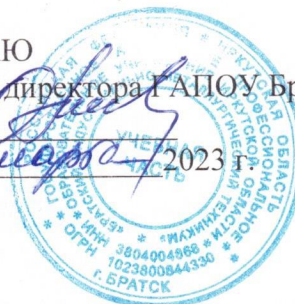


**ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ
«БРАТСКИЙ ИНДУСТРИАЛЬНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ ТЕХНИКУМ»**

УТВЕРЖДАЮ
Заместитель директора ГАПОУ БРИМТ
О.Е.Рогова
«16» сентября 2023 г.



МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

для студентов по выполнению лабораторных и практических работ

по МДК 03.01 «Автоматизация технологических процессов»

**ПМ.03 Контроль промежуточного и конечных продуктов в производстве цветных
металлов и сплавов**

специальность 22.02.02 Metallurgy цветных металлов

2023 г.

Методические указания разработаны на основе Федерального государственного образовательного стандарта, программы МДК 03.01 «Автоматизация технологических процессов» ПМ.03 Контроль промежуточного и конечных продуктов в производстве цветных металлов и сплавов (Организация разработчик: Государственное автономное профессиональное образовательное учреждение Иркутской области «Братский индустриально-металлургический техникум» (ГАПОУ БРИМТ), учебного плана по специальности среднего профессионального образования (далее – СПО) 22.02.02 Metallurgy цветных металлов.

Организация-разработчик: Государственное автономное профессиональное образовательное учреждение Иркутской области «Братский индустриально-металлургический техникум» (ГАПОУ БРИМТ).

Разработчики:

Тарасова Т.А. – преподаватель ГАПОУ БРИМТ;

Рассмотрена и одобрена на заседании предметной (цикловой) комиссии электротехнического цикла

« 16 » марта 2023 г., № 7

Председатель комиссии: Сафронова Н.Е.



СОДЕРЖАНИЕ

1. ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА.....	4
2. ПЕРЕЧЕНЬ ЛАБОРАТОРНЫХ И ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ.....	6
3. ПРАВИЛА ВЫПОЛНЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ.....	7
4. Контрольная работа № 1 «Производственные и технологические процессы».....	8
5. Контрольная работа № 2 «Автоматизация производства».....	11
6. Практическая работа № 1 «Определение приращения в капилляре термометра».....	13
7. Практическая работа № 2 «Изучение устройства и принципа действия датчиков температуры (в частности, установка и проверка термометров сопротивления)».....	16
8. Практическая работа № 3 «Расчет сужающих устройств».....	28
9. Практическая работа № 4 «Расчет расхода воды через насадку гидромонитора».....	31
10. Контрольная работа № 3 «Типы и назначение контрольно-измерительных приборов».....	33
11. Практическая работа № 5 «Построение функциональных схем».....	35
12. Практическая работа № 6 «Составление блок-схемы системы управления трубопрокатным агрегатом».....	36
13. Практическая работа № 7 «Исследование блок-схемы дистанционного управления краном»...	42
14. Практическая работа № 8 «Определение автоматических систем управления по определенным признакам».....	46
15. Практическая работа № 9 «Построение схем разомкнутых и замкнутых систем управления»...	50
16. Дополнительные практические работы.....	54
17. Дифференцированный зачёт.....	75
18. СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	76

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Методические указания составлены в соответствии с программой МДК 03.01 «Автоматизация технологических процессов» ПМ.03 Контроль промежуточного и конечных продуктов в производстве цветных металлов и сплавов по специальности 22.02.02 Metallургия цветных металлов и предназначены для выполнения контрольных и практических работ по МДК 03.01 «Автоматизация технологических процессов» ПМ.03 Контроль промежуточного и конечных продуктов в производстве цветных металлов и сплавов.

Профессиональный модуль входит в профессиональный цикл и содержит 3 часа контрольных и 8 часов практических работ. Методические указания по выполнению лабораторных работ адресованы студентам очной формы обучения

Дидактическая цель практических работ – осмыслить и закрепить материал лекций, сформировать умения применять полученные знания на практике, реализовать единства интеллектуальной и практической деятельности, развивать выработку при решении поставленных задач самостоятельность, ответственность, точность, творческую инициативу.

Методические указания включают в себя учебную цель, перечень образовательных результатов, заявленных во ФГОС СПО, задачи, обеспеченность занятия, краткие теоретические и учебно-методические материалы по теме, вопросы для закрепления теоретического материала, задания для контрольных и практических работ студентов и инструкции по их выполнению, методику анализа полученных результатов, порядок и образец отчета о проделанной работе.

В данный сборник входит 8 практических работ и 3 контрольных работы, в каждой работе даются краткие методические указания, и их следует строго выполнять. Далее указаны номер, наименование и количество часов, отведенного на каждую работу.

В результате изучения профессионального модуля обучающийся должен освоить вид деятельности «Контроль промежуточных и конечных продуктов в производстве цветных металлов и сплавов» и соответствующие ему общие и профессиональные компетенции:

Перечень общих компетенций

Код	Наименование общих компетенций
ОК 01	Выбирать способы решения задач профессиональной деятельности применительно к различным контекстам
ОК 02	Использовать современные средства поиска, анализа и интерпретации информации, и информационные технологии для выполнения задач профессиональной деятельности
ОК 03	Планировать и реализовывать собственное профессиональное и личностное развитие, предпринимательскую деятельность в профессиональной сфере, использовать знания по финансовой грамотности в различных жизненных ситуациях
ОК 04	Эффективно взаимодействовать и работать в коллективе и команде
ОК 09	Пользоваться профессиональной документацией на государственном и иностранном языках

Перечень профессиональных компетенций

Код	Наименование видов деятельности и профессиональных компетенций
ВД 3	Контроль промежуточных и конечных продуктов в производстве цветных металлов и сплавов
ПК 3.1.	Оценивать качество исходного сырья
ПК 3.2.	Оценивать качество промежуточных продуктов
ПК 3.3.	Оценивать качество готовой продукции
ПК 3.4.	Оформлять техническую, технологическую и нормативную документацию
ПК 3.5.	Выполнять необходимые типовые расчеты.

В результате освоения профессионального модуля обучающийся должен:

Владеть навыками	Н 3.1.01	оценки качества исходного сырья
	Н 3.2.01	оценки качества промежуточных продуктов
	Н 3.3.01	оценки качества готовой продукции
	Н 3.4.01	оформления технической, технологической и нормативной документации
	Н 3.5.01	выполнения необходимых типовых расчетов
Уметь	У 3.1.01	проводить анализ исходного сырья с помощью физических, химических и физико-химических методов анализа
	У 3.1.02	пользоваться контрольно-измерительными приборами, средствами и системами автоматизации технологических процессов металлургических цехов
	У 3.2.01	проводить анализ промежуточных продуктов с помощью физических, химических и физико-химических методов анализа
	У 3.3.01	проводить анализ готовой продукции с помощью физических, химических и физико-химических методов анализа
	У 3.4.01	применять требования нормативных документов по основным видам продукции и процессов
	У 3.4.02	применять документацию систем качества
	У 3.5.01	рассчитывать основные технологические параметры
Знать	З 3.1.01	типы и назначение контрольно-измерительных приборов, используемых для контроля и управления металлургическими процессами
	З 3.1.02	автоматические системы управления технологическими процессами в цветной металлургии
	З 3.2.01	основные методы анализа цветных металлов и сплавов
	З 3.3.01	основные методы оценки качества цветных металлов
	З 3.4.01	основные понятия и определения метрологии, стандартизации и сертификации
	З 3.5.01	основные методы анализа цветных металлов и сплавов

ПЕРЕЧЕНЬ КОНТРОЛЬНЫХ И ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ

№	Наименование работы	Кол. часов	ОК, ПК
1	Контрольная работа № 1 «Производственные и технологические процессы»	1	ПК 3.1 ОК 01 ОК 02 ОК 09
2	Контрольная работа № 2 «Автоматизация производства»	1	ПК 3.1 ОК 01 ОК 02 ОК 09
3	Практическая работа № 1 «Определение приращения в капилляре термометра»	1	ПК 3.1 ОК 01 ОК 02
4	Практическая работа № 2 «Изучение устройства и принципа действия датчиков температуры (в частности, установка и проверка термометров сопротивления)»	1	ПК 3.1 ОК 01 ОК 02
5	Практическая работа № 3 «Расчет сужающих устройств»	1	ПК 3.1 ОК 01 ОК 02
6	Практическая работа № 4 «Расчет расхода воды через насадку гидромонитора»	1	ПК 3.1 ОК 01 ОК 02
7	Контрольная работа № 3 «Типы и назначение контрольно-измерительных приборов»	1	ПК 3.1 ОК 01 ОК 02
8	Практическая работа № 5 «Построение функциональных схем»	1	ПК 3.1 ОК 01 ОК 02
9	Практическая работа № 6 «Составление блок-схемы системы управления трубопрокатным агрегатом»	1	ПК 3.1 ОК 01 ОК 02
10	Практическая работа № 7 «Исследование блок-схемы дистанционного управления краном»	1	ПК 3.1 ОК 01 ОК 02
11	Практическая работа № 8 «Определение автоматических систем управления по определенным признакам»	1	ПК 3.1 ОК 01 ОК 02
12	Практическая работа № 9 «Построение схем разомкнутых и замкнутых систем управления»	1	ПК 3.1 ОК 01 ОК 02
13	Дифференцированный зачёт	2	ПК 3.1 ОК 01 ОК 02 ОК 09
Всего:		12+2	

ПРАВИЛА ВЫПОЛНЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ

Практические работы проводятся в лекционной аудитории.

Перед выполнением практических работ студент должен строго выполнить весь объем домашней подготовки; знать, что выполнению каждой работы предшествует проверка готовности студента.

При выполнении работ студент должен самостоятельно изучить методические рекомендации по проведению конкретной работы; выполнить соответствующие задания и расчеты; пользоваться справочной и технической литературой; подготовить ответы на контрольные вопросы.

Изучая теоретическое обоснование, студент должен иметь в виду, что основной целью изучения теории является умение применить ее на практике для решения практических задач.

При решении задач рекомендуется сначала наметить ход решения. В случае простых задач рекомендуется сначала найти решение в общем виде, лишь в конце поставив числовые значения. В случае задач с большим вычислением рекомендуется после того, как намечен ход решения, подставлять числовые значения и проводить вычисления в промежуточных формулах.

После выполнения работы студент должен представить отчет о проделанной работе с полученными результатами и выводами и устно ее защитить. Отчеты по практическим работам выполняются в отдельной тетради в клетку. Необходимо оставлять поля шириной 25...30 мм для замечаний преподавателя. Все схемы и рисунки, сопровождающие выполнение практических работ, выполняются карандашом в соответствии с требованиями ГОСТ.

Неаккуратное выполнение практической работы, несоблюдение принятых правил и плохое оформление чертежей и схем могут послужить причиной возвращения работы для доработки.

Если студент не выполнил практическую работу или часть работы, то он может выполнить работу или оставшуюся часть внеурочное время, согласованное с преподавателем.

Оценку по практической работе студент получает, с учетом срока выполнения работы, если:

- задания выполнены правильно и в полном объеме;
- сделан анализ проделанной работы и вывод по результатам работы;
- студент может пояснить выполнение любого этапа работы;
- отчет выполнен в соответствии с требованиями к выполнению работы.

Зачет по практическим работам студент получает при условии выполнения всех предусмотренных программой работ после сдачи отчетов по работам при удовлетворительных оценках за опросы и контрольные вопросы во время практических занятий.

Критерии оценки выполнения практических заданий

Оценка «отлично» ставится, если студент выполнил работу в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности действий; в ответе правильно и аккуратно выполняет все записи, таблицы, рисунки, чертежи, графики, вычисления; правильно выполняет анализ ошибок.

Оценка «хорошо» ставится, если студент выполнил требования к оценке «отлично», но допущены 2-3 недочета.

Оценка «удовлетворительно» ставится, если студент выполнил работу не полностью, но объем выполненной части таков, что позволяет получить правильные результаты и выводы; в ходе проведения работы были допущены ошибки.

Оценка «неудовлетворительно» ставится, если студент выполнил работу не полностью или объем выполненной части работы не позволяет сделать правильных выводов;

Оценивание защиты контрольных вопросов

Оценка «отлично» ставится в том случае, если студент

- правильно понимает сущность вопроса, дает точное определение и истолкование основных понятий;
- строит ответ по собственному плану, сопровождает ответ новыми примерами, умеет применить знания в новой ситуации;
- может установить связь между изучаемым и ранее изученным материалом из курса, а также с материалом, усвоенным при изучении других дисциплин.

Контрольная работа №1

Тема: Производственные и технологические процессы

Цель работы: изучить и уметь различать простейшие структурные и функциональные схемы автоматических систем.

Теоретические сведения.

Информацию, подлежащую передаче, называют сообщением. В автоматике сообщением является электрический сигнал (сила тока, напряжение) определённой величины.

Автоматические устройства состоят из элементов, каждый из которых может выполнить одну простейшую операцию с сигналом — носителем информации. Системы автоматики состоят из отдельных, связанных между собой элементов, каждый из которых выполняет определённую функцию. Элемент автоматики можно рассматривать как преобразователь энергии, на вход которого подается сигнал—некоторая величина X , а с выхода снимается сигнал— величина Y (рис. 1).

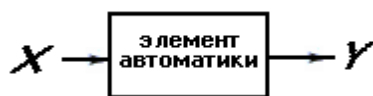


Рис. 1.1 Элемент автоматики.

Элементами автоматики в зависимости от назначения являются: объекты управления; датчики; усилители; устройства управления; исполнительные механизмы; пр. Различные элементы автоматики выполняют каждый свою функцию в управлении технологическим процессом.

Технологический процесс — это часть производственного процесса, содержащая действия, выполняемые в определенном порядке для изменения состояния объекта и определения этого состояния. Технологические процессы являются объектами управления.

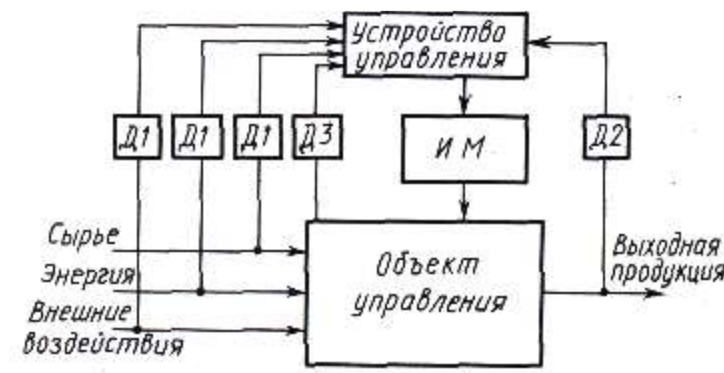


Рис. 1.2. Упрощенная схема управления технологическим процессом

Датчики $Д1$ получают информацию о параметрах сырья, энергии и различных внешних воздействий; датчики $Д2$ — о параметрах выходной продукции; датчики $Д3$ — о текущем состоянии объекта управления.

Эта информация преобразуется датчиками во входные сигналы устройства управления. На основании информации датчиков устройство управления вырабатывает необходимые сигналы управления.

Устройствами, передающими управляющее воздействие, являются исполнительные механизмы **ИМ**. Они осуществляют непосредственное управление работой объекта управления.

Для изучения работы различных автоматических систем управления технологическими процессами используют их структурные, функциональные и принципиальные схемы.

Функциональная и структурная схемы систем автоматики (блок-схемы) используют для наглядности и изображения элементов автоматических систем и их функциональной зависимости. Они показывают общий принцип действия и структуру системы, служат для общего ознакомления с автоматическим устройством и являются основой для составления принципиальных схем.

Составные части системы (блоки) представляются геометрическими фигурами (прямоугольниками, кружками), а их взаимодействие — линиями со стрелками. Блоки обозначаются буквами (словами), соответствующими выполняемым ими функциям. Число блоков зависит от детализации функций, выполняемых в системе.

Каждый из видов автоматических систем имеют ряд общих функциональных узлов, позволяющих свести любую систему (управления, контроля, регулирования) к общей функциональной схеме.

Принципиальная схема дает подробное представление о работе и структуре автоматической системы.

На этой схеме элементы и связи между ними изображают в виде условных графических обозначений, установленных Государственным стандартом (ГОСТ). Позиционные обозначения устройств или элементов принципиальной схемы также определяются требованиями ГОСТа.

На **рис. 1.3, а** представлена простейшая принципиальная электрическая схема электропривода с двигателем постоянного тока, питаемым от генератора постоянного тока с независимым возбуждением, и тахогенератором на валу двигателя.

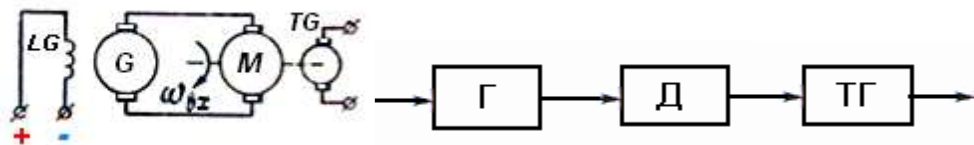


Рис. 1.3. Схема электропривода: а — принципиальная; б — структурная

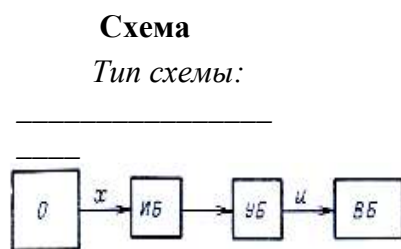
На структурной схеме (**рис. 1.3, б**) все три элемента системы изображены в виде прямоугольников, а функциональная связь между ними указана стрелками.

Для разработки системы автоматики нужно знать:

1. Продукт, который мы хотим получить
2. Операции, которые нужно выполнить для его получения
3. Порядок выполнения операций
4. Устройства, необходимые для выполнения этих операций
5. Промежуточные величины, которые нужно контролировать для получения оптимального результата

ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

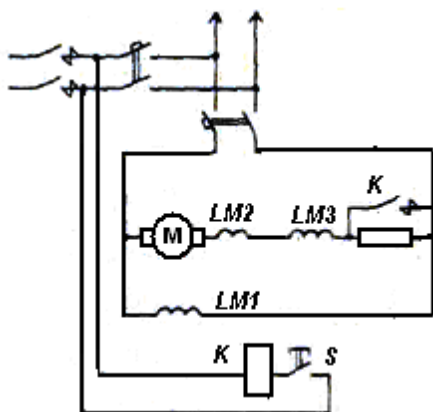
Задание 1. Запишите признаки структурной и принципиальной схем. Какая из схем является блок-схемой, а какая – принципиальной? На основании каких утверждений вы сделали такой вывод?



Признаки

- 1.
- 2.
- 3.
- 4.
- 5.

Тип схемы: _____



Задание 2. Составьте функциональную схему технологического процесса по своей профессии

Задание 3. Составьте структурную схему по своей профессии

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

1. Для чего используются в автоматике блок-схемы?
2. Как представляют в блок-схемах составные части системы? направление передачи сигнала?
3. Что означают буквы, написанные внутри блоков структурной схемы?
4. Для чего используют принципиальную схему?
5. Как изображают на принципиальной схеме элементы и связи между ними?
6. Что называется технологическим процессом?
7. Какой тип схемы использован для объяснения технологического процесса? Сколько элементов автоматике работает в данной схеме? Какие функции они выполняют?
8. Какие сигналы для каждого из них являются входными? Выходными?

Контрольная работа № 2

Тема: Автоматизация производства

Цель работы: научиться составлять простейшие линейные алгоритмы, алгоритмы с ветвлением и циклические алгоритмы автоматизации производства.

Теоретические сведения.

Автоматизация производства позволяет освободить человека от непосредственного участия в производственных процессах, переложив их выполнение на плечи технических средств. Но для того чтобы «научить» их выполнению какой-либо работы, человеку надо сначала тщательно изучить эту работу самому, осознать цель работы, представить до мелочей каждое действие, понять от каких условий и как оно зависит, и подробно описать порядок выполнения действий.

Современные технические средства во многом превосходят человека – они могут выполнять различные действия быстрее и точнее, работать без усталости, не совершая ошибок продолжительное время. Но каждое действие, даже самое простое (например, вернуться в исходное положение), они могут выполнить только по команде человека.

Следовательно, автоматизацию любого процесса надо начинать с подробного перечня действий, из которых состоит процесс. Такой перечень составляется и записывается по определенным правилам.

Алгоритм – это последовательность действий, ведущих к достижению цели. Алгоритм, записанный на понятной машине языке, называется программой.

Алгоритмы, в которых действия выполняются последовательно, одно за другим, называются **линейными алгоритмами**. Алгоритмы, в которых производится выбор одного из нескольких вариантов действий в зависимости от выполнения некоторого условия, называются **алгоритмом с ветвлением, или условными алгоритмами**. Алгоритмы, в которых повторяются одни те же действия, называются **циклическими алгоритмами**. Алгоритмы, целиком и многократно используемые в составе других алгоритмов, называются **вспомогательными алгоритмами**.

Существуют несколько способов записи алгоритмов:

- 1) Словесная запись – это запись последовательности действий на одном из языков человеческого общения. Он подходит для линейных алгоритмов и используется в повседневной жизни.
- 2) Графическое представление (блок-схема) – это набор специальных графических символов, расположенных в порядке выполнения действий алгоритма. Начало и конец алгоритма обозначается знаком

Идущая вниз линия означает переход от одного действия к другому. Любое действие алгоритма изображается в прямоугольнике. Если алгоритм содержит несколько действий, выполняемых последовательно одно за другим, то они могут быть вписаны в один прямоугольник.

Проверка выполнения условия и выбор ветви алгоритма представляются ромбом, в который условие вписывается в виде вопроса.

Операция ввода данных или вывода результатов обозначается -----

Символ вызова вспомогательного алгоритма имеет вид: -----

ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

Задание 1. Напишите блок-схему алгоритма сортировки изделий в двух вариантах (с ветвлением и циклического алгоритма)

Задание 2. Напишите блок-схему циклического алгоритма погрузки контейнеров с выполнением одного условия и с выполнением двух условий)

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

1. Сформулируйте определение алгоритма.
2. В чем особенность восприятия алгоритмов машинами?
3. Дайте определение программы.
4. Назовите виды алгоритмов и приведите примеры
5. Расскажите о способах записи алгоритмов
6. Изобразите и поясните графические символы, применяемые для записи алгоритмов.

Практическая работа №1

Тема: «Определение приращения в капилляре термометра»

Цель: определить приращение в капилляре термометра

Термометр – устройство, предназначенное для измерения температуры путем преобразования ее в показания или в сигнал, который в свою очередь является известной функцией температуры. Чувствительным элементом термометра называется его часть, которая преобразует тепловую энергию в другой вид энергии для получения информации о температуре. Различают два вида термометров. Контактные – это термометры, чувствительный элемент которых входит в непосредственное соприкосновение с измеряемой средой и бесконтактные, чувствительный элемент которых не имеет непосредственного соприкосновения со средой, температура которой измеряется. Такие термометры называют пирометрами.

Жидкостные стеклянные термометры

Принцип действия жидкостных стеклянных термометров (ЖСТ) основан на физическом свойстве тел изменять свой объем в зависимости от нагрева, и на различии коэффициентов объемного расширения жидкости $\alpha_{ж}$ и стекла α_c . Тепловое расширение жидкости характеризуется средним коэффициентом объемного расширения, значение которого определяется соотношением:

$$\alpha_{ж} = \frac{V_2 - V_1}{V_0 \cdot (t_2 - t_1)},$$

где V_1, V_2, V_0 – объемы жидкости при температурах $t_1, t_2, 0^\circ\text{C}$; $t_1 > t_2$.

Приращение в капилляре термометра столба жидкости Δh при нагреве от t_1 до t_2 определяется по следующей формуле:

$$\Delta h = 1,275 \cdot \frac{V_1(\alpha_{ж} - \alpha_c) \cdot (t_2 - t_1)}{d^2},$$

где V_1 – объем жидкости при температуре t_1 , мм^3 ; d – внутренний диаметр капилляра, мм .

Разность коэффициентов объемного расширения жидкости $\alpha_{ж}$ и термометрического стекла α_c в уравнении, представляет собой средний температурный коэффициент видимого расширения жидкости в стекле $\alpha_v = \alpha_{ж} - \alpha_c$.

Для изготовления термометров применяют стекла с малым коэффициентом расширения $\alpha_c \approx 2 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$.

В качестве термометрических жидкостей применяют вещества, перечисленные в табл. 2.

Таблица 2 - Характеристики термометрических жидкостей

Термометрическое вещество	$\alpha_{ж}, \text{K}^{-1}$	Диапазон измерения, $^\circ\text{C}$
Ртуть	$\sim 16 \cdot 10^{-5}$	$-35 \div 600$
Спирт метиловый	$\sim 115 \cdot 10^{-5}$	$-80 \div 80$
Спирт этиловый	$\sim 103 \cdot 10^{-5}$	$-80 \div 80$
Керосин	$\sim 93 \cdot 10^{-5}$	$0 \div 300$
Пентан	$\sim 170 \cdot 10^{-5}$	$-190 \div 20$

ЖСТ (Рис. 1). выпускают двух видов - палочные и с вложенной шкалой.

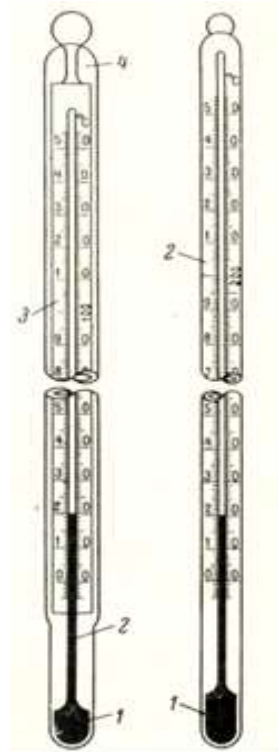


Рисунок – 1

ЖСТ с вложенной шкалой имеют тонкостенный капилляр с расширенным резервуаром для термометрической жидкости. Шкала наносится на пластинку из матового стекла 3, которая вместе с капилляром 2 помещается в стеклянную оболочку 4, приклеенную к резервуару термометра 1. Палочные термометры имеют толстостенный капилляр 2, нижний конец которого образует резервуар 1. Шкала нанесена на внешней поверхности капилляра. Технические термометры изготавливают только с вложенной шкалой.

На практике используют следующие виды термометров:

- технические ртутные со вложенной шкалой прямые и угловые (угол 90° и 135°) со шкалами – $35\div 50^\circ\text{C}$ и $0\div 50, 100, 150, 500^\circ\text{C}$; с ценой деления (верхний предел измерения до 50°C) – $0,5^\circ\text{C}$ и 1°C , возрастающей до 5°C или 10°C для больших верхних пределов измерения;
- электроконтактные ртутные с вложенной шкалой, с впаянными контактами для замыкания столбиком ртути электрической цепи, или с подвижным сигнальным контактом с верхним пределом до 300°C ;
- специальные термометры (метеорологические и др.);
- лабораторные ртутные палочные и с вложенной шкалой, погружаемые в измеряемую среду до отсчитываемой отметки, с ценой деления $0,1^\circ\text{C}$;
- термометры повышенной точности и эталонные ртутные термометры с верхним пределом измерения до 600°C и ценой деления $0,01^\circ\text{C}$;
- технические не ртутные термометры, выпускаемые в различном конструктивном исполнении.

Наиболее широко на практике используют ртутные термометры различных модификаций. Ртуть не смачивает стекло, практически не окисляется, легко получается в химически чистом виде.

Ртуть имеет значительный интервал между точкой плавления ($-38,86^\circ\text{C}$) и точкой кипения ($356,6^\circ\text{C}$). Верхний предел измерения ртутных термометров можно расширять - для технических термометров до 500°C , для образцовых термометров - до 600°C . Это возможно за счет заполнения верхней части капилляра инертным газом под давлением до 2 МПа.

Предел допускаемой основной абсолютной погрешности технического термометра не должен превышать цены деления шкалы. Например, для термометра с ценой деления 1°C и диапазоном измерения $0\div 100^\circ\text{C}$ предел допускаемой основной абсолютной погрешности равен $\Delta_d = \pm 1^\circ\text{C}$.

Для других ЖСТ допускаемые погрешности при одной и той же цене деления устанавливаются различными для различных температурных интервалов. Например, при цене деления $0,1^\circ\text{C}$ для интервала температур $0\div 50^\circ\text{C}$ предел допускаемой основной абсолютной погрешности равен

$\Delta_d = \pm 0,2^\circ\text{C}$, а для интервала температур $250 \div 300^\circ\text{C}$ при той же цене деления $\Delta_d = \pm 0,8^\circ\text{C}$.

Проверка жидкостных термометров производится методом сличения с эталонными приборами более высокого класса точности. В качестве рабочего эталона можно использовать лабораторные термометры с ценой деления $0,1^\circ\text{C}$, а нагрев термометров производить в термостатах. Для температур

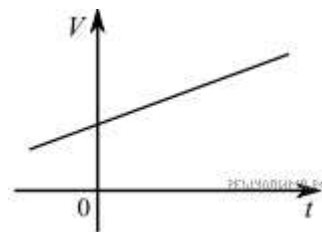
$-80 \div -1^\circ\text{C}$ используется криостат, который заполняется этиловым спиртом или другой незамерзающей жидкостью; для температуры 0°C – нулевой термостат, заполненный смесью льда с водой; для интервала температур $+1 \div 100^\circ\text{C}$ – водяной термостат; для интервала температур $+95 \div 300^\circ\text{C}$ – масляный термостат; для температур $+300 \div 600^\circ\text{C}$ – солевой термостат.

Перечисленное оборудование, применяемое для проверки термометров, можно заменить калибратором температур.

ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

Задание 1. На шкале ртутного термометра расстояние между отметками $t_1 = 35^\circ\text{C}$ и $t_2 = 42^\circ\text{C}$ равно $L = 5$ см. В термометре находится $m = 2$ г ртути.

Экспериментально установлено, что с ростом температуры объем ртути увеличивается по линейному закону. График зависимости объема V ртути от температуры t , измеренной в градусах Цельсия, представлен на рисунке к задаче. При температуре $t_{100} = 100^\circ\text{C}$ объем ртути в $\beta = 1,018$ раза больше объема ртути при $t_0 = 0^\circ\text{C}$. Плотность ртути при температуре $t_0 = 0^\circ\text{C}$ считайте равной $\rho = 13,6$ г/см³. Тепловое расширение стекла пренебрежимо мало.



1. Следуя представленным опытным данным, запишите формулу зависимости объема $V(t)$ ртути от температуры t , измеренной в градусах Цельсия. Формула должна содержать величины: m , ρ , β , t_0 , t_{100} , t .

2. Найдите приращение ΔV объема ртути при увеличении температуры от $t_1 = 35^\circ\text{C}$ до $t_2 = 42^\circ\text{C}$. В ответе приведите формулу и число в мм³.

3. Найдите площадь S поперечного сечения капилляра термометра.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

1. Что такое термометр?
2. На чем основан принцип действия жидкостных стеклянных термометров?
3. Какие вещества применяются в качестве термометрических жидкостей?
4. ЖСТ каких видов выпускают?
5. Какие виды термометров используют на практике?

Практическая работа № 2

Изучение устройства и принципа действия датчиков температуры (в частности, установка и проверка термометров сопротивления)

Цель работы: изучить принцип действия, конструкции, области применения датчиков температуры и экспериментально определить их статические характеристики.

Задание:

1. При подготовке к лабораторной работе изучить принципы действия, конструкции, назначение, условия эксплуатации и области применения жидкостных термометров расширения, биметаллических и dilatометрических термометров, манометрических термометров, термоэлектрических датчиков температуры и термометров сопротивления.

2. Изучить устройство лабораторной установки и порядок выполнения работы.

3. Экспериментально определить статические характеристики используемых в лабораторной установке датчиков температуры.

1 Методические указания

Для измерения температуры при контроле влажностно - тепловых процессов производства используют различные приборы-термометры. Эти приборы градуируются в градусах ($^{\circ}\text{C}$). Для измерения температуры контактным методом используются следующие термометры:

- расширения, измеряющие температуру по тепловому расширению жидкостей (жидкостные) или твердых тел (дилатометрические, биметаллические);
- манометрические, использующие зависимость между температурой и давлением газа (газовые) или насыщенных паров жидкости (конденсационные), а также между температурой и объемом жидкости (жидкостные) в замкнутом пространстве термосистемы;
- термоэлектрические, действие которых основано на измерении термоэлектродвижущей силы (термо-э.д.с.), развиваемой термопарой (спаем) из двух разнородных проводников;
- сопротивления, использующие зависимость электрического сопротивления проводника от его температуры. Для измерения температуры бесконтактным методом используют пирометры:
- яркостные, измеряющие температуру по яркости нагретого тела в заданном узком диапазоне длин волн;
- радиационные, измеряющие температуру по тепловому действию суммарного излучения нагретого тела (во всем диапазоне длин волн);
- цветовые, принцип действия которых основан на измерении отношений энергий, излучаемых телом в разных спектральных диапазонах. По характеру получения информации различают пирометры для локального измерения температуры в данной точке объекта и для анализа температурных полей - тепловизоры.

Жидкостные стеклянные термометры расширения. Измерение температуры жидкостными стеклянными термометрами основано на различии коэффициентов объемного расширения жидкости и стеклянной оболочки термометра. Пределы измерения жидкостных стеклянных термометров - от -120°C до $+650^{\circ}\text{C}$. Для наполнения термометров используют различные термометрические жидкости: ртуть, этиловый спирт, керосин, петролейный эфир, пентан.

По конструктивному исполнению жидкостные стеклянные термометры выпускаются трех типов: 1. Термометры палочные (тип А). У этого типа термометров толстостенный массивный капилляр переходит в резервуар, который изготовлен из стекла или припаян к нему в виде заготовки заданной конфигурации. Деления шкалы нанесены на наружной поверхности капиллярной трубки. Такую конструкцию имеют большинство образцовых термометров.

2. Термометры со шкалой, вложенной внутрь стеклянной оболочки (тип Б). У этого типа термометров капилляр впаян в оболочку, из стекла которой сформирован чувствительный элемент - резервуар. Шкала изготовлена из стекла молочного цвета, 35 из алюминия или бумаги. Такие термометры получили наибольшее распространение.

3. Термометры с наружной шкальной пластиной (тип В). Этот тип термометров изготовлен в виде капиллярной трубки, прикрепленной к шкальной пластине или оправе, на которых нанесена шкала. Такие термометры применяют в основном для измерения температуры воздуха в производственных или бытовых помещениях.

По способу получения информации об изменении температуры термометры подразделяются на контрольные (предназначены для визуального отсчета показаний) и контактные (предназначены для замыкания или размыкания цепей электрического тока с целью поддержания постоянной температуры или сигнализации о достижения температуры заданного значения).

Контактные термометры (электротерморегуляторы) изготавливают как с заданной температурой контактирования, так и с магнитной регулировкой положения контакта, обеспечивающей сигнализацию или поддержание температуры в любой точке предела измерения термометра.

Некоторые типы жидкостных стеклянных термометров расширения показаны на рис.1.

Помимо термометров специального назначения в промышленности для контроля температуры влажностно-тепловых процессов используют термометры промышленные, лабораторные и метеорологические.

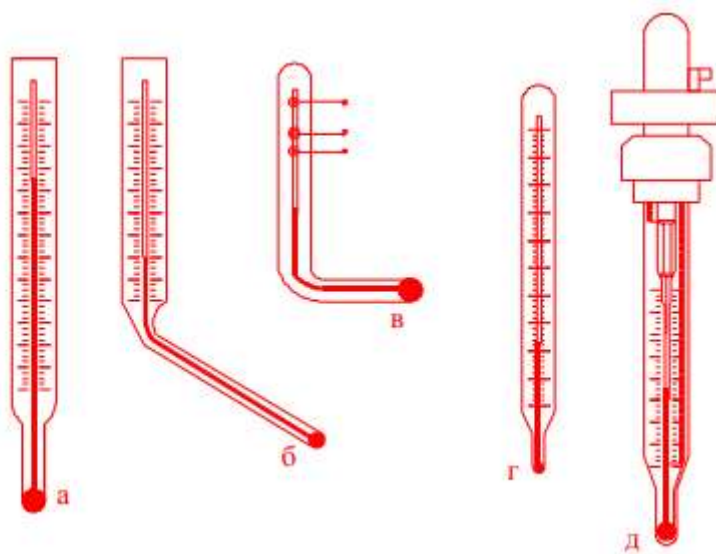


Рис.1. Жидкостные стеклянные термометры расширения

а, б - технические с вложенной шкалой прямой и угловой; г - лабораторный химический с вложенной шкалой; в - электротерморегулятор палочный двух контактный угловой; д - электротерморегулятор с магнитной регулировкой контакта;

Некоторые из этих термометров (ТС-11, ТМ-4, ТМ-6) применяют для измерения влажности воздуха психрометрическим методом.

Все контактные термометры и термоконтакты заполняются ртутью.

Перед установкой на технологическом оборудовании жидкостные стеклянные термометры расширения должны пройти стендовую поверку: внешний осмотр, поверку показаний и постоянства показаний.

При внешнем осмотре проверяют: целостность стеклянной оболочки термометра и капилляра; закрепление шкалы (не должна перемещаться) и четкость надписей на ней; отсутствие разрывов столбика

жидкости в капилляре и следов испарившейся жидкости на его стенках; состояние выводов электрических контактов для электроконтактных термометров.

При проверке жидкостных стеклянных термометров расширения используют термостат, в который помещают поверяемый термометр и образцовый термометр более высокого класса точности. Показания отсчитывают после легкого постукивания по термометрам.

Постоянство показаний термометра поверяют путем проверки положения его нулевой точки перед основной проверкой и сразу после нее, т.е. после нагрева термометра до максимальной температуры. Постоянство показаний термометров, не имеющих нулевой точки, поверяют по нижней оцифрованной отметке шкалы.

К числу устранимых дефектов жидкостных стеклянных термометров расширения относят разрыв столбика жидкости в капилляре и наличие следов испарившейся жидкости на стенках капилляра. Для устранения этого дефекта термометр подвергают шестикратному нагреванию до максимальной температуры. Если при этом налет на стенках капилляра не исчезнет или обнаружится неустранимый разрыв столбика жидкости, то термометр заменяют новым. В 37 некоторых случаях удастся устранить дефекты, связанные с окислением контактов или разрывами электрической цепи электроконтактных термометров.

Жидкостные стеклянные термометры расширения, у которых при стендовой проверке выявляются неустранимые дефекты, признают негодными для дальнейшего использования и не ремонтируют.

При установке на технологических аппаратах и трубопроводах жидкостные стеклянные термометры обычно помещают в защитные металлические оправы (рис.2).

Для уменьшения тепловой инерционности пространство между внутренней стенкой кармана оправы и нижней части термометра заполняют медными опилками или заливают минеральным маслом.

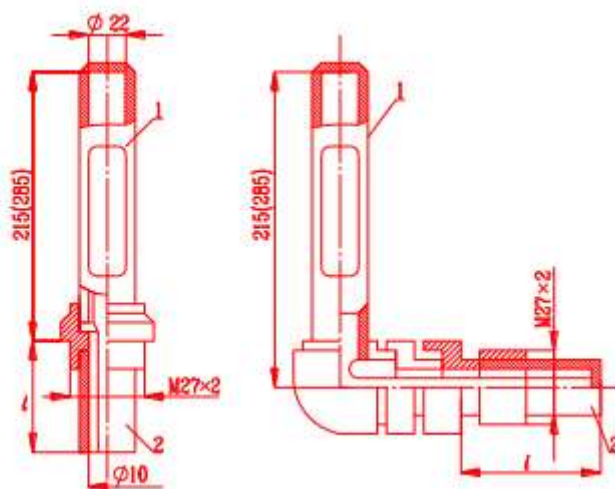


Рис.2. Защитные оправы для жидкостных термометров:

1 - чехол; 2 - карман; l - длина нижней части (глубина погружения) оправы

При установке термометра его нижнюю часть полностью погружают в измеряемую среду, на прямом участке трубы термобаллон термометра располагают в центре потока, при монтаже на изгибе трубопровода ось термобаллона должна совпадать с осью трубопровода, а сам термобаллон должен быть направлен навстречу потоку. Для установки термометров на трубопроводах диаметром менее 57 мм используют различные расширители. 38 Дилатометрические и биметаллические термодатчики.

Дилатометрические и биметаллические термодатчики, предназначены для сигнализации и регулирования температуры воздуха в помещениях, а также для контроля жидких и газообразных сред (воздуха, воды и т.д.).

Датчики-реле являются не показывающими приборами, а имеют шкалу задания температуры срабатывания контактов.

Чувствительный элемент dilatометрических термодатчиков состоит из трубки 1 (см. рис. 3), изготовленной из металла с большим коэффициентом температурного линейного расширения (латунь, алюминий и др.), и находящегося внутри трубки стержня 2 из металла с малым коэффициентом расширения (например, инвара). Трубку прибора полностью помещают в контролируемую среду. При изменении температуры среды изменяется длина трубки. Связанный с ней стержень перемещается, в результате чего замыкаются (размыкаются) контакты или перемещается чувствительный элемент преобразователя.

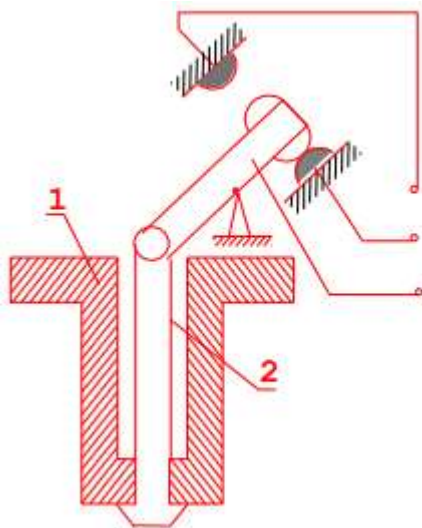


Рис. 3

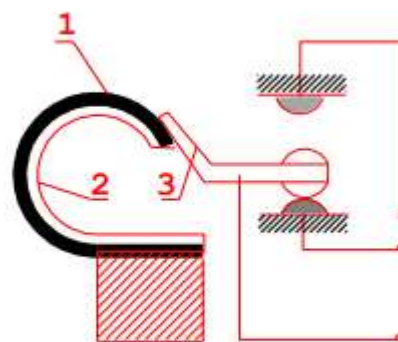


Рис. 4

В качестве чувствительного элемента в биметаллических преобразователях используется пластинка или спираль, состоящая из двух сваренных по всей длине металлических пластин 1, 2 (рис.4) с разными коэффициентами температурного расширения (например, из меди и инвара). При изменении температуры среды биметаллическая пластинка (спираль) изгибается, перемещая чувствительный элемент преобразователя или переключая контакты.

В производстве используют термодатчики двухпозиционные типа ДТКБ (биметаллические) и типа ТУДЭ (дилатометрические), а также трехпозиционные типа ТБ-ЭЗК (биметаллические).

Дилатометрические и биметаллические термодатчики всех модификаций монтируют в любом положении (вертикальном, наклонном горизонтальном). Датчики камерные биметаллические типа ДТКБ устанавливают на высоте 1,5...1,8 м от пола, типа ТБ-ЭЗК - на высоте 1,8...2 м. При измерении температуры среды в трубопроводе середина чувствительного элемента дилатометрического термометра должна совпадать с осью потока. При необходимости чувствительный элемент помещают в гильзу, однако при этом сильно возрастает тепловая инерционность термометра. Биметаллические датчики-реле нельзя устанавливать в нишах и за различными декоративными элементами, что препятствует нормальной циркуляции воздуха около прибора и значительно увеличивает погрешность измерения, а также в местах, подверженных воздействию внешних источников тепла (отопительные батареи, солнечная радиация и т.д.). Расстояние прибора от стены должно быть не менее 50...70 мм. При монтаже и эксплуатации следят, чтобы циркуляция воздуха вокруг приборов была свободной, относительная влажность окружающей среды - 30...80 %.

Техническое обслуживание термодатчиков состоит в периодическом осмотре и проверке согласно графикам, установленным метрологической службой. Манометрические термометры.

Манометрические термометры предназначены для дистанционного измерения температуры газов (воздуха, аммиака, углекислого газа, сероводорода, метана и др.), паров жидкостей.

К преимуществам манометрических термометров по сравнению с аналогичными преобразователями другого принципа действия относят возможность дистанционного измерения параметров без использования источников дополнительной энергии; простоту конструкции и большую надежность при 40 эксплуатации; равномерность шкалы; взрывобезопасность; отсутствие чувствительности к внешним электромагнитным полям. Манометрические термометры (рис.5) состоят из герметично замкнутой термосистемы (термобаллон, соединительный дистанционный капилляр, упругий чувствительный элемент) и показывающего или записывающего устройства. В зависимости от заполнителя термосистемы манометрические термометры изготавливают трех видов: газовые - с азотом; жидкостные - с полиметилсилоксановыми жидкостями; конденсационные (парожидкостные) - с ацетоном, метилом, хлоридом фреона.

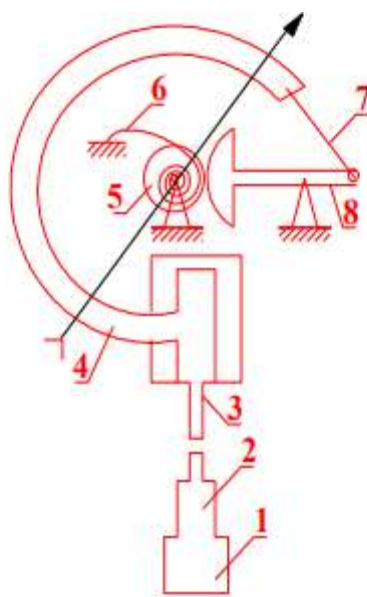


Рис.5. Схема устройства манометрического термометра:

1 -термобаллон; 2 - хвостовик; 3 - капилляр; 4 - манометрическая трубка (пружина); 5 - зубчатое колесо, соединенное со стрелкой; 6 - спиральная пружина, служащая для устранения люфта в зубчатом зацеплении; 7 - тяга; 8 - зубчатый сектор.

Максимально допустимые значения показателя тепловой инерции манометрических термометров приведены в таблице 1.

Показатель тепловой инерции - это время, необходимое для того, чтобы при внесении термометра в среду с постоянной температурой разность между показаниями термометра и температурой среды составила 37 % от первоначального 41 значения этой разности. Величина тепловой инерции увеличивается с возрастанием длины дистанционного капилляра.

Дистанционный капилляр изготовлен из латуни или сталей X18H10T и X18H10T-M. Для защиты от механических повреждений капилляр помещен в оболочку из полиэтилена или оцинкованной стальной ленты.

Термобаллон металлических термометров снабжен жестким трубчатым хвостовиком различной длины, позволяющим погружать его в измеряемую среду на необходимую глубину, которая оговаривается при заказе термометра. Для присоединения термобаллона к установке служит штуцер из стали А20 или Х18Н10Т. При погружении термобаллона в среду под давлением свыше 64·10⁵ Па, а также в случае, если смена термобаллона может повлечь за собой остановку аппарата, рекомендуется применять защитную гильзу, выдерживающую давление 250·10⁵ Па. Для снижения тепловой инерции

пространство между гильзой и термобаллоном заполнено металлическими опилками или жидкостью с температурой кипения более высокой, чем верхний предел измерений.

Таблица 1

Показатели тепловой инерции манометрических термометров

Заполнитель термосистемы	Среда, окружающая термобаллон			
	Воздух (газ)		Вода (жидкость)	
	Без движения	Скорость 7 м/с	Без движения	Скорость 7 м/с
Газ	400	60	15	3
Жидкость	800	120	30	6
Конденсат	800	120	30	6

Принцип действия и устройство термоэлектрического термометра. Термоэлектрическим термометром называют термопару, снабженную защитной 42 арматурой. Принцип работы термопары состоит в следующем. Если составить замкнутую цепь из двух разнородных проводников и нагреть один её спай, то в цепи возникнет электрический ток.

Замкнутая электрическая цепь (рис.6а), состоящая из двух разнородных проводников - термоэлектродов А и В, образует термоэлемент (термопару). Спай, погружаемый в измеряемую среду, называется рабочим или горячим спаем термопары; второй спай носит название свободного или холодного.

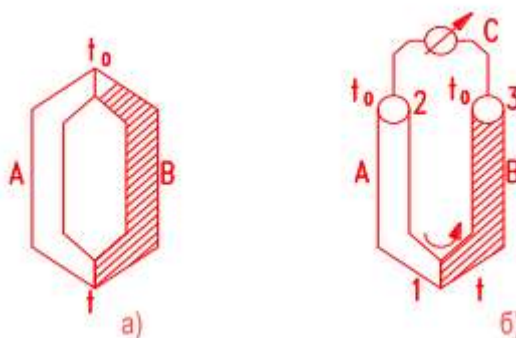


Рис.6. Схемы термоэлектрических цепей:

а – цепь, состоящая из двух разнородных проводников;

б - схема включения третьего проводника в цепь термопары.

Суммарную электродвижущую силу замкнутой цепи из проводников А и В, спаи которых нагреты до температуры t и t_0 можно выразить уравнением:

$$E_{AB}(t, t_0) = e_{AB}(t) + e_{BA}(t_0)$$

где $E_{AB}(t, t_0)$ - суммарная т.э.д.с. термопары; $e_{AB}(t)$, $e_{BA}(t_0)$ - потенциалы, возникающие в местах соприкосновения проводников. Индексы при Е и е указывают направление т.э.д.с.: от А к В или от В к А. При изменении порядка индексов, например, у символа e_{BA} 0должен измениться также и знак, т.е.:

$$E_{AB}(t, t_0) = e_{AB}(t) - e_{BA}(t_0)$$

Так как потенциалы е спаев зависят от температуры, то суммарная т.э.д.с., наблюдаемая в цепи из двух разнородных проводников с разными температурами спаев, равна разности функций температур t и t_0 :

$$E_{AB}(t, t_0) = f_1(t) - f_2(t_0)$$

Поддерживая температуру одного из спаев постоянной, например, полагая, что $t_0 = \text{const}$, т.е. $f_2(t_0) = \text{const}$, получим:

$$E_{AB}(t, t_0) = f_1(t) - \text{const}$$

Или:

$$E_{AB}(t, t_0) = f(t),$$

где $f(t) = f_1(t) - \text{const.}$

Таким образом, если для данной термопары экспериментально, т.е. путем градуировки, найдена последняя зависимость (*), то измерение неизвестной температуры сводится к определению т.э.д.с. термопары, которая невелика (0,01- 0,06 мВ на 1 °С), но все же достаточна для измерения посредством измерительного прибора.

При введении в цепь термопары третьего проводника (рис.6 б), если концы последнего имеют одинаковые температуры, т.э.д.с. термопары не изменяется (то же относится и к нескольким проводникам). Поэтому включение в цепь термопары соединительных проводов, измерительных приборов и подгоночных сопротивлений не отражается на точности измерения.

Термопары, как правило, градуируются при температуре свободного спае $t_0 = 0$ °С. В действительности же температура холодных спаев термопары отличается от 0 °С, поэтому для нахождения действительной температуры вводят поправку по уравнению:

$$E_{AB}(t, t_0) = E_{AB}(t, t'_0) \pm E_{AB}(t'_0, t_0),$$

где $E_{AB}(t, t_0)$ - т.э.д.с., развиваемая термопарой при температурах рабочего t и свободного t'_0 спаев; $E_{AB}(t'_0, t_0)$ - т.э.д.с., развиваемая термопарой при температуре рабочего спае t'_0 и свободного t_0 . Поправка $E(t'_0, t_0)$ имеет знак плюс в случае, когда $t'_0 > t_0$, а минус - в случае, когда $t'_0 < t_0$.

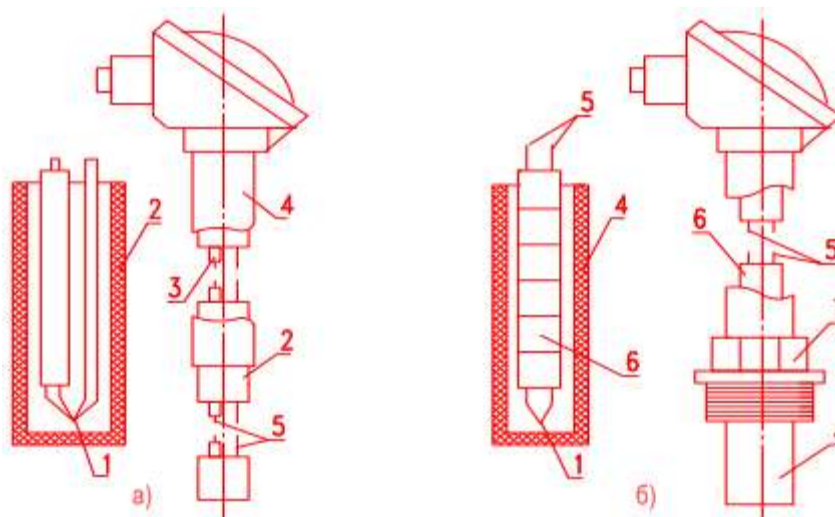


Рис.7. Технические термопары:

а - термопара ТПП; б - термопары ТХК и ТХА; 1 - рабочий спай; 2 - фарфоровый защитный чехол; 3 - фарфоровая трубка; 4 - металлическая трубка; 5 - термоэлектроды; 6 - фарфоровые бусы; 7 - неподвижный штуцер

Термоэлектроды изолируются обычно одноканальными или двухканальными фарфоровыми трубками и помещаются в защитный чехол. Для соединения термоэлектродов с внешней цепью служит головка термопары, выполненная из электроизоляционного материала.

Для устранения влияния изменения температуры окружающей среды на величину возникающей т.э.д.с. свободные концы термопары термостатируют или применяют специальные компенсирующие устройства.

Соединение термопары с вторичными приборами производится термоэлектродными проводами, изготовленными из таких же материалов что и сама термопара, или из других сплавов, развивающих в пределах до 100 оС т.э.д.с. равную т.э.д.с. термопары.

В качестве вторичных приборов в комплекте с термопарами для измерения температуры используются, как правило, лабораторные или автоматические потенциометры или милливольтметры. 45

Основные данные серийно выпускаемых термопар приведен в таблице 2 (в скобках указаны верхние пределы измерения при кратковременном режиме измерения).

Таблица 2

Тип	Обозначение и название градуировки	Пределы измерений		т.э.д. при $t_0=0^{\circ}\text{C}$ $t=100^{\circ}\text{C}$
		Нижний	Верхний	
ТХК	ХК (хромель – копель)	- 50 $^{\circ}\text{C}$	600 (800) $^{\circ}\text{C}$	6,95 мВ
ТХА	ХА (хромель – алюмель)	- 50 $^{\circ}\text{C}$	1000 (1300) $^{\circ}\text{C}$	4,1 мВ
ТПР	ПР – 30/6 (платинородий 30% платина 6%)	+300 $^{\circ}\text{C}$	1600 (1800) $^{\circ}\text{C}$	0 мВ
ТПП	ПП – 1 (платинородий 10% - платина)	- 20 $^{\circ}\text{C}$	1300 (1600) $^{\circ}\text{C}$	0,643 мВ

Стандартные градуировочные характеристики некоторых термопар приведены в таблице 3.

Таблица 3

t, $^{\circ}\text{C}$ градуир	0	20	40	50	60	80	100	200	300
ХК	0	1,31	2,66	3,35	4,05	5,48	6,95	14,66	22,91
ХА	0	0,80	1,61	0,02	2,43	3,26	4,10	8,13	12,21
ПП - 1	0	0,112	0,234	0,299	0,368	0,500	0,643	1,436	2,314

Термометры сопротивления - это датчики, принцип действия которых основан на зависимости электрического сопротивления металлов и полупроводников от температуры. Их широко используют для измерения температуры от -200 $^{\circ}\text{C}$ до +700 $^{\circ}\text{C}$.

Наиболее часто используют термометры сопротивления из меди и платины, а также из полупроводниковых материалов. К материалу металлического термометра сопротивления предъявляются следующие требования:

1. Химическая инертность;
2. Постоянство физических свойств в интервале измеряемых температур;
3. Линейность зависимости сопротивления от температуры;
4. Высокая чувствительность;
5. Достаточно большое значение температурного коэффициента сопротивления

$$\alpha = \frac{1}{R} * \frac{dR}{dt} \cong \frac{R_{100} - R_0}{R_0 * 100}$$

где R_{100} , R_0 - сопротивление термометра при $t=100^{\circ}\text{C}$ и $t=0^{\circ}\text{C}$. Статическая характеристика металлических термометров сопротивления может быть записана в виде формулы:

$$R = R_0[1 + \alpha(t - t_0)],$$

где α - температурный коэффициент сопротивления, (град)-1 ; R_0 - сопротивление термометра при t_0 , Ом; R - сопротивление термометра при температуре t , Ом.

Для меди и платины температурный коэффициент сопротивления α и удельная электропроводность ρ соответственно равны:

$$\begin{aligned} \alpha_{\text{Cu}} &= 4,28 \cdot 10^{-3}, \text{ град}^{-1}; & \rho_{\text{Cu}} &= 0,018, \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}; \\ \alpha_{\text{Pt}} &= 3,9 \cdot 10^{-3}, \text{ град}^{-1}; & \rho_{\text{Pt}} &= 0,1, \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}. \end{aligned}$$

Основные данные серийно выпускаемых металлических термометров сопротивления приведены в таблице 4.

Таблица 4

Тип термометра	Обозначение градуировки	Пределы измерений °С		Сопротивление, Ом		Примечание
		Нижний	Верхний	При 0°С	При 100°С	
ТСП	гр. 10, 20П	0	650	10	13,91	Платина
СП	гр. 21	-200	500	46	63,99	Платина
ТСП	гр. 22, 100П	-200	500	100	139,1	Платина
ТСП	50П	-200	500	50	69,56	Платина
ТСМ	гр. 23	-50	180	53	75,58	Медь
СМ	гр. 24, 100М	-50	180	100	142,6	Медь
ТСМ	50М	-50	180	50	71,4	Медь

Чувствительные элементы металлических термометров сопротивления изготавливают в виде катушек с бифилярной намоткой (провод необходимой длины складывают пополам и свободные концы наматывают параллельно друг другу на катушку). За счет бифилярной намотки устраняется влияние внешних полей, вихревых и индукционных токов.

Градуировочные характеристики некоторых термометров сопротивления приведены в таблице 5.

Таблица 5

t, °С градуировка	-50	0	20	40	50	60	80	100
50П	39,99	50	53,96	57,9	59,85	61,81	65,69	69,56
гр. 21	36,80	46,0	49,64	53,26	55,06	56,86	60,43	63,99
гр. 22, 00П	80,00	100,0	107,91	115,58	119,70	123,60	137,37	39,9
50М	39,24	50	54,28	58,56	60,70	62,84	67,12	71,4
гр. 23	41,71	53,0	57,52	62,03	64,29	66,55	71,06	75,58
гр. 24, 100М	78,70	100,0	108,52	117,04	121,30	125,56	134,08	142,6

Защитная арматура термометров сопротивления обычно выполняется также, как и в случае промышленных термопар.

Полупроводниковые термометры сопротивления обладают значительно большей чувствительностью, чем металлические. Серийно выпускаются две группы полупроводниковых терморезисторов:

1. Термисторы - с отрицательным температурным коэффициентом сопротивления; их сопротивление уменьшается с увеличением температуры в соответствии с уравнением: $R = R_{\infty} \cdot e^{\beta/t}$, где t - температура; R_{∞} - сопротивление термистора при $t \rightarrow \infty$; β - постоянный коэффициент, характеризующий чувствительность полупроводникового терморезистора.

Термисторы изготавливают из смеси окислов различных металлов. Конструктивно они выполняются в виде стержней, шайб, бусинок, дисков, стеклянных игл. Наибольшее распространение получили термисторы типа КМТ, ММТ, МКМТ.

2. Позисторы - имеют положительный температурный коэффициент сопротивления. Изготавливают их из титаната бария с различными добавками. Их статические характеристики (зависимость сопротивления от температуры) аналитически описать трудно. Наиболее распространены позисторы типа СТ. Положительный температурный коэффициент позисторов в несколько раз больше, чем у термисторов.

Полупроводниковые термосопротивления имеют следующие преимущества по сравнению с металлическими:

1. Высокая чувствительность;
2. Малые габариты;
3. Малая инерционность;

К числу их недостатков относятся:

1. Плохая воспроизводимость параметров, исключаяющая их взаимозаменяемость;
2. Сравнительно невысокая максимальная рабочая температура;
3. Нелинейность их статических характеристик. Вид статических характеристик металлических терморезисторов (1), термисторов (2) и позисторов (3) приведен на рис.8

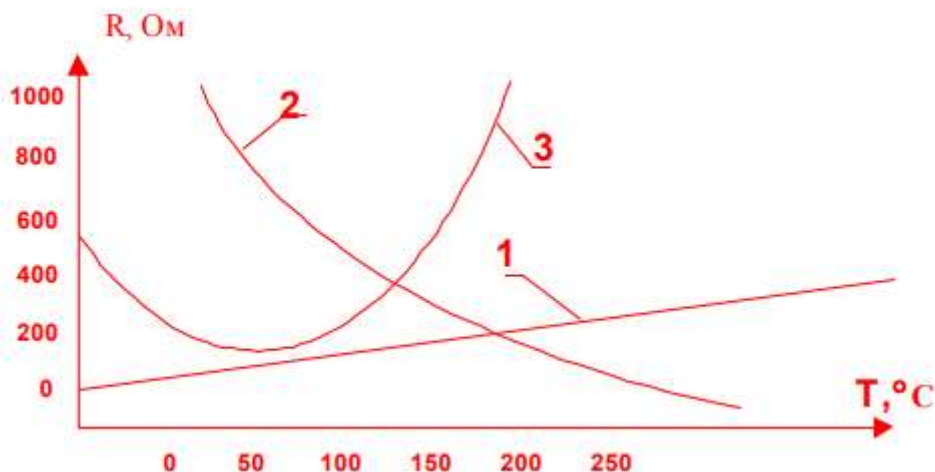


Рис.8. Статические характеристики термометров сопротивления.

При монтаже термоэлектрических термометров и термосопротивлений предварительно к стенкам трубопровода, резервуаров, смесителей и другого технологического оборудования приваривают патрубки или бобышки. К ним при помощи штуцеров на защитной арматуре монтируют термометры. Места установки патрубков, штуцеров изолируют, если трубопровод или другое оборудование изолированы.

Для промышленного оборудования с внутренним расположением мешалок целесообразно использовать термометры поверхностного типа.

Термометр устанавливают перпендикулярно потоку или под углом к нему, концом против направления движения потока. Термометр в трубопроводе необходимо монтировать так, чтобы рабочий спай или чувствительный элемент (практически конец защитной арматуры) находился на оси потока. При установке в емкостях, воздухопроводах, газопроводах, больших камерах технологического оборудования выступающая часть термоэлектрических термометров должна составлять от 20 до 50 мм.

Сопротивление электрической изоляции между защитной арматурой термометров и его токоведущей частью (термоэлектродами, компенсационными и соединительными проводами) не должно быть меньше 20 МОм.

Важно правильно выбрать материал защитной трубки, непосредственно находящейся в измеряемой среде. Материал должен быть коррозионно стойким, не влиять на качество готовых изделий (вкус, цвет, запах, срок хранения и т.п.).

Техническое обслуживание термоэлектрических термометров и термосопротивлений заключается в периодической, согласно графику профилактических работ, проверке герметичности в месте установки. Термометры осматривают каждую смену. При этом следят, чтобы крышки на головках были плотно закрыты, а под крышками были прокладки. Асбестовый шнур для уплотнения выводов проводов должен

быть плотно поджат штуцером. В местах возможной течи продукта следует предотвращать его попадание на защитную арматуру и головки термоэлектрических термометров.

В зимнее время нельзя допускать образование ледяных наростов на защитной арматуре и отходящих проводах, так как они могут привести к повреждению термометров, а также к обрыву электрической проводки. Не реже одного раза в месяц осматривают и чистят электрические контакты в головках термометров. Необходимо также проводить периодическую поверку термоэлектрических термометров согласно графикам и градуировочным таблицам: в месте установки при помощи переносных контрольных приборов или в лаборатории КИП. Поверка термоэлектрических термометров регламентируется ГОСТ 14894-69 и ГОСТ 8.338- 78.

Описание лабораторной установки

Схема лабораторной установки приведена на рис.9. Лабораторная установка включает в себя жидкостной термостат 1, в котором установлены контрольный ртутный термометр расширения 2 типа ТЛ-4, электроконтактный термометр 3 типа ТПК, хромель-копелиевая термопара 4 типа ТХК, медный термометр сопротивления 5 типа ТСМ, полупроводниковый термистор 6 и манометрический термометр 7 типа ТПГ-СК. Для измерения сигналов датчиков используется лабораторный потенциометр ПП-63 и измерительный мост МО-62. Температура жидкости в термостате задается электромагнитным термометром ТПК и контролируется по стеклянному термометру расширения ТЛ-4.

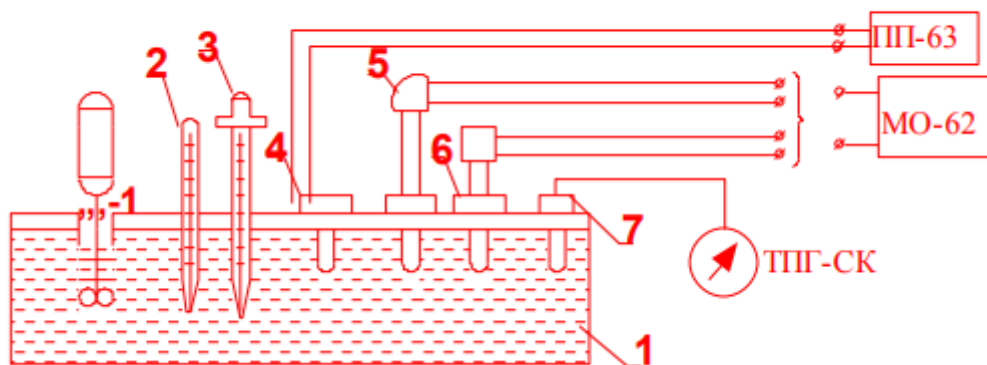


Рис.9 Схема лабораторной установки

ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

Задание 1. Определить поправку на температуру свободных концов термопары и рассчитать значение сигнала термопары $E = E_{\text{изм}} + E_{\text{попр}}$. Результаты занести таблицу.

ТЛ-4	ТХК			ТСМ	Термистор
t, °C	E _{изм} , мВ	E _{попр} , мВ	E, мВ	R _{ТСМ} , Ом	R _{п/п} , Ом
0	0	0		0	0
20	0,91	0,4		0,8	0,112
40	0,96	1,7		1,61	0,234
50	1,56	1,79		2,02	0,299

60	2,02	2,03		2,43	0,368
80	3,36	2,12		3,26	0,5
100	4,53	2,42		4,1	0,643

Задание 2. Изучить устройство, назначение, условия эксплуатации, области применения и принцип действия датчиков температуры. Заполнить таблицу:

Датчик	Устройство	Назначение	Условия эксплуатации	Области применения
Жидкостные стеклянные термометры расширения				
Дилатометрические и биметаллические термодатчики				
Манометрические термометры				
термоэлектрического термометра				
Термометры сопротивления				
Полупроводниковые термометры сопротивления				

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

1. Какие виды датчиков температуры изучаются в данной лабораторной работе?
2. Принцип действия и устройство жидкостных термометров расширения.
3. Принцип действия и устройство манометрических термометров.
4. Сравнительные характеристики газовых, жидкостных и парожидкостных манометрических термометров.
5. Принцип действия и устройство термопар.
6. От чего зависит сигнал термопары?
7. Как вводится поправка на температуру свободных концов термопары?
8. Какие градуировки термопар вы знаете?
9. Какие материалы используют для изготовления термопар?
10. Как устроены технические термопары?
11. Принцип действия термометров сопротивления.
12. Какие виды термометров сопротивления вы знаете?
13. Какие требования предъявляются к материалам, из которых изготавливают термометры сопротивления?
14. Какие градуировки металлических термометров сопротивления вы знаете? Чем градуировки отличаются друг от друга?
15. Как устроены технические термометры сопротивления?
16. Какие виды полупроводниковых термометров сопротивления вы знаете?
17. Чем отличаются друг от друга термисторы и позисторы?

- 18.** Дайте сравнительную характеристику металлических и полупроводниковых термосопротивлений.
- 19.** Поясните принцип действия и устройство биметаллических и дилатометрических термометров.
- 20.** Поясните принцип действия и устройство полупроводниковых термосопротивлений.
- 21.** Пояснить устройство лабораторной установки и порядок выполнения работы.
- 22.** Как монтируют стеклянные, биметаллические, дилатометрические, манометрические и термоэлектрические термометры и термосопротивления на технологическом оборудовании и трубопроводах?
- 23.** Как производят поверку термометров?
- 24.** Как можно устранить некоторые дефекты стеклянных и других термометров?

Практическая работа № 3

Тема: Расчет сужающих устройств

Цель: ознакомиться с основами измерения расхода газов и жидкостей методом переменного перепада давления и общими техническими требованиями к расходомерным устройствам.

Сужающие устройства

В качестве стандартных (нормализованных) сужающих устройств применяют диафрагмы, сопла, сопла и трубы Вентури.



Диафрагмы представляют собой тонкий металлический диск с концентрическим отверстием, которое со стороны входа имеет острую цилиндрическую кромку, а дальнейшей расточкой под углом 30-60 градусов.

Диафрагмы бывают двух основных видов:

- камерные и бескамерные, отличие первых от вторых заключается в наличие кольцевых камер и отсутствием металлического ушка, приваренного к боковой поверхности диска.

Диафрагмы изготавливаются из любых материалов с учетом свойств контролируемой среды.

Стандартное сопло представляет собой устройство, имеющее плавную сужающую часть на входе, переходящее на выходе в горловину. Наибольшее распространение сопла получили при измерениях расходов газов и перегретых паров. По сравнению с диафрагмами они более устойчивы к коррозии, загрязнению и немногим более точные. Материалы изготовления аналогичны материалам, из которых изготавливают диафрагмы.

Стандартное сопло Вентури представляет собой сопло, состоящее из входной части в виде сопла, горловины и выходной части - расходящегося конуса (диффузора). Основное применение сопла Вентури получили трубопроводах, диаметром от 50 до 1200мм. Одним из преимуществ сопел Вентури является меньшие потери давления по сравнению с потерями в других типах сужающих устройств.

Методика расчета сужающих устройств для измерения расхода жидкости.

Необходимые исходные данные: Q_{\max} , Q_{\min} , ΔP , t , $P_{\text{и}}$, μ , ρ .

Измеряемый параметр: фракция ОП и ацетальдегида.

Наибольший расход: $Q_{\max} = 12,5$ т/ч.

Минимальный расход: $Q_{\min} = 7$ т/ч.

Температура среды перед СУ: $t = 20$ °С.

Избыточное давление: $P_{\text{и}} = 4$ кгс/см².

Абсолютное давление: $P_{\text{а}} = 5$ кгс/см².

Внутренний диаметр трубопровода при 20 °С: $D_{20} = 80$ мм.

Плотность среды в рабочих условиях: $\rho = 456,6$ кг/м³.

Динамическая вязкость: $\mu = 2,47 \cdot 10^{-4}$ Па · с, при $P = 0,4$ МПа; $t = 20$ °С.

Определим:

1. Вспомогательная величина: $C = Q_m / (0,01252 \cdot D^2 \cdot \sqrt{\rho})$, где Q_m – кг/ч, D

$$C = \frac{12500}{0,01252 \cdot 80^2 \cdot \sqrt{456,6}} = 7,300588$$

мм.;

2. Вычислить (с четырьмя значащими цифрами) вспомогательную величину: $m^{\alpha} = C$

$$\sqrt{\Delta P} = \frac{7,30058}{\sqrt{2500}} = 0,14601$$

3. Максимальное число Рейнольдса: Re ;

$$Re = \frac{0,354 \cdot Q \cdot \rho}{D \cdot \mu} = \frac{0,354 \cdot 5,7 \cdot 456,6}{80 \cdot 2,47 \cdot 10^{-4}} = 1,356 \cdot 10^6 \approx 10^6$$

4. Приближённое значение модуля диафрагмы: $m = 0,236$;

Коэффициент расхода: $\alpha = 0,6181$;

5. Диаметр отверстия диафрагмы: $d_{20} = \frac{D \sqrt{m}}{K}$,

где K_t – поправочный множитель на изменение внутреннего диаметра трубопровода при отклонении температуры от 20 °С (в интервале от 20 °С до 60 °С множитель $K_t = 1$);

$$d_{20} = 80 \cdot \sqrt{0,236} = 38,885 \text{ мм};$$

6. Проверка правильности выполнения расчёта: определить коэффициент расхода α для значений d и m .

Для диафрагм, применяемых в трубопроводах с внутренним диаметром менее 50 мм;

$$\alpha = (0,99626 + 0,260435 / d - 0,79761 / d^2 + 1,13279 / d^3) \cdot \alpha_c, \text{ при } d > 10 \text{ мм};$$

$$\text{где } \alpha_c = 0,595 + 0,04m + 0,3m^2 = 0,595 + 0,04 \cdot 0,236 + 0,3 \cdot 0,236^2 =$$

$$= 0,618; \text{ при } m \leq 0,3;$$

$$\alpha = (0,99626 + 0,260435 / 38,88 - 0,79761 / 38,88^2 + 1,13279 / 38,88^3) \cdot 0,618 = 0,62.$$

7. Вычислить расход Q , соответствующий наибольшему перепаду давления ΔP_{\max} . Найденное значение расхода не должно отличаться от верхнего предела более чем на 0,2%;

$$Q_m = 0,01252 \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot \sqrt{\Delta P \cdot \rho};$$

$$Q_m = 0,01252 \cdot 0,618 \cdot 1 \cdot 38,885^2 \cdot \sqrt{2500 \cdot 456,6} = 12499,5 \text{ кг/ч};$$

где Q_m - в кг/ч, d - в мм, ρ - в кг/м³, ΔP - кгс/м².

Диафрагму ДКС 10 -80 выбираем фирмы Метран. Данная диафрагма рассчитана на условный проход $D_y = 80$ мм, при условном давлении от 0,6 до 10 МПа. Материал диафрагмы: сталь 12Х18Н10Т по ГОСТ 26969 – 86.

ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ по вариантам

Исходные данные	ВАРИАНТЫ				
	1	2	3	4	5
Q_{\max}	15,3 т/ч	13,8 т/ч	11 т/ч	17,2 т/ч	12,9 т/ч
Q_{\min}	8 т/ч	6,1 т/ч	5,7 т/ч	10 т/ч	9,4 т/ч
ΔP	0,4 МПа	0,3 МПа	0,6 МПа	0,4 МПа	0,5 МПа
t	22°C	31°C	28°C	12°C	24°C
P_a	6 кгс/см ²	3 кгс/см ²	8 кгс/см ²	7 кгс/см ²	2 кгс/см ²
P_n	5 кгс/см ²	2 кгс/см ²	7 кгс/см ²	6 кгс/см ²	1 кгс/см ²
μ	$4,47 \cdot 10^{-4}$ Па · с	$1,39 \cdot 10^{-4}$ Па · с	$2,57 \cdot 10^{-4}$ Па · с	$3,41 \cdot 10^{-4}$ Па · с	$2,47 \cdot 10^{-4}$ Па · с
ρ	456,6 кг/м ³	389,1 кг/м ³	423,5 кг/м ³	309,2 кг/м ³	431,8 кг/м ³

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

1. Что применяют в качестве стандартных сужающих устройств?
2. Что такое диафрагма?
3. Назовите основные виды диафрагмы
4. Что представляет собой стандартное сопло?
5. Стандартное сопло Вентури – это...

Практическая работа № 4

Тема: Расчет расхода воды через насадку гидромонитора

Цель: ознакомиться с методикой расчета расходов воды через насадку гидромонитора, получить практические навыки в решении задач

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ

Расходы воды - водопроизводительность ($\text{м}^3/\text{с}$) через насадку гидромонитора определяют по формуле:

$$Q = \alpha \cdot F \cdot v, \text{ м}^3/\text{с}$$

где α – коэффициент сжатия струи ($\alpha \approx 1$);

F – площадь поперечного сечения выходного отверстия насадки, м^2

$$F = \frac{\pi \cdot d^2}{4}, \text{ м}^2$$

где d - диаметр выходного отверстия насадки, м;

v – скорость струи, м/с

$$v = \varphi \cdot 10^{-2} \sqrt{2g \cdot H},$$

где φ – коэффициент скорости, зависящий от формы и качества обработки канала насадки ($\varphi=0,94$);

g – ускорение силы тяжести ($g=9,81 \text{ м/с}^2$);

H – рабочее давление в насадку гидромонитора, Па

Подставив значения величин в формулу, получим расход воды ($\text{м}^3/\text{с}$)

$$Q = 3,28 \cdot 10^{-2} \cdot d^2 \cdot \sqrt{H},$$

ОБРАЗЕЦ

В карьере для разработки горной породы типа легкого суглинка применили гидромонитор ГМДУЕГ – 250. Рассчитать расходы воды для наименьшей насадки, если рабочее давление в насадке гидромонитора $t=80\%$ от максимального паспортного.

РЕШЕНИЕ

Расчет выполняем по формуле:

$$Q = 3,28 \cdot 10^{-2} \cdot d^2 \cdot \sqrt{H},$$

При значениях коэффициента сжатия $\alpha = 1$ и коэффициента скорости $\varphi = 0,94$ расходы воды ($\text{м}^3/\text{с}$) составит

$$Q = 3,28 \cdot 10^{-2} \cdot d^2 \cdot \sqrt{H},$$

$$H = 0,8 \cdot H_{\text{max}}, \text{ Па}$$

где $H_{\text{max}} = 160 \cdot 10^4 \text{ Па}$ – наибольшее рабочее давление (таб.1)

$$H = 0,8 \cdot 160 \cdot 10^4 = 128 \cdot 10^4 \text{ Па}$$

$$Q = 3,28 \cdot 10^{-2} \cdot 0,075^2 \cdot \sqrt{128 \cdot 10^4} = 3,28 \cdot 0,00562 \cdot 11,3 = 0,208 \text{ м}^3/\text{с}$$

Показатели	Марка гидромонитора						
	РГМ-1М	ГМДЦ-2	ГДЦ-3	ГМН-250С	ГМДУЕГ-250	ГУЦ-6	ГМСД-300
1	2	3	4	5	6	7	8
Диаметр входящего отверстия, мм	85	100	100	250	250	250	300
Наибольшее рабочее давление, 10 ⁴ Па	300	600-800	300-600	150	160	120	160
Диаметр сменных насадок,мм	17-25	15-22	17-25	65-105	75-125	51-100	90-140
Угол наклона, град.							
- в горизонтальной плоскости	360	130	120	360	360	360	280
- вверх	90	45	90	27	30	35	35
- вниз	30	15	30	27	30	30	15
Вес ,кг	255	146	320	187	1080	243	7630
Управление	Руч.	Гидравл.		Руч.	Ел.гидравл.дистан.		
Назначение	Для подземной добычи				Для открытых работ		

ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ по вариантам

Рассчитать расход воды через насадки гидромонитора (по условиям предварительно решенной задачи), если:

Таблица 2 – Исходные данные к решению задачи по вариантам

Варианты	1	2	3	4	5	6
Гидромонитор	РГМ-1М	ГМДЦ-2	ГДЦ-3	ГМН-250С	ГМДУЕГ-250	ГУЦ-6
$\tau, \%$	67	84	73	69	77	77
Насадка	Большая	Меньшая	Большая	Меньшая	Большая	Меньшая

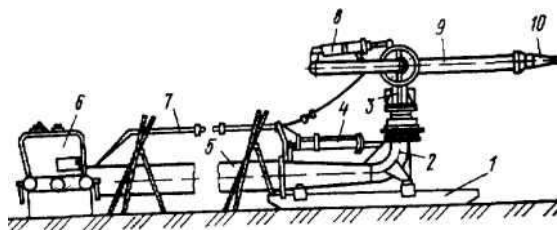


Рисунок 1 – Схема гидромонитора с дистанционным управлением: 1-салазки; 2 – нижнее неподвижное колено; 3 – верхнее колено; 4 – гидроцилиндр, который поворачивает ствол в горизонтальной плоскости; 5 – трубопровод; 6 – пульт управления; 7 – гибкие маслопроводы; 8 – гидроцилиндр, который меняет наклон ствола в вертикальной плоскости; 9 – ствол выпускного сопла; 10 – насадки.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

1. Суть способа гидромеханизации карьерных работ.
2. Недостатки и преимущества гидромеханизации.
3. Конструкция гидромонитора.
4. Способы гидромеханизации, их краткая характеристика.

Контрольная работа № 3

Тема: Типы и назначение контрольно-измерительных приборов

Цель: изучить назначение, классификацию технических измерительных приборов.

Измерительным прибором называется устройство, с помощью которого измеряемая величина сравнивается с единицей измерения.

Измерительный прибор предназначен для выработки сигнала измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателем.

Измерительные приборы делятся на *образцовые* и *рабочие*.

Образцовыми называются приборы, предназначенные для хранения и воспроизводства единиц измерения, а также для проверки и градуировки приборов.

Рабочими называются приборы, используемые для практических измерений. В свою очередь, рабочие измерительные приборы делятся на *лабораторные* и *технические*. Лабораторные приборы в промышленности не применяют и в связи с этим далее они не рассматриваются. Для автоматического контроля и регулирования в промышленности используют технические рабочие приборы.

По назначению технические рабочие приборы делятся на *показывающие*, *самопишущие*, *сигнализирующие*, *регулирующие* и *измерительные* автоматы. **Показывающие** — приборы, по которым только отсчитывают измеряемую величину в данный момент времени. Самопишущие (регистрирующие) приборы снабжены устройством для автоматической регистрации (записи) значения измеряемой величины за все время работы прибора. Они дают возможность получить данные для последующего анализа работы объекта или хода технологического процесса путем обработки картограммы прибора. Самопишущие приборы могут иметь также показывающее устройство, в этом случае они одновременно являются показывающими и самопишущими. Сигнализирующие приборы имеют специальные приспособления для включения световой или звуковой сигнализации при достижении измеряемой величиной заранее заданного значения. Регулирующие приборы имеют специальное устройство, предназначенное для автоматического поддержания измеряемой величины на заданном значении или для изменения ее по заданному закону. Такие приборы могут иметь показывающее или регистрирующее устройство, или одновременно и то и другое. **Измерительные автоматы** — это приборы с устройством, выполняющим по результатам измерения определенную работу, согласно установленной для них программе. Их применяют при взвешивании и дозировке жидких и сыпучих веществ, управлении работой технологического оборудования, сортировке продукции и других операциях.

По характеру передачи показаний приборы делятся на *местные* и *с дистанционной передачей*. Местные приборы по своей конструкции могут быть использованы только непосредственно у места измерения. У приборов с дистанционной передачей исполнительная часть находится на значительном расстоянии от места измерения.

Приборы с дистанционной передачей комплектуют в измерительные установки, которые состоят из следующих основных, частей:

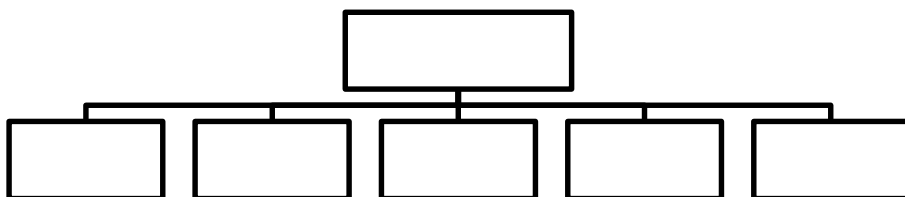
- первичного прибора — преобразователя (датчика), воспринимающего посредством чувствительного элемента (первичного преобразователя) изменения измеряемой величины, преобразующего ее в выходной сигнал — импульс и передающего последний на расстояние;
- вторичного прибора, который воспринимает посредством измерительного устройства импульсы, передаваемые преобразователем, и преобразует их в перемещения указателя относительно шкалы; вторичные приборы могут быть показывающими, самопишущими, сигнализирующими, регулирующими приборами или измерительными автоматами;
- соединительных трубных (пневматических, гидравлических) или электрических проводок, по которым передаются результаты измерений от преобразователя к вторичному прибору.

По виду показаний измерительные приборы делятся на аналоговые (непрерывные) и цифровые (дискретные). В аналоговом измерительном приборе показания являются непрерывной функцией изменений измеряемой величины. В цифровом измерительном приборе автоматически вырабатываются

дискретные (прерывистые) сигналы измерительной информации, а показания представлены в цифровой форме.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

1. Что называется измерительным прибором?
2. Для чего предназначен измерительный прибор?
3. Как делятся измерительные приборы?
4. Для чего предназначен образцовый измерительный прибор?
5. Какие измерительные приборы называются рабочими?
6. Заполните классификационную схему деления технических рабочих приборов по назначению



7. Какие технические рабочие приборы называются показывающими?
8. Какую возможность дают самопишущие приборы?
9. Что имеют регулирующие приборы?
10. Что такое измерительные автоматы?
11. Как по конструкции различаются местные приборы от приборов с дистанционной передачей?

Практическая работа № 5

Тема «Построение функциональных схем»

Цель работы: научиться составлять функциональную схему автоматического регулирования расхода и давления газа и жидкости

Теоретическое обоснование:

В системах автоматизации металлургических печей широко распространены узлы автоматической стабилизации расхода и давления газа и жидкости. Необходимость в автоматической стабилизации расхода возникает, например, при регулировании тепловой нагрузки мартеновской печи, регулировании расхода дутья на доменных печах и т.д. Стабилизация давлений газообразного топлива, кислорода, воздуха обеспечивает номинальную работу горелочных устройств. Без поддержания заданного давления газообразной среды невозможно точное измерение ее расхода, так как автоматические расходомеры рассчитаны на работу с определенным давлением измеряемого газа. Газы и жидкости подаются по трубопроводам, поэтому трубопроводы являются объектами регулирования.

Порядок выполнения работы:

1. Из задания выписать значение позиций.
2. Объяснить работу функциональную схему автоматического регулирования расхода и давления газа и жидкости
- 3.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

На рис. 3 показаны АСР расхода (а) и давления (б) газа. Схемы аналогичны по структуре. Объектом регулирования в схеме регулирования расхода является участок трубопровода между сужающим устройством (поз. 3—1) и регулирующим органом 2. Измерение расхода производится методом переменного перепада давления. Для создания перепада давления газа используется сужающее устройство (диафрагма), работающее в комплекте с первичным преобразователем типа "Сапфир-22". Перепад давления, пропорциональный расходу газа, измеряется и преобразовывается в токовый унифицированный сигнал преобразователем "Сапфир-22" (поз. 5—2). Этот сигнал поступает на автоматический регулятор (поз. 3—4), где сравнивается с сигналом задания, вырабатываемым задатчиком (поз. 3-3). Регулирующее воздействие, вырабатываемое регулятором, через блок управления типа БУ-21 (поз. 3—5) и пускатель типа ПБР-2М (поз. 3-6) управляет исполнительным механизмом типа МЭО (поз. 3-7), который изменяет величину проходного сечения регулирующего клапана 2. Величина расхода будет определяться степенью дросселирования потока, зависящего от степени открытия регулирующего клапана.

Схема АСР расхода (а) и давления (б) газа

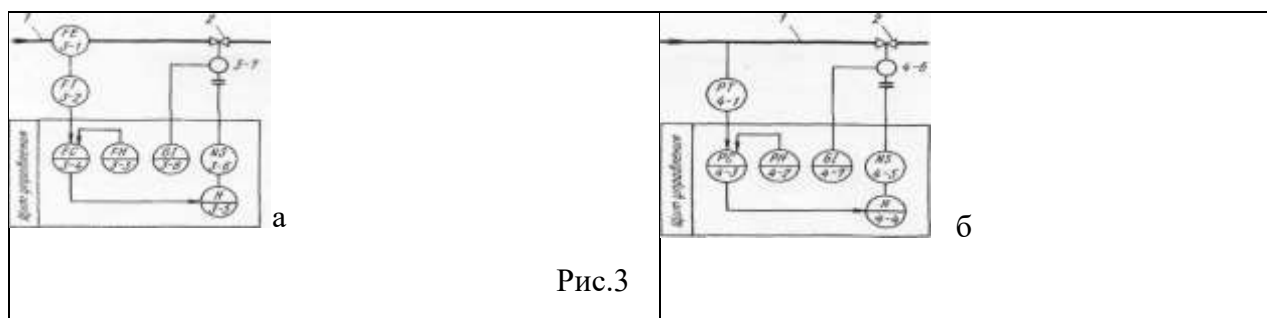


Рис.3

Практическая работа № 6

Тема: Составление блок-схемы системы управления трубопрокатным агрегатом

Цель: изучить методологию построения блок-схемы процесса и научиться строить блок-схемы различного уровня.

Теоретическая часть.

Блок-схема является графическим описанием всех действий, составляющих процесс организации.

Правила построения блок-схем определяются ГОСТ 19.701 «Схемы алгоритмов, программ, данных и систем. Условные обозначения и правила выполнения» [1]. Стандарт распространяется на условные обозначения (символы) в схемах алгоритмов, программ, данных и систем и устанавливает правила выполнения схем, используемых для отображения различных видов задач обработки данных и средств их решения.

В табл. 1 представлены символы блоков и их применение при составлении разных видов блок-схем.

Таблица

Изображение и применение символов для построения блок-схем [1]

Символ	Наименование символа	Схема данных	Схема программы	Схема работы системы	Схема взаимодействия программ	Схема ресурсов системы
1	2	3	4	5	6	7
Символы данных: <i>Основные</i>						
	Данные	+	+	+	+	+
	Запоминаемые данные	+	-	+	+	+
<i>Специфические</i>						
	Оперативное запоминающее устройство	+	-	+	+	+
	Запоминающее устройство с последовательной выборкой	+	-	+	+	+
	Запоминающее устройство с прямым доступом	+	-	+	+	+
	Документ	+	-	+	+	+
	Ручной ввод	+	-	+	+	+

	Карта	+	-	+	+	+
	Бумажная лента	+	-	+	+	+
	Дисплей	+	-	+	+	+
Символы процесса Основные						
	Процесс	+	+	+	+	+
Специфические						
	Предопределенный процесс	-	+	+	+	-
	Ручная операция	+	-	+	+	-
	Подготовка	+	+	+	+	-
	Решение	-	+	+	-	-
	Параллельные действия	-	+	+	+	-
	Граница цикла	-	+	+	-	-
Символы линий Основные						
	Линия	+	+	+	+	+
Специфические						
	Передача управления	-	-	-	+	-
	Канал связи	+	-	+	+	+
	Пунктирная линия	+	+	+	+	+

Специальные символы						
	Соединитель	+	+	+	+	+
	Терминатор	+	+	+	-	-
	Комментарий	+	+	+	+	+
	Пропуск	+	+	+	+	+

В табл. 2 представлены символы блоков, используемые для построения алгоритма процесса, согласно Р 50-601-46-2004 [2].

Как показывает практика, для идентификации и описания основных процессов организации применяют лишь некоторые из указанных в табл. 1 блоков, а именно: «процесс», «решение», «терминатор», «документ», «линия». Зачастую «линии» дополняют стрелками, при этом делая надписи для уточнения требуемых ресурсов или определения условий, в которых выполняется рассматриваемое действие.

Таблица 2

Символы, используемые для построения алгоритма процесса [2]

Символ	Элементы
	Событие, определяющее начало или окончание процесса
	Действие и исполнитель
	Момент выбора альтернативных решений. Вопрос, на который надо ответить: да/нет, принято/отвергнуто, соответствует / не соответствует критериям
	Документ
	Задержка
	Переход к следующему элементу процесса
	Продолжение

Для того чтобы в блок-схеме отобразить поставщиков и потребителей процессов, применяется одна из разновидностей блок-схем – межфункциональная блок-схема. Такая схема дает дополнительную возможность установить как руководителя процесса, так и подразделение, к которому принадлежит исполнитель или руководитель. На рис. 1 изображен пример межфункциональной блок-схемы.

Составление межфункциональной блок-схемы позволяет наглядно представить ход процесса. На блок-схеме такого вида также можно указывать дополнительную информацию, например:

- время процесса;
- затраты на текущий момент времени;
- степень завершенности.

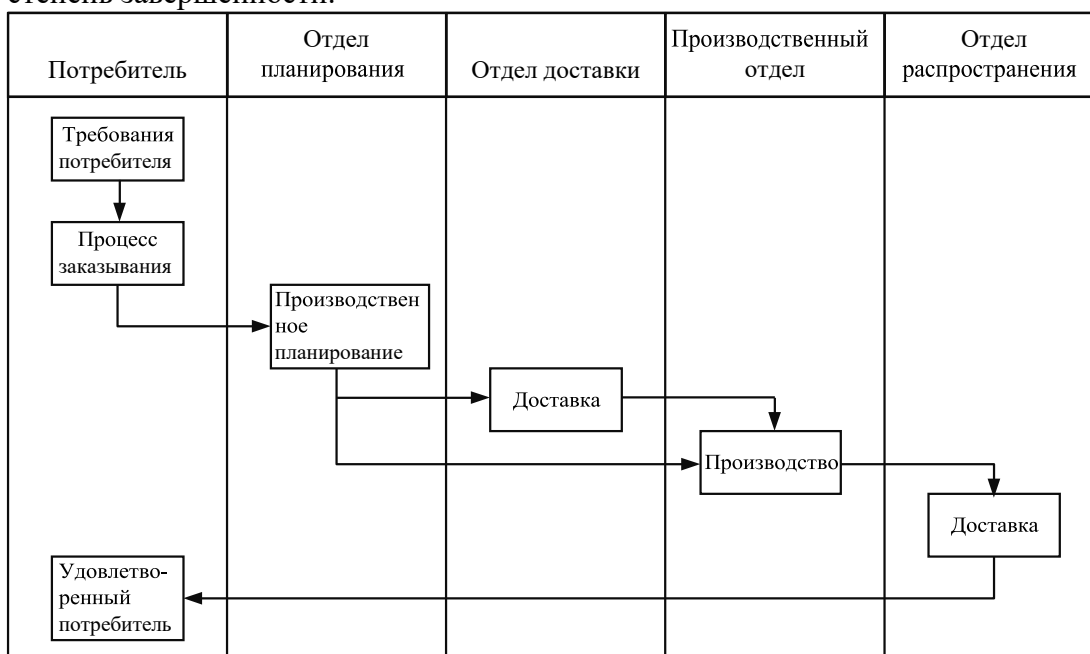


Рис. 1 – Межфункциональная блок-схема [3]

Построение межфункциональной блок-схемы может стать достаточно сложным, если будет рассматриваться сложный процесс, требующий декомпозиции. Для большей наглядности, при декомпозиции сложных процессов, целесообразно рассматривать другой вид блок-схем – многоуровневые блок-схемы.

Принцип построения многоуровневых блок-схем, вне зависимости от их вида (простые или межфункциональные блок-схемы), един: на верхнем уровне (не верхнем блоке) указываются только основные действия. Таким «родительским» блокам даются двузначные номера: 1.0, 2.0, 3.0 и т.д. «Дочерним» блокам, раскрывающим «родительский», даются последовательные номера: 1.1, 1.2, 1.3, ...; 2.1, 2.2, 2.3, ...; 3.1, 3.2, 3.3, ... и т.д.

На рис. 2 представлена многоуровневая блок-схема процесса нулевого уровня для межфункциональной блок-схемы, представленной на рис. 1 [3, 4].



Рис. 2 – Многоуровневая блок-схема процесса нулевого уровня [3]

Детальная блок-схема для родительского блока 3.0 «Доставка» представлена на рис. 3 [3].

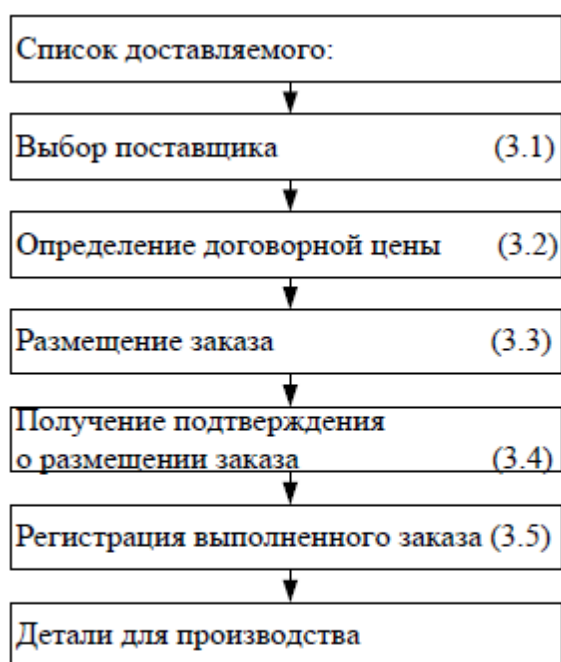


Рис. 3 – Детальная блок-схема для родительского блока «Доставка»

Кроме того, существуют дополнительные правила построения блок-схем. Так, блок-схему процесса первого уровня рекомендуется строить с точки зрения потребителя. Блок-схема должна отражать взаимоотношения между поставщиками, потребителями и организацией, а также: ответственность, полномочия, взаимоотношения персонала, условия возможности или невозможности реализации процесса.

Блок-схемы процессов составляются группой сотрудников из 4-х – 12-ти человек, отвечающих за различные интегрированные процессы.

Для сферы услуг в процесс разработки блок-схем процессов подключают потребителей услуг.

ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

Для приведенных в таблице 3 процессов, используя источники [3-5], построить:

1. Алгоритм процесса;
2. Блок-схему процесса;
3. Межфункциональную блок-схему процесса;
4. Многоуровневую блок-схему процесса, в которой должны присутствовать процесс нулевого уровня и детальная блок-схема одного выбранного этапа процесса.

Таблица 3 Исходные данные

№ вар.	Наименование процесса
1	Проведение корректирующих действий
2	Обработка исходящей документации
3	Проектирование новой продукции
4	Проведение аудиторской проверки
5	Ремонт технологического оборудования
6	Управление персоналом
7	Стимулирование рабочего персонала
8	Входной контроль качества зерновых
9	Проведение «летучки» (непродолжительного совещания)
10	Проведение предупреждающих действий
11	Проведение контроля по одноступенчатому плану контроля
12	Разработка стандарта организации для процесса
13	Входной контроль качества стальных заготовок
14	Проведение лекционного занятия в ВУЗе
15	Сертификация продукции
16	Выполнение заказа потребителя
17	Обработка входящей документации
18	Управление складским хозяйством
19	Сбор данных об удовлетворенности потребителей
20	Заключение договора с поставщиком

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

1. Блок-схема – это..
2. Каким ГОСТом определяются правила построения блок-схем?
3. Какие блоки из таб.1 чаще всего используются для описания основных процессов организации?

Практическая работа № 7

Тема: Исследование блок-схемы дистанционного управления краном

Цель: изучение структурной схемы

Принцип работы системы

Рассматриваемая система дистанционного управления кранами выполнена на разделительном принципе избирания с использованием частотного признака различных значений для формирования сигналов управления. Она является многоканальной, предназначенной для передачи телемеханической информации в виде частотных посылок на приемную аппаратуру, установленную непосредственно на кране, и рассматривается как система разомкнутого типа, состоящая из трех самостоятельных устройств: передающего, приемного и линии связи. Правильный прием передаваемых сигналов команд будет зависеть от надежной работы этих устройств, а также от степени защищенности приемной части от воздействия различных случайных помех, при управлении по радиоканалу.

С точки зрения теории надежности, данная система относится к последовательной схеме соединения узлов, не имеющей резервных цепей и устройств. При этом отказ одного узла (блока) приведет к отказу выполнения заданных функций в одном каком-либо канале связи или к отказу всей системы, если неисправность будет, например, в общем узле питания.

Система состоит из разных по надежности элементов, относительно несложная, подлежит восстановлению при выходе из строя какого-либо элемента.

Разделительный принцип селективности по частотному признаку выбран, исходя из требований: стабильной работы системы, простоты ее структурной схемы, относительно невысокой квалификации обслуживающего персонала, небольших эксплуатационных трудозатрат, необходимой командоемкости для управления различными типами кранов, достаточной ее надежности и экономической выгоды.

Характерным для разделительного принципа избирания информации является передача команд управления по одной линии связи путем разделения их несколькими значениями одного и того же сигнального признака, позволяющего образовать несколько параллельных каналов. При этом осуществляется как одиночная, так и одновременная групповая передача сигналов команд для управления одним и более механизмами крана.

Время передачи какого-либо сигнала команды минимально, так как для этого используется только один временной канал при данных элементах, на которых построена система. Это дает возможность обеспечить ее необходимое быстродействие.

Блочный принцип построения системы в значительной степени определяет ее хорошую аппаратную надежность, а наличие четырех-пяти запасных блоков позволяет обеспечивать высокий процент холодного резервирования.

Структурная схема и назначение блоков

В основу разработки структурной схемы положены: математическая оценка структурной надежности, техническая надежность, определявшаяся по результатам

стендовых испытаний в различных режимах работы, а также эксплуатационная надежность. Последняя в силу недостатка информации о работе кранов с дистанционным управлением еще недостаточно изучена. Характеристика эксплуатационной: надежности определяется при использовании технических средств в процессе воздействия всех факторов, влияющих на надежность. К ним относятся: вибрации, влажность, температура и ее перепады, запыленность, наличие агрессивных газов в окружающей среде и т. д. Кроме того, важное значение имеют параметры силовой сети, питающей систему, и параметры аппаратуры системы, правильность выбора комплектующих изделий, а также фактические условия технической эксплуатации, в которые входят: качество обслуживания во время эксплуатации, своевременность профилактических мероприятий, качество ремонтов и др. На основании полученных объективных эксплуатационных данных должны вноситься соответствующие коррективы в аппаратуру данной системы для достижения ее высокой эксплуатационной надежности.

Структурная схема системы показана на рис. 1.1 для работы по однопроводной линии связи или радиоканалу при автоматическом переключении ступеней резисторов в цепях роторов электродвигателей: механизмов крана. Прохождение сигналов команд управления осуществляется в следующем порядке: с пульта управления 1 через посты подключения 2 сигналы команд поступают на блок усиления 3 и далее по однопроводной линии связи 5, съемник сигналов команд 7 и переключатель вида управления 8 на блоки управления 9-13. При управлении по радиоканалу с пульта управления 1а передаваемые сигналы принимаются радио-приемником 6, далее они передаются через переключатель 8 на блоки управления 9-13. В блоках управления сигналы команд преобразуются в мощные электрические сигналы, с помощью которых производится управление блоками коммутации аппаратуры 15, 17 и 19. Этими блоками осуществляется коммутация цепей управления реверсорами 23 и управление блоками реле времени 16 11 18, которые управляют работой силовых блоков коммутации 6.

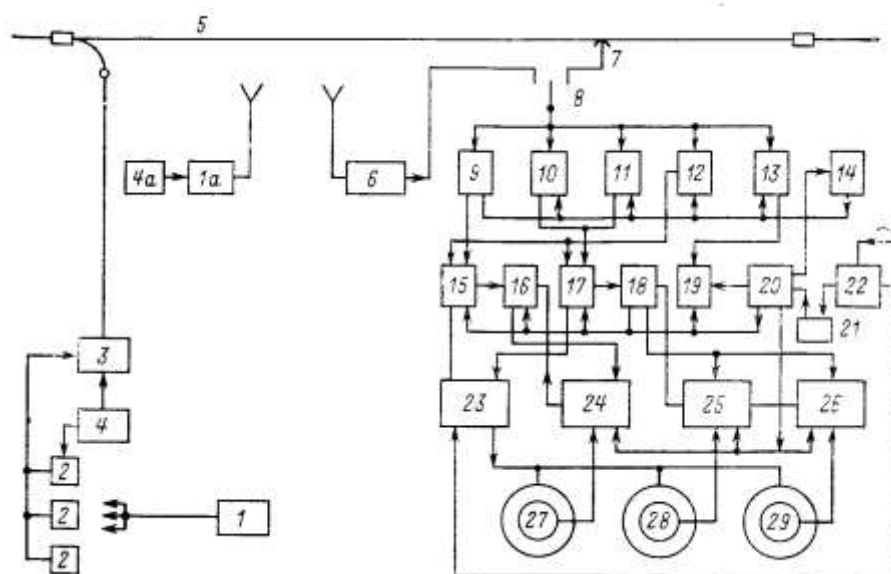


Рис. 1.1. Структурная схема системы дистанционного управления краном:

1 - пульт управления по однопроводной линии связи; 1а - пульт управления по радиоканалу; 2 - посты подключения; 3 - блок усиления; 4 - блок питания блока

усиления и пульта; 4а - аккумуляторный блок питания; 5-однопроводная линия связи; 6-радиоприемник; 7 - съемник сигналов команд управления; 8 - переключатель вида работы; 9-11 - блоки управления механизмами крана; 12 - блок выбора скорости; 13 - аварийный и сигнальный блок; 14 - блок питания блоков управ,ления; 15 - блок коммутации аппаратуры БКА-2м; 16-блок реле времени БРВ-1; 17 - блок коммутации аппаратуры БКА-3м; 18- блок реле времени БРВ-2; 19 - блок коммутации аппаратуры БКА-1м; 20 - блок питания и переключения; 21 - автоматический выключатель; 22-защитная панель крана; 23 - блок реверсов; 24-26 - блоки коммутации силовые БКС; 27-29 - электродвигателей механизмов крана.

24-26. Реверсоры включают в силовую сеть и отключают от нее электродвигатели 27-29, а силовые блоки коммутации обеспечивают коммутацию резисторов в цепях роторов электродвигателей.

Блок питания и переключения 20 подключен к сети через автоматический выключатель 21. К его клеммам с напряжением 220 В подключены блоки коммутации аппаратуры, которые также управляют контактором защитной панели 22. К блоку питания 14с выходным постоянным напряжением 12 В подключены блоки управления; 4 и 4а-блоки питания пультов управления 1 и 1а.

Назначение блоков системы

1- Пульт управления 1 предназначен для формирования сигналов команд управления и защиты и передачи их на приемную часть системы.

2. Посты подключения - для соединения пульта управления посредством кабеля через разъем с блоками питания и усиления, а также для управления блоками технологической коммутации.

3. Блок питания и усиления (БПУ) - для обеспечения напряжением питания пульта управления и блока усиления, а также для усиления передаваемых с пульта сигналов команд управления и защиты по напряжению и мощности.

4.Однопроводная линия связи для передачи усиленных сигналов команд от блока усиления на съемник сигналов 7.

5.Съемник сигналов -для снятия сигналов команд с однопроводной линии связи 5 и передачи этих сигналов на блоки управления.

6. Блоки управления - для приема селективных сигналов команд с частотным признаком и последующим включением коммутирующих пускателей сигнализации, защиты и управления заданным механизмом крана.

7. Блоки коммутации аппаратуры (БКА) - для различных соединений и отключений электрических цепей сигнализации, защиты и цепей управления реверсорами и силовыми блоками коммутации электродвигателей механизмов крана.

8. Блоки реле времени (БРВ) - для поочередного включения в заданном интервале времени контакторов, изменяющих сопротивление резисторов в цепях роторов электродвигателей механизмов крана при пуске.

9. Силовые блоки коммутации (БКС) совместно с реверсорами (ТР) - для переключения ступеней резисторов в цепях роторов, включения, отключения и реверсирования электродвигателей механизмов крана.

10. Блоки технологической коммутации (БТК) - для коммутации цепей управления и питания, обеспечения безопасного управления одним краном с нескольких пультов, или с одного пульта поочередно разными кранами, или с установленных пультов всеми кранами цеха независимо. Эти устройства необходимы

в цехах, где на одних подкрановых путях работают от одного до шести кранов, управляемых по однопроводной линии связи. Все блоки системы размещены в шкафах, имеющих пылезащищенное исполнение JP54.

ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

Задание 1. Начертить упрощённую схему управления и описать все узлы структурной схемы управления.

Задание 2. Начертить схему электропривода (например, с двухскоростным короткозамкнутым двигателем) механизма передвижения крана.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

1. Что положено в основу разработки структурной схемы?
2. Для чего предназначен пульт управления?
3. Для чего предназначены посты подключения?
4. В чем заключается необходимость блоков технологической коммуникации (БТК)?

Практическая работа № 8

Тема: Определение автоматических систем управления по определённым признакам

Цель: научиться определять и различать между собой автоматические схемы управления по определённым признакам

Классификация систем автоматического управления

В настоящее время системы автоматического управления принято классифицировать по целям и способам управления.

Целью управления при ведении технологических процессов является высокоэффективная работа объекта управления, которая оценивается показателем эффективности.

Показатель эффективности работы объекта управления определяется из выходных параметров процесса, характеризующих конечный продукт (например, его количество, качество, себестоимость).



По цели управления САУ делятся на:

- стабилизирующие;
- оптимизирующие.

Цель управления стабилизирующей САУ - поддержание показателя эффективности на постоянном, заранее заданном значении.

Стабилизирующие САУ полностью оправдывают себя при управлении вспомогательными процессами, показатель эффективности которых следует поддерживать постоянным для наилучшего ведения основного процесса. Например, подача нагретого воздуха для теплообработки железобетонных изделий.

Что же касается основных процессов, то стабилизирующие САУ оправдывают себя только на стационарных объектах управления, где условия протекания процессов меняются редко и незначительно. К таким объектам можно отнести бетонно-смесительные узлы, пропарочные камеры и т.п.

Цель управления оптимизирующей САУ - поддержание показателя эффективности (ПЭ) не на постоянном, а на оптимальном значении при соблюдении определенных ограничивающих условий на ряд параметров процесса X (например, расхода и температуры сырья).

$$\begin{aligned}
 &(\text{ПЭ } \text{ПЭ}_{\text{opt}}) \\
 &X_{1\min} \leq X_1; \\
 &X_{2\min} \leq X_2 \leq X_{2\max}; \\
 &X_3 = A; \\
 &X_4 \leq X_{4\max}.
 \end{aligned}$$

Показатель эффективности оптимизирующих САУ часто называют критерием оптимальности.

Оптимизирующие САУ могут базироваться на экстремальных регуляторах или электронно-вычислительных машинах (ЭВМ). Для реализации оптимизирующей САУ на ЭВМ необходимо использовать **математическую модель управляемого процесса**, т.е. систему уравнений, дающих представление о взаимозависимости между его параметрами (включая уравнение связи критерия оптимальности и параметров процесса). Разработка подобной модели проводится на основе статических и динамических характеристик объекта управления, выраженных аналитически. На основании полученной математической модели процесса составляется алгоритм управления им. ЭВМ получает информацию о состоянии объекта, обрабатывает ее в соответствии с этим алгоритмом и формирует управляющие воздействия.

По способу управления САУ делятся на:

- замкнутые;
- разомкнутые;
- комбинированные.

В замкнутых системах управляющее воздействие формируется в зависимости от отклонения текущего значения показателя эффективности от заданного.



Главное преимущество замкнутых САУ – это возможность осуществления заданного закона изменения показателя эффективности независимо от вида, количества и места приложения возмущающих воздействий. Одним управляющим воздействием компенсируются все возмущения. Однако, замкнутые системы не препятствуют проникновению возмущающих воздействий в объект управления, а только реагируют на их последствия; в результате чего заданный закон изменения показателя эффективности выполняется не точно. Следовательно, замкнутые САУ не могут обеспечить высокое качество управления сложных объектов, подверженных многочисленным возмущающим воздействиям. В этом и состоит их главный недостаток.

В разомкнутых системах управляющие воздействия осуществляются **независимо** от текущего значения показателя эффективности.

Главное отличительное свойство разомкнутых САУ – отсутствие обратной связи.

Различают 2 вида разомкнутых систем:

- жесткой программой;
- системы компенсации.

В системах с жесткой программой управляющее воздействие осуществляется по заранее заданному во времени закону. При этом возмущающие воздействия и состояние объекта управления не учитываются.



В системах компенсации управляющие воздействия формируются в зависимости от возмущающих воздействий. Здесь управляющая система состоит из двух и более управляющих устройств, каждое из которых функционирует автономно. Текущие значения входных параметров Z_1 и Z_2 сравниваются с заданными значениями. Если текущие значения окажутся не равными заданным, в объект вносятся управляющие воздействия U_1 и U_2 , компенсирующие возмущения.



Главным преимуществом систем компенсации является то, что возмущающие воздействия ликвидируются до поступления их в объект управления, в результате чего показатель эффективности может и не изменяться. Но так как ликвидировать все возмущающие воздействия практически невозможно, использование только систем компенсации чаще всего не дает большого эффекта.

В комбинированных системах используется принцип формирования управляющих воздействий как замкнутых, так и разомкнутых систем. В основу комбинированной системы положена замкнутая САУ с дополнительными управляющими устройствами, которые ликвидирует наиболее сильные возмущающие воздействия.



Разновидностью комбинированных САУ являются **многоконтурные системы**. В многоконтурных САУ управляющее воздействие - одновременно функция отклонения текущего значения показателя эффективности от его заданного значения и функция одного или нескольких

возмущающих воздействий. Такие САУ включают в себя, как минимум, два управляющих устройства: главное и вспомогательное, совместно формирующие управляющее воздействие U .



Многоконтурная САУ поддерживает показатель эффективности на заданном значении и ликвидирует возмущающие воздействия по каналу параметра Z_2 до поступления их в объект управления. Для ликвидации возмущающих воздействий по каналу параметра Z_1 в схеме предусмотрено специальное управляющее устройство.

ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

Задание 1. Найдите информацию об САУ по вашей специальности. Ответ представить в виде таблицы.

Название САУ	Назначение	Цели

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

- 1. Что такое автоматизированная система управления?
- 2. Какого назначения САУ?
- 3. Какие функции осуществляют САУ?
- 4. Приведите примеры САУ.

Практическая работа № 9

Тема: Построение схем разомкнутых и замкнутых систем управления

Цель: изучить и научиться строить схемы разомкнутых и замкнутых систем управления

Пример 1.1. Регулятор Уатта (рис. 1.1).

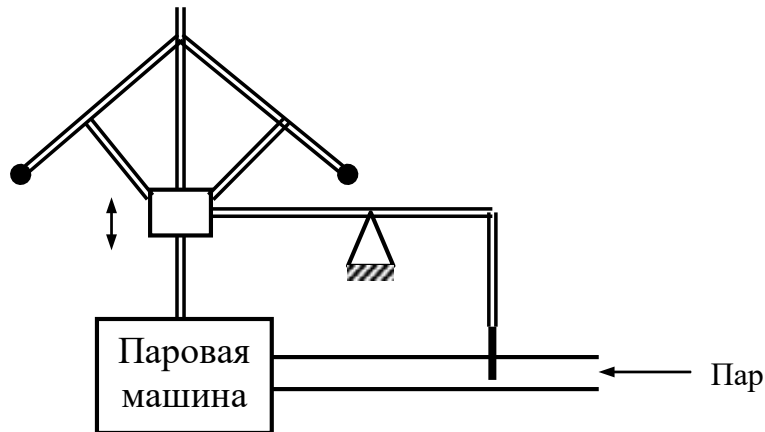


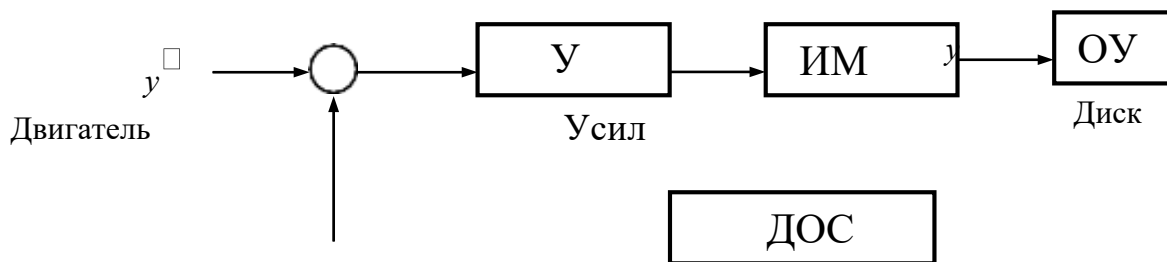
Рисунок 1.1 – Регулятор Уатта

Регулятор Уатта предназначен для поддержания частоты вращения выходного вала паровой машины на заданном уровне. Если в результате увеличения нагрузки частота вращения выходного вала уменьшается, то уменьшается центробежная сила, что приводит к уменьшению отклонения грузов к оси вращения. Это вызывает смещение ползуна вниз, приоткрывание заслонки во входном паропроводе и тем самым увеличение подачи пара. Частота вращения выходного вала увеличивается. В случае уменьшения нагрузки частота вращения выходного вала увеличивается, и все описанные выше процессы протекают в обратном направлении, что приводит к уменьшению частоты вращения выходного вала.

В данной системе регулирования датчиком частоты управляемой переменной (частоты вращения выходного вала) являются центробежные грузы, регулятором – ползун, а исполнительным механизмом – устройство перемещения заслонки во входном паропроводе.

Пример 1.2. Во многих современных приборах используется диск, который должен вращаться с постоянной скоростью, несмотря на износ и изменение характеристик электродвигателя. Задача заключается в синтезе такой системы управления, которая обеспечивала бы поддержание скорости вращения диска на заданном уровне с некоторой желаемой точностью.

Рассмотрим вначале *разомкнутую* систему управления. В этой системе для задания напряжения уставки используются батарея и потенциометр. Полученное таким образом напряжение усиливается и подается на двигатель постоянного тока. Блок-схема системы показана на рисунке 1.2.



Тахогенератор

Рисунок 1.5

Пример 1.3. Примером системы с *положительной обратной связью* может служить экономическая инфляция, признаком которой являются непрерывно растущие цены. В соответствии с наиболее простой моделью инфляционной спирали «цена-зарплата» предполагается, что рост зарплаты трудящихся после некоторой временной задержки приводит к обязательному росту цен. Функциональная схема такой системы показана на рисунке. 1.6.

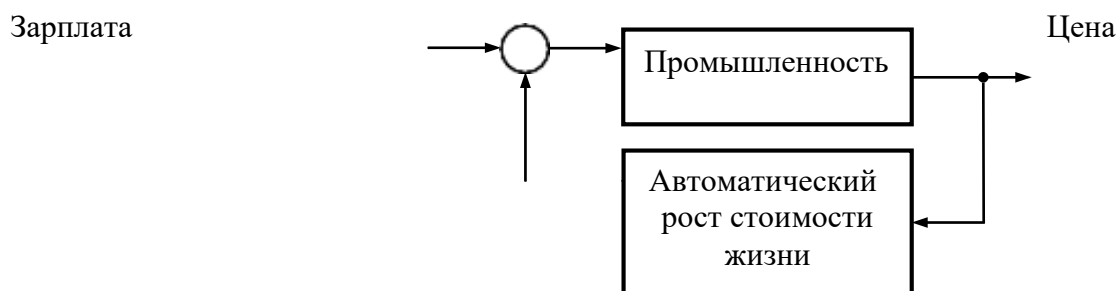
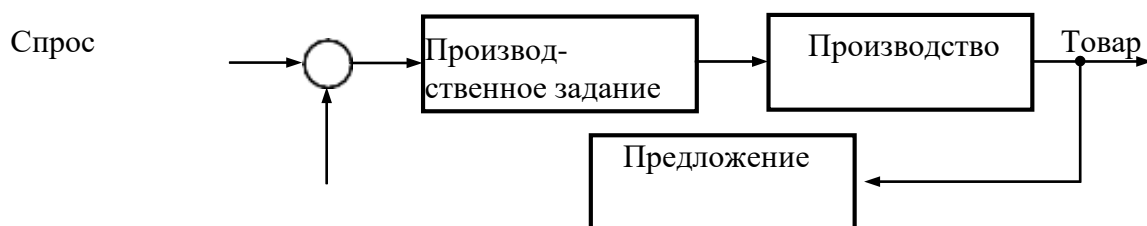
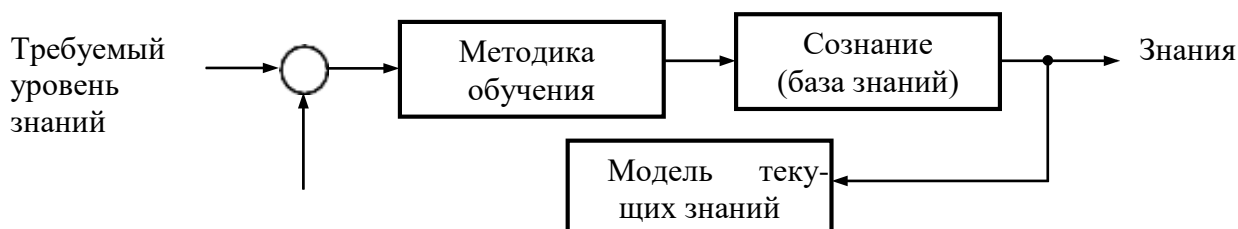


Рисунок 1.6

Упражнение 1.1. Система управления производством товара.



Упражнение 1.2. Система управления процессом обучения.



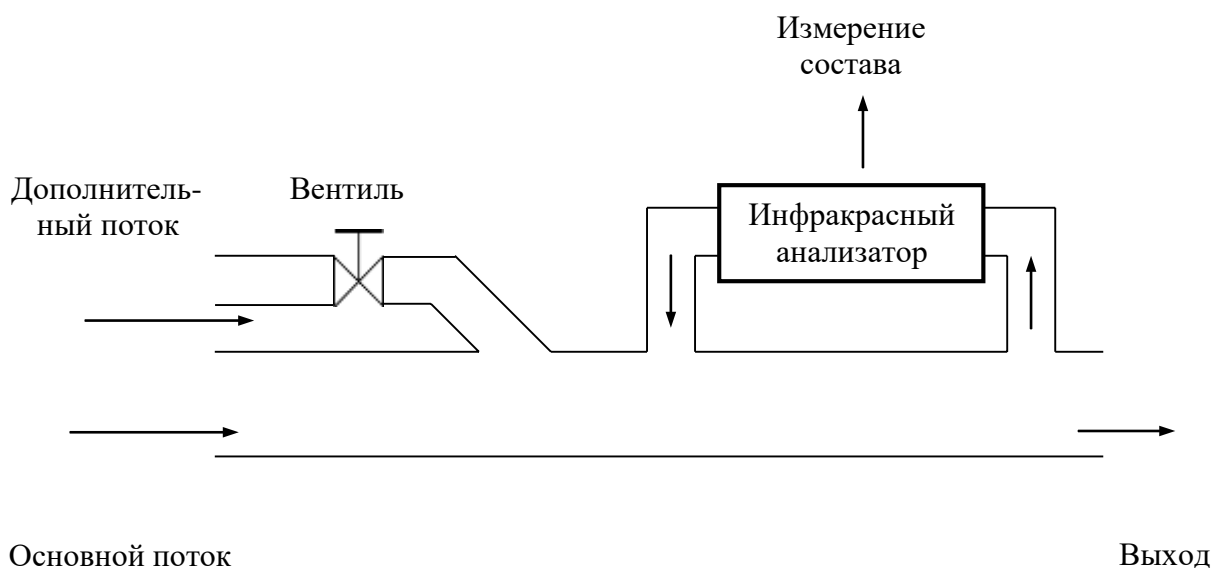
ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

Задание 1. Разработать систему автоматического поддержания концентрации глюкозы в крови человека на желаемом уровне путем введения инсулина. В качестве исполнительного механизма используются микродвигатель, насос и клапан. Сформировать функциональную схему системы и описать принцип ее работы.

Задание 2. Разработать функциональную схему, иллюстрирующую способность настраиваемого аэродинамического крыла гоночного автомобиля поддерживать постоянную степень сцепления между шинами автомобиля и полотном гоночной трассы.

Задание 3. Разработать функциональную схему системы автоматического управления скоростью автомобиля. Условие: расстояние до впереди идущей машины всегда должно быть безопасным. Автомобиль оснащен видеокамерой.

Задание 4. Разработать функциональную схему системы автоматического поддержания состава химического продукта на заданном уровне. Принципиальная схема установки приведена на рисунке:



Задание 5. Разработать функциональную схему системы транспортировки груза двумя вертолетами.

Задание 6. Разработать функциональную схему управления автомобилем, одним из элементов которой, является водитель.

Задание 7. Разработать функциональную схему системы автоматического слежения за источником света.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

1. Для чего предназначен регулятор Уатта?
2. Что используется для задания напряжения уставки в разомкнутой системе?
3. Что может служить примером системы с положительной обратной связью?

Практическая работа № 1 (дополнительная)

Тема: Исследование работы датчиков

Цель работы: изучить устройство, принцип работы генераторных и параметрических датчиков.

Теоретические сведения.

Источниками первичной информации о ходе управляемого процесса являются датчики. Это чувствительные элементы автоматических систем, преобразующие контролируемые величины в выходные сигналы, удобные для передачи или дальнейшей обработки



Рис. 3.1 Функциональная схема электрического датчика.

Датчик состоит из двух частей: чувствительного элемента и преобразующего устройства. При любом изменении интенсивности воздействия, воспринимаемого датчиком, происходит соответствующее изменение электрического сигнала датчика.

Основное свойство всякого электрического датчика: величина электрического сигнала в цепи датчика соответствует величине параметра, который контролирует датчик.

В устройствах автоматического контроля датчики служат для измерения величин, характеризующих работу технологического оборудования или качество вырабатываемой продукции.

В устройствах автоматического регулирования на основании сигналов датчиков могут быть изменены параметры технологического процесса.

Основные параметры датчиков.

Оценку возможности использования датчиков в различных системах автоматики производят по следующим основным характеристикам: *статическая характеристика; инерционность; порог чувствительности; погрешность.*

Классификация датчиков.

По назначению электрические датчики делятся на датчики температуры; перемещения; давления; скорости; положения и т.д.

По способу преобразования энергии – на генераторные и параметрические.

Генераторные датчики.

В каждом из генераторных датчиков неэлектрическое воздействие (нагрев, механическое вращение, освещение) непосредственно воспринимается самим датчиком и без вспомогательного электрического источника питания вызывает в его цепи электрический ток.

Генераторные датчики — это устройства, под влиянием неэлектрического воздействия создающие электрический сигнал без вспомогательных источников питания. К ним относятся: термоэлектрические; фотоэлектрические; пьезоэлектрические; тахометрические и т.д. Величина тока в цепи генераторного датчика зависит от интенсивности неэлектрических воздействий, которым подвергается датчик.

Термоэлектрические датчики.

Одним из примеров термоэлектрических датчиков является термопара. Она представляет собой два разнородных проводника, спаянных у одного из концов.

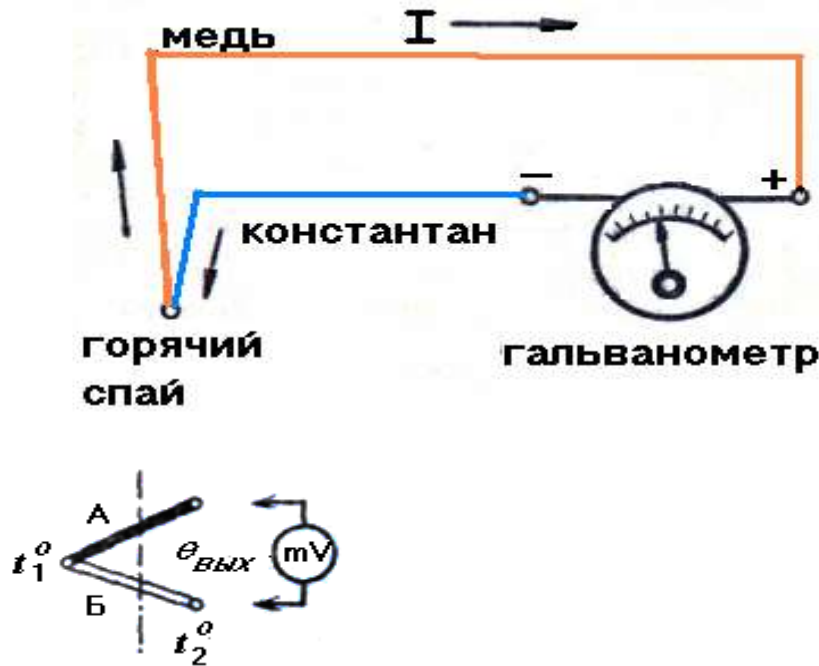


Рис. 3.2. Принцип действия термопары (а); его схема (б).

В основе работы датчика лежит явление термоэлектрического эффекта: если место спая нагреть, а свободные концы термопары присоединить к гальванометру, то между свободными концами датчика возникнет термо-ЭДС. Под действием термо-ЭДС в цепи появится электрический ток, вызывающий отклонение стрелки гальванометра. С увеличением нагрева термопары величина тока в рамке гальванометра соответственно возрастает.

Проводники А и Б термопары могут быть изготовлены из разнородных металлов и их сплавов (медь—константан, платина—копель, вольфрам—молибден и др.).

Значение термо-ЭДС для различных типов термопар составляет от десятых долей Вольт до десятков мВ. Например, для термопары медь—константан она изменяется от $-4,3\text{ мВ}$ до $-6,18\text{ мВ}$ при изменении температуры спая от $+100$ до $-260\text{ }^{\circ}\text{C}$. Использование в термопарах различных металлов позволяет измерять температуру в пределах от -200 до $+2500\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Термопары обеспечивают преобразование тепловой энергии в электрическую.

1. Пьезоэлектрические датчики.

Принцип действия датчика основан на прямом пьезоэффекте. Он заключается в том, что некоторые материалы (природные — кварц, турмалин; искусственные — сегнетовая соль, титанат бария и др.) при воздействии на них механических нагрузок образуют на гранях своих поверхностей электрические заряды.

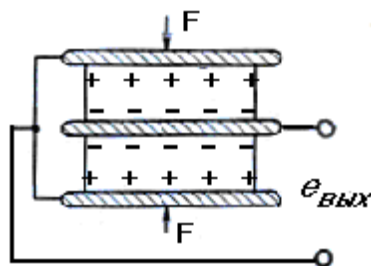


Рис. 3.3 Принцип действия пьезоэлектрического датчика.

Пьезоэлектрические датчики конструктивно представляют собой набор из нескольких пластин, подобранных таким образом, чтобы заряды одноименно заряжающихся плоскостей складывались. Такое конструктивное решение позволяет повысить чувствительность датчика.

В пьезоэлектрических датчиках происходит преобразование переменных механических сил, действующих на датчик, в электрический заряд.

Пьезоэлектрические датчики применяют для измерения характеристик быстропротекающих процессов—вибраций, переменных давлений, усилий и др.

2. Тахогенераторный датчик.

Одними из распространенных генераторных датчиков являются маломощные электрические машины, работающие в режиме генератора. Они могут служить в качестве электрического тахометра — прибора для измерения скорости вращения валов. Если ротор такой машины привести во вращение, то на ее щетках возникает напряжение, величина которого будет прямо пропорциональна скорости вращения.

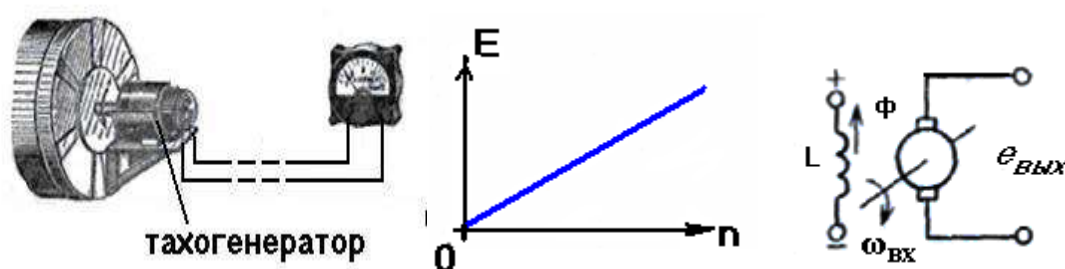


Рис. 3.4 Тахогенераторный датчик (а); его характеристика (б); схема тахогенератора постоянного тока (в).

Тахогенераторный датчик преобразует угловую скорость вращения его вала $\omega_{вх}$ в Э.Д.С. тахогенератора $e_{вых}$.

В зависимости от выходного напряжения различают тахогенераторы постоянного и переменного тока. Эти датчики применяют при автоматизации подъемных установок, конвейерных линий и т.д.

3. Фотодатчики.

Фотоэлектрические датчики используются в автоматике для преобразования в электрический сигнал различных неэлектрических величин: механических перемещений, скорости вращения тел, размеров и количества движущихся предметов, освещенности, прозрачности жидкой или газовой сред и т.д.

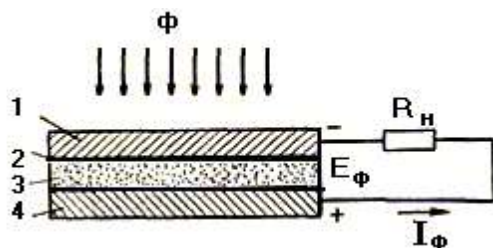


Рис. 3.5 Устройство и схема включения селенового фотоэлемента

Световой поток Φ , проходя через полупрозрачную пленку из золота 1 (электрод) и запирающий слой 2, попадает на полупроводник 3 и создает вентильный фотоэффект. Вторым электродом служит стальная пластина 4. Возникшая э. д. с. E_{ϕ} создает ток во внешней электрической цепи с сопротивлением нагрузки R_n , в качестве которой служит электронный усилитель.

Достоинствами вентильных фотоэлементов являются отсутствие необходимости во внешнем источнике питания и большая чувствительность, недостатками — инерционность, необходимость применения чувствительных усилителей, малый КПД.

В горном деле фотоэлементы применяют как составную часть фотоэлектронных усилителей и реле, используемых в системах автоматического управления наружным освещением, для определения запыленности воздуха, контроля уровня, взаимного положения ковша экскаватора и транспортного средства и т. д.

Параметрические датчики.

Во второй группе датчиков преобразование входной неэлектрической величины Ψ в выходную величину, являющуюся параметром электрической цепи (сопротивление, индуктивность, ёмкость) происходит при включении в их цепь источника питания.

Параметрические датчики—это устройства, включаемые в цепь вспомогательного источника питания и изменяющие свое электрическое сопротивление под влиянием того или иного неэлектрического воздействия.

1. Величина тока в цепи параметрического датчика зависит:
 - а. от интенсивности неэлектрических воздействий, которым подвергается датчик;
 - б. от э. д. с. вспомогательного источника питания.

В технике датчики данного типа применяются в основном для измерения линейных перемещений и углов поворота различных механизмов и приборов. Большинство их включается в цепь с источником постоянной Э.Д.С.

Электрическим сигналом параметрического датчика является сила тока в цепи датчика.

1. Датчики активного сопротивления.

1) Потенциометрический датчик представляет собой переменный резистор (потенциометр), состоящий из плоского, цилиндрического или кольцевого каркаса, на который намотана тонкая проволока из константана или нихрома, и подвижного контакта (щетки), имеющего механическую связь с объектом.

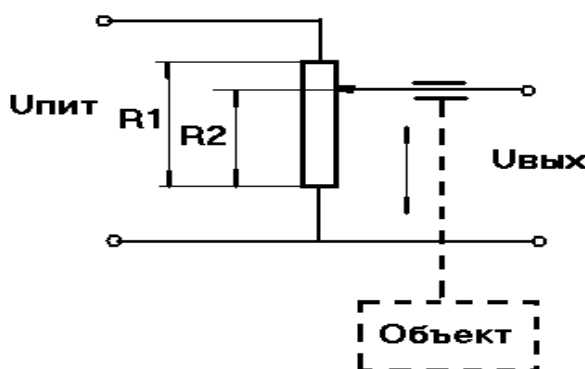


Рис. 3.6 Потенциометрический датчик

При перемещении объекта изменяется активное сопротивление цепи, и, следовательно, ток в цепи датчика.

2) Терморезисторные датчики основаны на свойстве воспринимающего элемента—терморезистора изменять своё сопротивление при изменении температуры. Терморезисторы

изготавливают из металлов (медь, железо, никель, платина и др.) и полупроводников (смеси окислов металлов — меди, марганца, кобальта, спекаемых при высокой температуре).

Металлический терморезистор выполняется из проволоки, например, медной, диаметром примерно 0,1 мм, намотанной в виде спирали на слюдяной, фарфоровый или кварцевый каркас. Такой терморезистор заключен в защитную трубку с выводными зажимами, которая затем размещается в точке контроля температуры объекта (в корпусе подшипника, двигателя и т. п.).

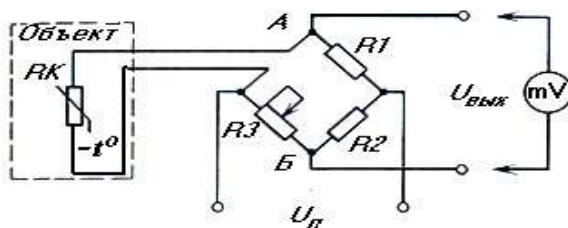


Рис. 3.7 Терморезисторный датчик

При изменении температуры объекта изменяется активное сопротивление выходной цепи.

С ростом температуры $^{\circ}\text{C}$ сопротивление R металлических терморезисторов возрастает, а большинства полупроводниковых — уменьшается. Достоинством полупроводниковых терморезисторов является их высокая термочувствительность.

3) *Термисторы.* В термисторах термочувствительный элемент выполнен из полупроводникового материала. Обычно используют смесь оксидов металлов — марганца, титана, никеля и др.

Полупроводниковые терморезисторы изготавливаются в виде небольших стержней и дисков с выводами, размещаемых в защитных металлических чехлах. Например, стержни медно-марганцевого ММТ-1 и кобальто-марганцевого КМТ-1 терморезисторов имеют длину 12 мм и диаметр 1,8 мм. Для защиты от влияния окружающей среды термистор помещают в корпус или покрывают лаком.

2. Индуктивные датчики.

Это датчики, выполненные в виде катушек (из медной проволоки) с ферромагнитными сердечниками.

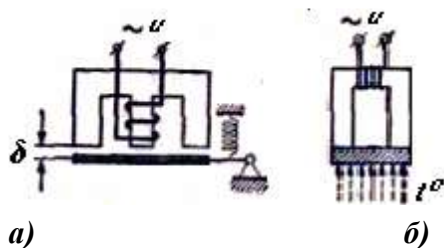


Рис. 3.8 Схемы индуктивных датчиков: а) перемещения; б) термометрического.

В индуктивных датчиках механическое перемещение узла объекта управления, нагрев сердечника или механическое воздействие на него преобразуется в изменение реактивного сопротивления индуктивной катушки дросселя и, следовательно, **силы тока** в цепи датчика.

1) Магнитоупругий датчик (рис. 2.9) основан на свойстве ферромагнитных материалов изменять магнитную проницаемость при их деформации - растяжении (а) или сжатии (б).

Конструктивно магнитоупругий датчик представляет собой катушку **1** с замкнутым магнитопроводом **2**. Контролируемое усилие P , деформируя сердечник, изменяет его магнитную проницаемость и, следовательно, индуктивное сопротивление катушки.

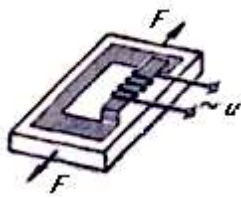


Рис. 3.9 Схема магнитоупругого тензометрического датчика, реагирующего на растяжение.

Магнитоупругие датчики используются для контроля усилий (например, при загрузке скипов и посадке клеток на кулаки), горных давлений и т. п. Такие датчики просты по устройству и надежны в работе.

2) Герконовые датчики (рис. 2.10) используются для контроля положения объектов. Воспринимающий элемент датчика — геркон представляет собой ампулу *1*, внутри которой запаяны контактные пружины (электроды) *2*, изготовленные из ферромагнитного материала. Герметичность ампулы исключает вредное воздействие среды на контакты, повышая надежность их работы. Контакты геркона, расположенного в контролируемой точке пространства, замыкаются под действием магнитного поля, которое создается постоянным магнитом или электромагнитом, установленным на подвижном объекте.

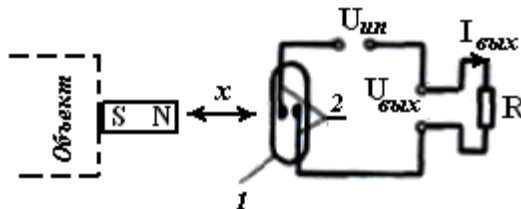


Рис. 3.10 Схема герконового датчика

3. Ёмкостные датчики.

Их обычно выполняют в виде конденсаторов с перемещающимися обкладками (пластинами). Перемещая одну пластину относительно другой, изменяют расстояние между ними или площадь перекрытия пластин (рис.2.12). Ёмкость конденсатора, а, следовательно, и ток в цепи источника переменного напряжения соответственно изменяются. Такие ёмкостные датчики реагируют на механическое перемещение.

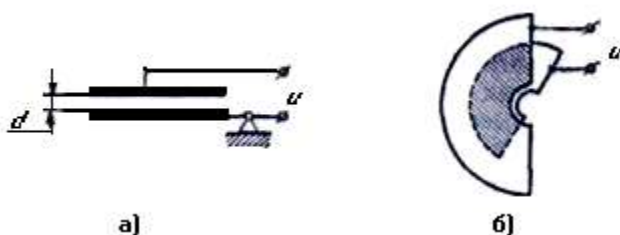


Рис. 3. 11 Принципиальные схемы емкостных датчиков:

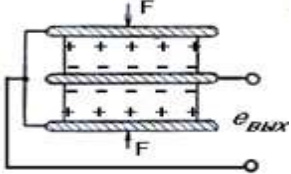
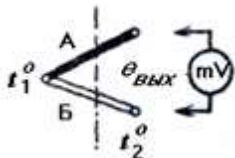
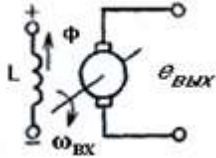
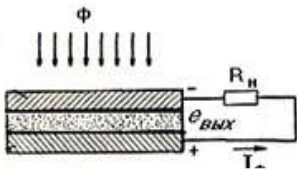
а — с поступательным перемещением пластин; *б* — поворотного типа.

В технике датчики данного типа применяются в основном для измерения линейных перемещений и углов поворота различных механизмов и приборов.

Порядок выполнения работы

Задание 1. Начертите схему классификации датчиков.

Задание 2. Заполнить таблицу

№п/п	Схемы генераторных датчиков	Датчик	Контролируемая величина
1			
2			
3			
4			

Задание 3. Заполнить таблицу

№п/п	Схема датчика	Датчик	Контролируемая величина	Изменяющийся параметр датчика
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				

Контрольные вопросы.

1. Какой сигнал подают на вход каждого элемента автоматики? Какие преобразования выполняются внутри него?
2. Какое устройство можно назвать датчиком?
3. Приведите пример датчика и объясните, почему Вы считаете данное устройство датчиком.
4. На какие группы делятся датчики?
5. На основании какого свойства описанных датчиков можно сделать вывод, что они являются генераторными датчиками?

- 6.** В чём особенность генераторных датчиков? Приведите примеры.
- 7.** Какая выходная величина является электрическим сигналом генераторного датчика? Подтвердите это объяснением принципа работы датчика.
- 8.** От чего зависит величина сигнала в цепи генераторного датчика?
- 9.** В чём особенность параметрических датчиков? Приведите пример параметрического датчика.
- 10.** От чего зависит величина сигнала в цепи параметрического датчика?
- 11.** Назовите основное свойство датчика.

Практическая работа № 2 (дополнительная)

Тема: Индуктивные датчики

Цель работы: определить индуктивность датчика.

Краткие теоретические сведения.

Индуктивные датчики преобразуют механическое перемещение в изменение параметров магнитной и электрической цепей. Принцип действия индуктивных датчиков основан на изменении индуктивности L или взаимоиנדуктивности M обмотки с сердечником вследствие изменения магнитного сопротивления R_m магнитной цепи, в которую входит сердечник.

1) последовательность преобразований:

$$F \rightarrow \delta_B \rightarrow R_m \rightarrow L \rightarrow X_L \rightarrow Z \rightarrow I,$$

где F - усилие;

δ_B - длина воздушного зазора;

R_m - магнитное сопротивление;

L - индуктивность;

X_L - индуктивное сопротивление;

Z - полное сопротивление;

I - ток.

2) индуктивность датчика вычисляется по формуле:

$$L = (2/\delta_B) \pi * n^2 * S_m * 10^{-7}$$

где L - индуктивность датчика, (Гн);

δ_B - длина воздушного зазора;

n - число витков;

S_m - площадь поперечного сечения магнитопровода.

Пример расчета:

Исходные данные:

$$\delta_{B1} = 0,4 \text{ мм} = 0,0004 \text{ м} = 4 * 10^{-4} \text{ м};$$

$$\delta_{B2} = 0,6 \text{ мм} = 0,0006 \text{ м} = 6 * 10^{-4} \text{ м};$$

$$\delta_{B3} = 0,8 \text{ мм} = 0,0008 \text{ м} = 8 * 10^{-4} \text{ м};$$

$$S_m = 40 \text{ мм}^2 = 0,00004 \text{ м}^2 = 4 * 10^{-5} \text{ м}^2;$$

$$n = 16000 \text{ витков.}$$

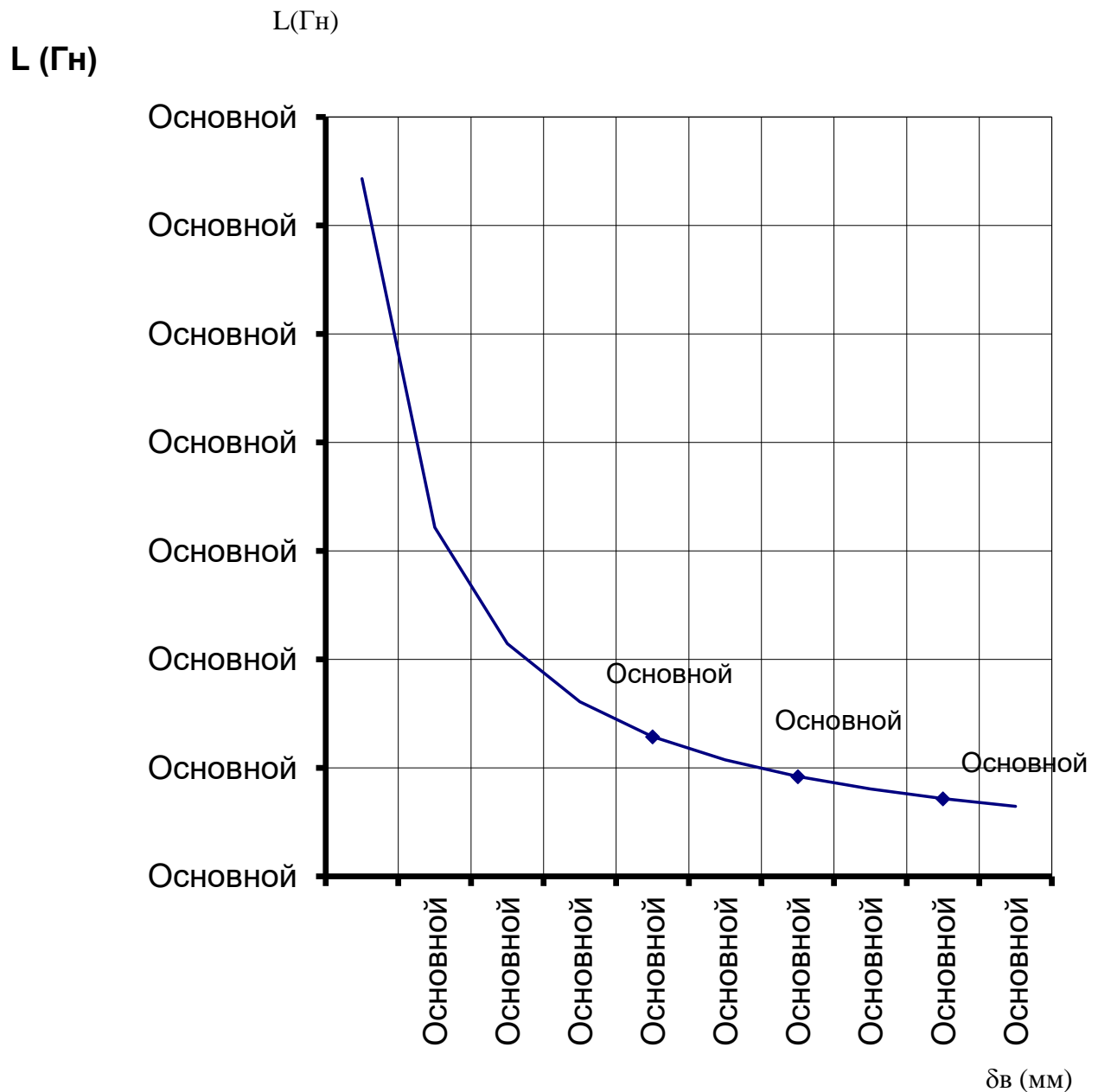
Решение:

$$L_1 = (2/0,0004) * 3,14 * 16000^2 * 0,00004 * 10^{-7} = 16,1 \text{ (Гн)}$$

$$L_2 = (2/0,0006) * 3,14 * 16000^2 * 0,00004 * 10^{-7} = 10,7 \text{ (Гн)}$$

$$L_3 = (2/0,0008) * 3,14 * 16000^2 * 0,00004 * 10^{-7} = 8 \text{ (Гн)}$$

Построить график $L = f(\delta_v)$



Задание: определить индуктивность датчика в зависимости от длины воздушного зазора.

Исходные данные для расчета взять из таблицы 1, согласно варианту.

Таблица 1- Исходные данные для определения индуктивности датчика.

№ варианта	$\delta_{B1}, (\text{мм})$	$\delta_{B2}, (\text{мм})$	$\delta_{B3}, (\text{мм})$	$S_M, (\text{мм}^2)$	n
1	0,3	0,5	0,7	40	16000
2	0,4	0,6	0,8	50	16000
3	0,3	0,5	0,7	60	15500
4	0,4	0,6	0,8	30	16500
5	0,5	0,7	0,9	30	16500

Произвести расчет

$L_1 =$ _____

$L_2 =$ _____

$L_3 =$ _____

Результаты расчета свести в таблицу 2.

Таблица 2- Результаты расчета.

L_1 (Гн)	L_2 (Гн)	L_3 (Гн)

Построить график $L = f(\delta_v)$

Построение графика

Практическая работа № 3 (дополнительная)

Тема "Потенциометрические и термоэлектрические датчики"

Цель работы: рассчитать потенциометрический датчик.

Краткие теоретические сведения:

Потенциометрический датчик представляет собой реостат, включенный по схеме потенциометра. Потенциометрический датчик преобразует механические перемещения в изменения сопротивления реостата. Расчет потенциометра сводится к расчету сопротивлений: определяются размеры каркаса для намотки, диаметр провода обмотки, количество витков, шаг намотки.

1) рабочая длина каркаса:

$$L = \alpha D \pi / 360 ,$$

где L - рабочая длина каркаса, (мм);

α - угол поворота;

D - средний диаметр каркаса.

2) минимальное число витков:

$$n = 100 / \delta_p (\%) ,$$

где n- минимальное число витков, % (витков);

δ_p - разрешающая способность.

3) шаг намотки:

$$\tau = L / n ,$$

где τ - шаг намотки, (мм).

4) диаметр провода с изоляцией:

$$d_{\text{и}} = \tau - 0,015 ,$$

где $d_{\text{и}}$ - диаметр провода с изоляцией, (мм).

5) коэффициент нагрузки:

$$\beta = R_{\text{н}} / R = \frac{1 - \delta_{\text{max}}}{4 \delta_{\text{max}}} ,$$

где β - коэффициент нагрузки;

δ_{max} – максимальная погрешность.

6) сопротивление потенциометра:

$$R = \frac{R_{\text{н}}}{\beta} ,$$

где R- сопротивление потенциометра, (Ом).

7) высота каркаса:

$$H = \left(\pi R d^2 / 8 \rho n \right) - b ,$$

где H- высота каркаса, (мм)

ρ - удельное сопротивление,

b - толщина каркаса.

Пример расчета:

Исходные данные:

$R_H = 4400 \text{ Ом}$, $\delta_{\max} = 2,5 \%$, $U = 26 \text{ В}$, $D = 45 \text{ мм}$, $\alpha = 330$, $b = 2 \text{ мм}$, $\delta_p = 0,25 \%$,
 $\rho = 0,49 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

Решение:

1) $L = 330 \cdot 45 \cdot 3,14 / 360 = 129,5 \text{ (мм)}$;

2) $n = 100 / 0,25 = 400 \text{ (витков)}$;

3) $\tau = 129,5 / 400 = 0,324 \text{ (мм)}$;

4) $d_H = 0,324 - 0,015 = 0,309 \text{ (мм)}$ (с учетом изоляции);

5) Выбираем $d \approx 0,3 \text{ (мм)} = 0,3 \cdot 10^{-3} \text{ (м)}$;

6) $\beta = (1 - 0,025) / (4 \cdot 0,025) = 9,75$;

7) $R = 4400 / 9,75 = 451,3 \text{ (Ом)}$;

8) $H = \{ [3,14 \cdot 451,3 \cdot (0,3 \cdot 10^{-3})^2] / (8 \cdot 0,49 \cdot 10^{-6} \cdot 400) \} - 0,002 = 0,0793 \text{ (м)} = 79,3 \text{ (мм)}$.

Задание: рассчитать параметры потенциометра. Исходные данные для расчета взять из таблицы 1, согласно варианту.

Таблица 1- Исходные данные для расчета параметров потенциометра.

№ варианта	R_H (Ом)	δ_{\max} (%)	U (В)	D (мм)	α	B (мм)	δ_p (%)	$\rho \cdot 10^{-6}$ (Ом·м)
1	4400	2,0	26	50	330	1,8	0,2	0,49
2	4400	3,0	26	55	330	2,5	0,2	0,42
3	4400	2,7	26	47	330	1,5	0,23	0,49
4	4400	2,3	26	52	330	2,3	0,25	0,42
5	4400	2,1	26	49	330	2,0	0,21	0,42

Произвести расчет

$L =$ _____

$n =$ _____

$\tau =$ _____

$d_H =$ _____

$\beta =$ _____

$R =$ _____

Н = _____

Результаты расчета свести в таблицу 2.
Таблица 2- Результаты расчета.

L (мм)	n (вит)	τ (мм)	$d_{\text{н}}$ (мм)	β	R (Ом)	H (мм)

Практическая работа № 4 (дополнительная)

Тема "Пьезоэлектрические датчики. Ультразвуковые датчики. Акустические и струнные датчики"

Цель работы: определить параметры пьезоэлектрического датчика.

Краткие теоретические сведения:

Пьезоэлектрические датчики относятся к датчикам генераторного типа, в которых входной величиной является сила, а выходной – количество электричества. Работа пьезодатчика основана на пьезоэффекте, сущность которого заключается в том, что на гранях некоторых кристаллов при их сжатии или растяжении появляются электрические заряды.

1) величина заряда:

$$qx = K_o Fx ,$$

где K_o – пьезоэлектрическая постоянная (модуль), (К/Н);
 Fx – усилие, направленное вдоль электрической оси, (Н).

2) емкость одной пластины:

$$C_o = 0,89 \frac{\epsilon_r * S_x}{d} = 0,89 \frac{\epsilon_r * \pi * D^2}{4d} = 0,89 \frac{\epsilon_r * \pi * a * b}{4d} ,$$

где C_o - емкость одной пластины, (пФ);

ϵ_r - относительная диэлектрическая проницаемость;

D - диаметр пластины (диска);

a и b - стороны пластины (прямоугольника);

d - толщина пластины.

3) напряжение между обкладками:

$$U = \frac{10^{12} * n * qx}{C_{вх} + nC_o} = \frac{qx * 10^{12}}{C_{вх} / n + C_o} ,$$

где $C_{вх}$ - емкость измеряемой цепи, (пФ);

n - количество пластин.

4) чувствительность датчика:

$$S_d = \frac{U}{Fx} ,$$

где S_d – чувствительность датчика, (В/Н).

Пример расчета:

Исходные данные: Материал – Кварц,

$\epsilon_r = 4,5 * 10^{-11}$, $K_o = 2,5 * 10^{-12}$ К/Н;

$D = 1 \text{ см} = 1 * 10^{-2} \text{ м}$;

$$d = 1 \text{ мм} = 1 * 10^{-3} \text{ м};$$

$$F_x = 15 \text{ Н};$$

$$C_{\text{вх}} = 17 \text{ пФ};$$

$$n = 1.$$

Решение:

$$1) q_x = 2,5 * 10^{-12} * 15 = 37,5 * 10^{-12} \text{ (к)};$$

$$2) C_o = 0,89 \frac{4,5 * 10^{-11} * 3,14 * 10^{-4}}{4 * 10^3} = 3,1 \text{ (пФ)};$$

$$3) U = \frac{37,5 * 10^{-12} * 10^{12}}{17/1 + 3,1} = 1,9 \text{ (В)};$$

$$4) S_d = \frac{1,9}{15} = 0,12 \text{ (В/Н)}.$$

Задание: определить параметры пьезоэлектрического датчика, выполненного в виде прямоугольника (диска) со сторонами а и b (диаметр D), толщиной d, с параллельно соединенными пластинами в количестве “n” штук.

Исходные данные взять из таблицы 1, согласно варианту.

Таблица 1- Исходные данные для определения параметров пьезоэлектрического датчика.

№ варианта	Материал	$\epsilon_r * 10^{-11}$	$K_o * 10^{-12} \text{ К/Н}$	$a*b, (\text{см}^2)$ D, (см)	d (мм)	Fx (Н)	$C_{\text{вх}}$ (пФ)	n (шт)
1	Кварц	4,5	2,7	D=1	1	20	16,8	1
2	сегн. Соль	205	150	2 x 1	1	30	13,1	1
3	Кварц	4,5	2,7	1 x 1	2	15	20	2
4	тит. Бария	1500	100	2 x 2	3	40	20	2
5	тит. Бария	1500	100	D=1	1	20	52	1

Произвести расчет

$$q_x = \underline{\hspace{15cm}}$$

$$C_o = \underline{\hspace{15cm}}$$

$$U = \underline{\hspace{15cm}}$$

$$S_d = \underline{\hspace{15cm}}$$

Результаты расчета свести в таблицу 2.

Таблица 2- Результаты расчета.

$q_x, \text{ К/Н}$	$C_o, \text{ пФ}$	$U, \text{ В}$	$S_d, \text{ В/Н}$

Практическая работа № 5 (дополнительная)

Тема "Термоэлектрические датчики и терморезисторы, тензометрические датчики, емкостные датчики"

Цель работы: определить параметры термоэлектрического датчика.

Краткие теоретические сведения:

Термоэлектрический датчик – датчик генераторного типа. Термоэлектрический датчик представляет собой цепь, состоящую из двух разнородных металлов. Проводники называются термоэлектродами, стыки – спаями, а возникающая при нагреве спая ЭДС – термо ЭДС. Спай, температура которого поддерживается постоянной, называется холодным, а спай, соприкасающийся с измеряемой средой, – горячим. По величине термо – ЭДС можно судить о разности температур горячего и холодного спаев, и если известна температура холодного спая, то можно определить температуру горячего спая.

1) величина термо – ЭДС:

$$E_{\text{ТП}} = U_{\text{М}}(R_{\text{М}} + R_{\text{ВН}})/R_{\text{М}},$$

где $E_{\text{ТП}}$ – ТЕРМО – ЭДС, (мВ)

2) перепад температуры:

$$t_{\text{ПЕР}} = E_{\text{ТП}} 100 / E_{\text{ТАБ}},$$

где $t_{\text{ПЕР}}$ - перепад температуры.

Перепад температуры ($t_{\text{ПЕР}}$) равен разности температур горячего и холодного концов термопары.

3) температура горячего конца термопары:

$$t_1 = t_{\text{ПЕР}} + t_0,$$

где t_0 - температура холодного конца термопары.

4) при точном расчете термо - ЭДС вводится поправка на температуру холодного конца термопары:

$$E_{\text{П}} = E_{\text{ТАБ}} \cdot t_0 / 100$$

5) расчетная термо - ЭДС:

$$E_{\text{Р}} = E_{\text{ТП}} + E_{\text{П}}$$

Пример расчета:

Исходные данные:

$$R_{\text{М}} = 130 \text{ Ом};$$

$$R_{\text{ВН}} = 10 \text{ Ом};$$

$$t = 15 \text{ }^{\circ}\text{C};$$

$U_M = 24 \text{ мВ};$
 $E_{\text{табл.}} = 6,95 \text{ мВ};$

Решение:

- 1) $E_{\text{тп}} = 24(130+10)/130 = 26 \text{ мВ};$
- 2) $t_{\text{ПЕР}} = 26 \cdot 100 / 6,95 = 374 \text{ }^{\circ}\text{C};$
- 3) $t_1 = 374 + 15 = 389 \text{ }^{\circ}\text{C};$
- 4) $E_{\text{п}} = 6,95 \cdot 15 / 100 = 1,04 \text{ мВ};$
- 5) $E_{\text{р}} = 26 + 1,04 = 27,04 \text{ мВ}.$

Задание: определить параметры термоэлектрического датчика.

Исходные данные взять из таблицы 1, согласно варианту.

Таблица 1- Исходные данные для определения параметров термоэлектрического датчика.

№ варианта	R_M (Ом)	$R_{\text{вн}}$ (Ом)	t C	U_M (мВ)	$E_{\text{табл.}}$ (мВ)
1	120	10	5	24	6,95
2	130	10	10	24	6,95
3	140	9	15	24	6,95
4	150	8	20	24	6,95
5	160	10	25	24	6,95

Произвести расчет

$E_{\text{тп}} =$ _____

$t_{\text{ПЕР}} =$ _____

$t_1 =$ _____

$E_{\text{п}} =$ _____

$E_{\text{р}} =$ _____

Результаты расчета свести в таблицу 2.

Таблица 2- Результаты расчета.

$E_{\text{тп}}$	$t_{\text{ПЕР}}$	t_1	$E_{\text{п}}$	$E_{\text{р}}$

Практическая работа №6 (дополнительная)

Тема "Электромагнитное реле постоянного и переменного тока"

Цель работы: рассчитать параметры электромагнитного реле.

Краткие теоретические сведения

Реле – это устройство, которое автоматически осуществляет скачкообразное переключение выходного сигнала под воздействием управляющего сигнала, изменяющегося непрерывно в определенных пределах. Электромагнитные реле по роду используемого тока делятся на реле постоянного и переменного тока. Реле постоянного тока делятся на нейтральные и поляризованные.

1) площадь воздушного зазора:

$$S_{\delta} = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \left(\text{мм}^2 \right)$$

где S_{δ} - площадь воздушного зазора, (мм^2);

D - диаметр катушки.

2) величина магнитного потока:

$$\Phi_{\delta} = \sqrt{\frac{F \cdot S_{\delta}}{4 \cdot 10^5}},$$

где F – намагничивающая сила.

3) магнитная индукция:

$$B_{\delta} = \frac{\Phi_{\delta}}{S_{\delta}}$$

4) магнитное напряжение, приходящееся на воздушный зазор:

$$I \cdot \varpi_{\delta} = \frac{B_{\delta}}{\mu_0} \cdot \delta,$$

где $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$ – магнитная проницаемость.

Пример расчета:

Исходные данные:

$$F_K = 80 \text{ Н}$$

$$D = 14 \text{ мм} = 14 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

$$\delta = 0,15 \text{ мм} = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}$$

Решение:

$$1) S_{\delta} = 3,14 \cdot \frac{0,014^2}{4} = 1,54 \cdot 10^{-4} (\text{м}^2);$$

$$2) \Phi_{\delta} = \sqrt{\frac{80 \cdot 1,54 \cdot 10^{-4}}{4 \cdot 10^5}} = 1,75 \cdot 10^{-4} (\text{Вб});$$

$$3) B_{\delta} = \frac{1,78 \cdot 10^{-4}}{1,54 \cdot 10^{-4}} = 1,14 (\text{Тл});$$

$$4) I \cdot \omega_{\delta} = \frac{1,14}{4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7}} \cdot 1,5 \cdot 10^{-4} = 136 (\text{А}).$$

Задание: рассчитать параметры электромагнитного реле.

Данные для расчета взять в таблице 1, согласно варианту.

Таблица 1- Исходные данные для расчета параметров электромагнитного реле.

№ варианта	F (Н)	D (мм)	δ (мм)
1	50	20	0,2
2	90	12	0,9
3	40	17	0,1
4	100	29	1,2
5	130	30	1,5

Произвести расчет:

$S_{\delta} =$ _____

$\Phi_{\delta} =$ _____

$B_{\delta} =$ _____

$I \cdot \omega_{\delta} =$ _____

Результаты расчета свести в таблицу 2.

Таблица 2- Результаты расчета.

$S_{\delta} (\text{м}^2)$	$\Phi_{\delta} (\text{Вб})$	$B_{\delta} (\text{Тл})$	$I \cdot \omega_{\delta} (\text{А})$

Дифференцированный зачёт
По МДК.03.01. АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
Специальность 22.02.02 «Металлургия цветных металлов»

Вопросы для подготовки:

1. Дайте определение понятиям «Механизация» и «Автоматизация». Достоинства автоматизации?
2. Определение контроля и виды контроля. Расскажите об устройстве потенциометрических преобразователях.
3. На чём основан принцип действия индуктивных преобразователей.
4. Объясните принцип действия и назначение ёмкостных преобразователей.
5. Объясните принцип действия и назначение тензометрических преобразователей.
6. Объясните принцип действия и назначение ионизационных преобразователей.
7. Объясните принцип действия и назначение пьезоэлектрических преобразователей.
8. Объясните принцип действия и назначение фотоэлектрических преобразователей.
9. Понятие о температуре. Классификация технических приборов и устройств измерения температуры. Перечислите какие вы знаете приборы для измерения температуры.
10. Объясните работу схемы вспомогательного прибора в комплекте с термоэлектрическим термометром.
11. Что такое давление, единицы измерения давления?
12. Расскажите о классификации приборов для контроля уровней жидкостей.
13. Что такое расход и количество? Единицы измерения массы и объёмного количества вещества.
14. С помощью чего измеряют расходы твёрдых материалов?
15. Объясните назначение и работа газоотборного устройства.
16. Объясните работу схемы АСР по возмущению на примере схемы газовой печи.
17. Назначение замкнутых систем. Объясните на примере схемы газовой печи.
18. Объясните работу стабилизирующей АСР.
19. Объясните работу следящей АСР.
20. Объясните работу программной АСР
21. Назначение комбинированной схемы управления?

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пантелеев В.Н. Основы автоматизации производства.- М. М.: Издательский центр «Академия», 2020г.

Дополнительные источники:

1. Пантелеев В.Н., Прошин В.М. Основы автоматизации производства: Учеб.пособие для нач. проф.образования/. – М.: Издательский центр «Академия», 2010.
2. Горошков Б.И. Автоматическое управление. Учебник для ср. проф.образования. – М.: Издательский центр «Академия», 2009.
3. Павлючков С.А. Автоматизация производства (металлообработка): Рабочая тетрадь. – М.: Издательский центр «Академия», 2009.
4. Черпаков Б.И., Вереина Л.И. Автоматизация и механизация производства: Учеб.пособие для среднего проф.образования. – М.: Издательский центр «Академия», 2009.
5. Шишмарев В.Ю. Автоматизация технологических процессов: Учеб.пособие для среднего проф.образования. – М.: Издательский центр «Академия», 2009.
6. Шишмарев В.Ю. Типовые элементы систем автоматического управления. Учебник для ср. проф.образования. – М.: Издательский центр «Академия», 2009.