

лабораторный термометр, имеющий свидетельство о поверке. Показания лабораторного термометра составили  $352^{\circ}\text{C}$ , поправка по свидетельству составляет  $-1^{\circ}\text{C}$ , поправка на выступающий столбик составляет  $+0,5^{\circ}\text{C}$ .

Определите, выходит ли за пределы допускаемой основной погрешности действительное значение погрешности показаний технического термометра.

1-2. Милливольтметр имеет равномерную шкалу, разделенную на 50 интервалов. Нижний предел измерения  $U_k = -10$  мВ, верхний  $U_k = +10$  мВ.

Определите цену деления шкалы и чувствительность милливольтметра.

1-3. Зависят ли коэффициенты преобразования медного и платинового термометра сопротивления от температуры, если известно, что сопротивления связаны с температурой выражениями:

$$R_t = R_0(1 + \alpha t) \text{ — для медного термометра;}$$

$$R_t = R_0(1 + At + Bt^2) \text{ — для платинового термометра.}$$

1-4. При поверке автоматического потенциометра со шкалой  $0—500^{\circ}\text{C}$  градуировки ХК выяснилось, что стрелка и перо прибора смещены относительно нулевой отметки на  $10^{\circ}\text{C}$  в сторону завышения.

Как должна быть учтена эта систематическая погрешность измерения температуры при обработке диаграммной бумаги? Например, на отметке  $430^{\circ}\text{C}$ .

1-6. Определите абсолютное и относительное изменение показаний газового манометрического термометра, вызванное изменением барометрического давления от 760 до 723,3 мм рт. ст. Шкала прибора  $0—100^{\circ}\text{C}$ , что соответствует изменению давления от 6,825 до 9,325 кгс/см<sup>2</sup>. Прибор показывает температуру  $80^{\circ}\text{C}$ . Шкала прибора равномерная.

1-7. Для технического манометра класса 1,5 нормальная температура окружающей среды  $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$ , рабочая температура от  $+5$  до  $+50^{\circ}\text{C}$ .

Одинаковыми ли погрешностями будут характеризоваться показания прибора при температуре окружающей среды  $t = 24^{\circ}\text{C}$ ,  $t = 10^{\circ}\text{C}$  и  $t = 55^{\circ}\text{C}$  при условии, что остальные влияющие величины имеют нормальные значения?

1-8. Одинаков ли предел допускаемой относительной погрешности измерения во всех точках шкалы автоматического потенциометра?

1-9. Было произведено однократное измерение термо-э. д. с. автоматическим потенциометром класса 0,5 градуировки ХК со шкалой  $200\text{—}600^{\circ}\text{C}$ . Указатель стоит на отметке  $550^{\circ}\text{C}$ .

Оцените максимальную относительную погрешность измерения термо-э. д. с. потенциометром на отметке  $550^{\circ}\text{C}$ . Зависит ли относительная погрешность от показаний прибора? Условия работы нормальные.

## **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  $0^{\circ}\text{C}$ , соответствующая колонна в таблицах показывает, что это соответствует температуре горячего спая  $200^{\circ}\text{C}$ .

n

#### **Пример 2**

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

#### **Пример 14.3**

Предположите, что ссылочное соединение термопары константана хромеля сохраняется при температуре  $80^{\circ}\text{C}$ , и выход ЭДС измеренный составляет 40.102 мВ, когда горячий спай поглощается в жидкость.

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

$r \quad 0$

Теперь применяя Уравнение (14.6),  $E(T, T) = 40.102 + 4.983 = 45.085 \text{ мВ}$

$h \quad 0$

Снова обращаясь к таблицам, это указывает температуру жидкости  $600^\circ\text{C}$ . 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 3

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  $0^\circ\text{C}$ , и выход ЭДС измеренный составляет  $14.1 \text{ мВ}$ . Если соединение между термопарой и проводами растяжения при температуре  $40^\circ\text{C}$ , 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  $12.1 \text{ мВ}$  указывает для термопары алюмеля хромеля. Это  $297.4^\circ\text{C}$ . Затем, суммируя ЭДС вокруг петли:

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

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

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

Интерполируя от термоэлектрических столов, это указывает, что истинная температура жидкости  $374.5^\circ\text{C}$ <sup>28</sup>.

<sup>28</sup> Alan S. Morris, Reza Langari. Measurement and instrumentation : theory and application. –pp356

#### Пример.4

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 (предполагая, что соединительная ошибка не была известна)?

#### 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: (а) 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.

### **Зпрактическое 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/см<sup>2</sup>, если при измерении давления 32 кгс/см<sup>2</sup> выходной сигнал составил  $I_d=3,93$  мА.<sup>29</sup>

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

Манометр, измеряющий давление пара, установлен на 5 м ниже точки отбора. Манометр показывает  $p=50$  кгс/см<sup>2</sup>, 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?

---

<sup>29</sup> Alan S. Morris, Reza Langari. Measurement and instrumentation : theory and application. –pp358

2. Как электромагнитный расходомер работает и для чего он обычно используется?
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.

## 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.

Сыр ые	Запа сы, кг	Продукты, расход сырья, кг				
		Оре ховый звон	Ра йский вкус	Бат ончик	Бе лка	Ро машка
Тем ный шоколад	141	0.8	0.5	1	2	1.1
Све тлый шоколад	149	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2
Сах ар	815. 5	0.3	0.4	0.6	1.3	0.0 5
Кар амель	466	0.2	0.3	0.3	0.7	0.5
Оре хи	108 0	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.

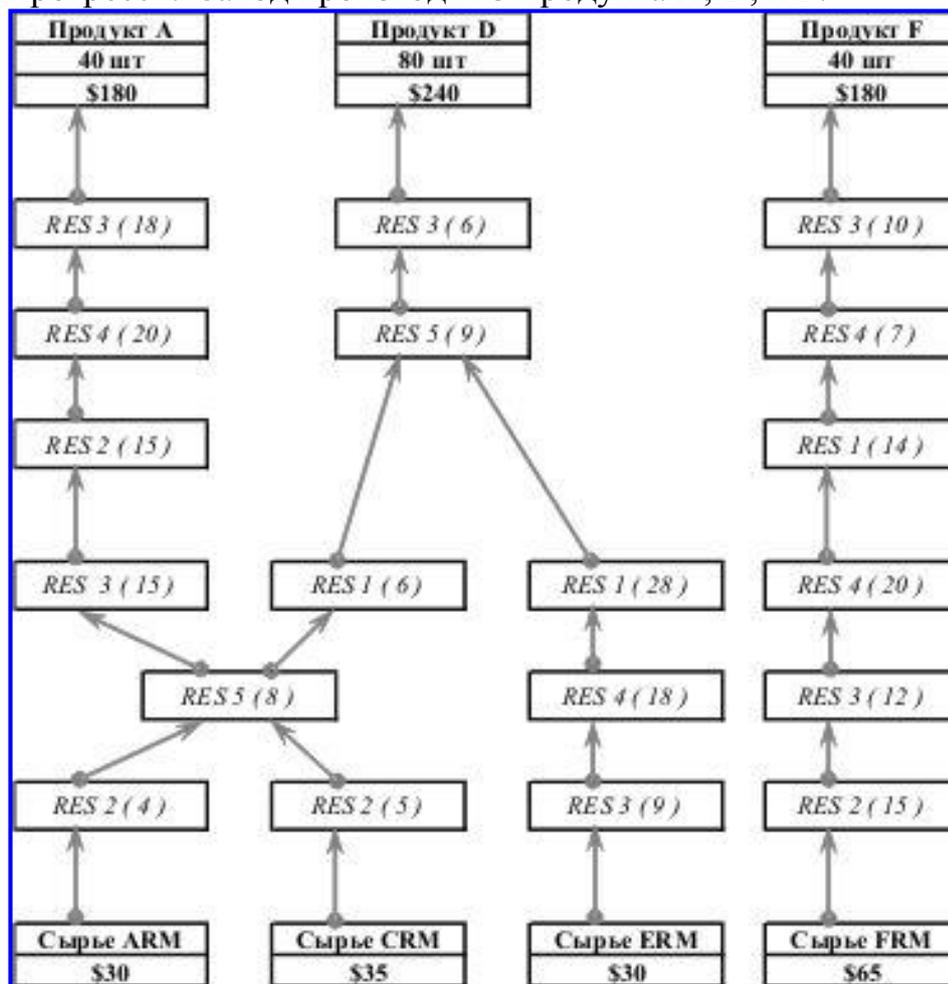


Схема показывает последовательность операций на имеющихся у завода универсальных станках, которым необходимо подвергнуть сначала сырье, а затем полуфабрикаты, для производства готовых продуктов, и время (в минутах), необходимое для каждой операции. Это время указано на схеме в скобках рядом с именем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

с- 3			00
с- 4	Ресур	1000	2000
			00
с- 5	Ресур	500	700
			00
	Итого	4000	7000
			000
			11

### ***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	% исполь-зования
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	% исполь-зования
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. ГЛОССАРИЙ

Term / Термин	Пояснение на русском	Description in English
<b>Абсолютная погрешность прибора / The absolute error of the instrument</b>	Разность между показанием прибора и истинным значением измеряемой величины.	The difference between the readings and the true value of the measured value.
<b>Агрегатирование / Hitching</b>	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.
<b>Активный вид контроля / The active type of control</b>	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.
<b>Безотказность / Infallibility</b>	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.
<b>Бесконтактный метод измерений / Non-contact measurement method</b>	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.
<b>Вероятность безотказной работы средств измерений P(t) / The probability of failure-free operation of measuring P (t)</b>	Вероятность того, что в течение времени t нормируемые характеристики погрешности средства измерения не выйдут за допускаемые пределы.	The likelihood that for a time t normalized characteristics of measuring instruments, error will not go beyond the permitted limits.
<b>Взаимозаменяемость / Interchangeability</b>	Это свойство независимо изготовленных деталей, узлов и агрегатов обеспечивать беспрепятственную сборку машин или приборов и выполнять своё служебное	This property is independently produced parts, components and assemblies to ensure smooth assembly of machines or appliances and to carry out his official appointment without breaking the technical

	назначение без нарушения технических требований, предъявляемых к данному изделию в целом.	requirements for this product as a whole.
<b>Внезапный отказ / Sudden failure</b>	Отказ, вызванный случайной поломкой, выходом из строя какого-либо элемента средства измерения.	Failure caused by accidental breakage, failure of any means of measuring element.
<b>Внесистемные единицы / Common units</b>	Единицы, которые не входят в какую-либо систему единиц.	Units that are not included in any system of units.
<b>Внешняя взаимозаменяемость / External interchangeability</b>	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.
<b>Внутренняя взаимозаменяемость / Internal interchangeability</b>	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.
<b>Государственный эталон / The state standard</b>	Официально утвержденный в качестве исходного для страны первичный или специальный эталон.	Approved as a source country for primary or special standard.
<b>Градировка / Graduation</b>	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.
<b>Действительное значение физической величины / The actual value of a physical quantity</b>	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 purpose can be used instead.

	для данной цели может быть использовано вместо него.	
<b>Диапазон измерений / Measurement range</b>	Область значений измеряемой величины, для которой нормированы допускаемые погрешности средства измерений.	Область значений измеряемой величины, для которой нормированы допускаемые погрешности средства измерений.
<b>Динамические погрешности / Dynamic error</b>	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.
<b>Дифференциальный метод измерений / Differential measurement method</b>	Метод определения отклонения известного значения от меры.	Method for determining the deviation of the known value of the measures.
<b>Дополнительная погрешность средства измерения / Additional measuring instruments, error</b>	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
<b>Долговечность / Durability</b>	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
<b>Дольная единица / Additional errors</b>	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.
<b>Дополнительные погрешности /</b>	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.
<b>Единица физической величины / The unit of the physical quantity</b>	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
<b>Единство измерений / Traceability</b>	Это состояние измерений, при котором их результаты	It is a condition of measurements at which their

	выражены в узаконенных единицах и погрешности измерений известны с заданной вероятностью.	results are expressed in legalized units and errors of measurements are known with a given probability
<b>Измерение / Measurement</b>	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 .
<b>Измерительные преобразователи / Transmitters</b>	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 .
<b>Измерить какую-либо величину / Measure any value</b>	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.
<b>Индикаторы / Indicators</b>	Технические устройства, предназначенные для обнаружения (индикации) физических свойств.	Engineering devices designed to detect (indicate) the physical properties.
<b>Инструментальные погрешности / Instrumental error</b>	Погрешности, которые зависят от погрешностей применяемых средств измерения.	Errors, which errors depend on the used measurement equipment.
<b>Интенсивность (или опасность) отказов \?(t) / Intensity (or hazard) bounce \?(T)</b>	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.
<b>Интерскоп / Interskol</b>	Прибор, преобразующий невидимые инфракрасные лучи в оптически видимые лучи.	Device that converts invisible infrared light in an optically visible rays.
<b>Истинное значение физической величины / The true value of a physical quantity</b>	Это такое значение физической величины, которое идеальным образом отражало бы в качественном и количественном отношениях соответствующее свойство объекта.	It is the value of a physical quantity, which is the perfect way to reflect the qualitative and quantitative relationship corresponding property of the object.
<b>Класс точности /</b>	Обобщенная характеристика	Generalized description of all

<b>Accuracy class</b>	всех средств измерений данного типа, устанавливающая оценку снизу точности их показаний.	measuring instruments of this type, which sets a lower bound for the accuracy of their readings.
<b>Класс точности средства измерения / Accuracy of measurement tools</b>	Его обобщенная характеристика, указывающая предельные значения допускаемой основной и дополнительной погрешностей.	It is generalized characteristic indicating the limits of permissible basic and additional errors.
<b>Комплексный контроль / Complex control</b>	Одновременная проверка комплекса элементов, определяющих качество контролируемого объекта.	Simultaneous verification of complex elements that determine the quality of the controlled object.
<b>Контактный метод измерений / Contact measurement method</b>	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.
<b>Кратная единица / Multiple unit</b>	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.
<b>Лазер / Laser</b>	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 сред.	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.
<b>Метод замещения / Substitution method</b>	Метод, заключающийся в том, что измеряемая величина замещается	Method, which consists in the fact that the measured value is replaced with a known value

	известной величиной, получаемой при помощи регулируемой меры.	obtained by means of an adjustable action.
<b>Метод измерения / Method of measurement</b>	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.
<b>Методические погрешности / Methodical errors</b>	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.
<b>Метод компенсации погрешности по знаку / Error compensation method in sign</b>	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.
<b>Метрологическая надежность / Metrological reliability</b>	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.
<b>Метрологические характеристики средств измерений / The metrological characteristics of measuring instruments</b>	Такие их технические характеристики, которые влияют на результаты и точность измерений.	Such their technical characteristics that affect performance and measurement accuracy.
<b>Метрологический отказ средства измерения / Metrological refusal measuring instruments</b>	"Выход" за допускаемые пределы.	"Output" of tolerance.
<b>Метрологическое обеспечение / Metrological support</b>	Это обеспечение, необходимое для достижения единства и	This software required to achieve the unity and the required measurement

	требуемой точности измерений.	accuracy.
<b>Метрология / Metrology</b>	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.
<b>Надёжность / Reliability</b>	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.
<b>Неоднородные серии / Heterogeneous series</b>	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.
<b>Неполная взаимозаменяемость / Incomplete interchangeability</b>	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.
<b>Непосредственный метод измерений / Direct measurement method</b>	Метод определения всего значения определяемой величины.	Method of determining the values of all determined values.
<b>Неравноточные измерения / unequal measurement</b>	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.
<b>Нестационарный процесс / non-stationary process</b>	Процесс, в котором определенным законом распределения вероятности случайной величины	A process in which a certain law of probability distribution of the random variable is not the same for all cross sections,

	неодинаков для любого сечения, т. е. зависит от времени.	ie. e. time-dependent.
<b>Нормативно-технический документ / Regulatory and technical documents</b>	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.
<b>Образцовые средства измерений / Standard gauges</b>	Средства, служащие для определения по ним значений метрологических характеристик аттестуемого.	Means serving to define them values of metrological characteristics attestation.
<b>Однородные серии / uniform series</b>	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.
<b>Органические (методические) погрешности / Organic (methodological) error</b>	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.
<b>Органолептические измерения / Organoleptic measurement</b>	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).
<b>Основная погрешность средства измерения / The basic error of measuring instruments</b>	Погрешность средства измерения, используемого в нормальных условиях.	Error of measuring instruments used in normal conditions.
<b>Основной диапазон измерений / The main measurement range</b>	Диапазон, из которого с помощью входных элементов (делителей, шунтов, измерительных усилителей) образуются все остальные диапазоны измерений.	Range, from which with the help of input elements (dividers, shunts, measuring amplifiers) are formed all the other measurement ranges.

<b>Основные единицы / Main unit</b>	Единицы, произвольно построенные единиц.	выбранные при построении системы	Units selected at random in the construction of a system of units.
<b>Относительная погрешность прибора / The relative error of the instrument</b>	Отношение погрешности (или значения величины).	абсолютной к истинному (или измеряемому)	The ratio of the absolute error to the true (or measured) value of the quantity.
<b>Пассивный вид контроля / The passive type of control</b>	Контроль, которого изменение технологического процесса и не влияют на качество выпускаемой продукции.	результаты которого не вызывают параметров процесса	Control, the results of which do not cause a change in process parameters and do not affect the quality of the products.
<b>Первичный эталон / Primary standard</b>	Эталон, воспроизводящий единицу с наивысшей в стране точностью.	воспроизводящий единицу с наивысшей в стране точностью.	Standard reproducing unit with the highest precision in the country.
<b>Погрешность измерения / Measurement error</b>	Отклонения измерения от значения величины.	результата измерения от истинного значения измеряемой величины.	The deviation of the measurement result from the true value of the measured value.
<b>Погрешность показаний прибора / Error readings</b>	Разность между показанием прибора и значением величины.	Разность между показанием прибора и истинным (действительным) значением измеряемой величины.	The difference between the readings and the true (real) value of the measured value.
<b>Погрешность средств измерений / Accuracy of measuring instruments</b>	Разница между значением величины, полученным при помощи этого средства, и истинным значением.	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.
<b>Полная взаимозаменяемость / Full interchangeability</b>	Это обеспечивается соблюдением параметров с такой точностью, которая допускает сборку и замену любых сопрягаемых деталей, узлов и агрегатов без дополнительных мероприятий ~ обработки, подбора, регулировки.	Это 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.
<b>Поправка / Amendment</b>	Значение, одноименной с полученному (при измерении) величины с исключения систематической	Значение величины, одноименной с измеряемой, которое нужно прибавить к полученному (при измерении) значению величины с целью исключения систематической	Value of the quantity being measured with the same name, which must be added to the obtained (measured) value of the quantity in order to avoid bias.

	погрешности.	
<b>Поправочный множитель / Correction factor</b>	Число, на которое умножают результат измерения для исключения систематической погрешности.	The number by which multiply the measurement result to avoid bias.
<b>Порог чувствительности / Sensitivity threshold</b>	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.
<b>Предел метрологической характеристики / Limit metrological characteristics</b>	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.
<b>Предметная специализация / Subject specialization</b>	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.
<b>Производные единицы / Derived units</b>	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.

## **VII. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

### **I. Ўзбекистон Республикаси Президентининг асарлари**

1. Каримов И.А. Ўзбекистон мустақилликка эришиш остонасида. - Т.:“Ўзбекистон”, 2011.
2. Мирзиёев Ш.М. Буюк келажакимизни мард ва олижаноб халқимиз билан бирга қурамиз. – Т.: “Ўзбекистон”. 2017. – 488 б.
3. Мирзиёев Ш.М. Миллий тараққиёт йўлимизни қатъият билан давом эттириб, янги босқичга кўтарамиз – Т.: “Ўзбекистон”. 2017. – 592 б.

### **II. Норматив-ҳуқуқий ҳужжатлар**

4. Ўзбекистон Республикасининг Конституцияси. – Т.: Ўзбекистон, 2019.
5. Ўзбекистон Республикасининг “Таълим тўғрисида”ги Қонуни.
6. Ўзбекистон Республикасининг “Коррупцияга қарши курашиш тўғрисида”ги Қонуни.
7. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2015 йил 12 июндаги “Олий таълим муасасаларининг раҳбар ва педагог кадрларини қайта тайёрлаш ва малакасини ошириш тизимини янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида” ги ПФ-4732-сонли Фармони.
8. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 7 февралдаги “Ўзбекистон Республикасини янада ривожлантириш бўйича Ҳаракатлар стратегияси тўғрисида”ги 4947-сонли Фармони.
9. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2018 йил 3 февралдаги “Хотин-қизларни қўллаб-қувватлаш ва оила институтини мустаҳкамлаш соҳасидаги фаолиятни тубдан такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида”ги ПФ-5325-сонли Фармони.
10. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2019 йил 17 июндаги “2019-2023 йилларда Мирзо Улуғбек номидаги Ўзбекистон Миллий университетида талаб юқори бўлган малакали кадрлар тайёрлаш тизимини тубдан такомиллаштириш ва илмий салоҳиятини ривожлантириш чора-тадбирлари тўғрисида”ги ПҚ-4358-сонли Қарори.
11. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2019 йил 11 июлдаги «Олий ва ўрта махсус таълим тизимида бошқарувнинг янги тамойилларини жорий этиш чора-тадбирлари тўғрисида»ги ПҚ-4391- сонли Қарори.
12. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2019 йил 11 июлдаги «Олий ва ўрта махсус таълим соҳасида бошқарувни ислоҳ қилиш чора-тадбирлари тўғрисида»ги ПФ-5763-сон [фармони](#).

13. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2019 йил 27 августдаги “Олий таълим муассасалари раҳбар ва педагог кадрларининг узлуксиз малакасини ошириш тизимини жорий этиш тўғрисида”ги ПФ-5789-сонли [фармони](#).

14. Ўзбекистон Республикаси Президентининг “2019-2021 йилларда Ўзбекистон Республикасини инновацион ривожлантириш стратегиясини тасдиқлаш тўғрисида”ги 2018 йил 21 сентябрдаги ПФ-5544-сонли Фармони.

15. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2019 йил 27 майдаги “Ўзбекистон Республикасида коррупцияга қарши курашиш тизимини янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида”ги ПФ-5729-сон Фармони.

16. Ўзбекистон Республикаси Президентининг 2017 йил 2 февралдаги “Коррупцияга қарши курашиш тўғрисида”ги Ўзбекистон Республикаси Қонунининг қоидаларини амалга ошириш чора-тадбирлари тўғрисида”ги ПҚ-2752-сонли қарори.

17. Ўзбекистон Республикаси Президентининг “Олий таълим тизимини янада ривожлантириш чора-тадбирлари тўғрисида”ги 2017 йил 20 апрелдаги ПҚ-2909-сонли қарори.

18. Ўзбекистон Республикаси Президентининг “Олий маълумотли мутахассислар тайёрлаш сифатини оширишда иқтисодиёт соҳалари ва тармоқларининг иштирокини янада кенгайтириш чора-тадбирлари тўғрисида”ги 2017 йил 27 июлдаги ПҚ-3151-сонли қарори.

19. Ўзбекистон Республикаси Президентининг “Нодавлат таълим хизматлари кўрсатиш фаолиятини янада ривожлантириш чора-тадбирлари тўғрисида”ги 2017 йил 15 сентябрдаги ПҚ-3276-сонли қарори.

20. Ўзбекистон Республикаси Президентининг “Олий таълим муассасаларида таълим сифатини ошириш ва уларнинг мамлакатда амалга оширилаётган кенг қамровли ислохотларда фаол иштирокини таъминлаш бўйича қўшимча чора-тадбирлар тўғрисида”ги 2018 йил 5 июндаги ПҚ-3775-сонли қарори.

21. Ўзбекистон Республикаси Вазирлар Маҳкамасининг 2012 йил 26 сентябрдаги “Олий таълим муассасалари педагог кадрларини қайта тайёрлаш ва уларнинг малакасини ошириш тизимини янада такомиллаштириш чора-тадбирлари тўғрисида”ги 278-сонли Қарори.

### **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](http://www.labview.ru)
2. [www.ziyonet.uz](http://www.ziyonet.uz)
3. [www.elibrary-book.ru](http://www.elibrary-book.ru)
4. [www.books.ru/.../technologicheskie-izmereniya-i-pribory-dlya-khimiche](http://www.books.ru/.../technologicheskie-izmereniya-i-pribory-dlya-khimiche)
5. [www.radiosovet.ru/.../5815-tehnologicheskie-izmereniya-i-pribory](http://www.radiosovet.ru/.../5815-tehnologicheskie-izmereniya-i-pribory)