

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

Ташкентский химико-технологический институт

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ
КОМПЛЕКС**

**по курсу: « Автоматизация технологических процессов»
для студентов технологических направлений
образования бакалавриата**

Ташкент-2013

Название лекции: Введение

Автоматизация технологических процессов представляет собой одно из наиболее важных направлений технического прогресса, являясь эффективным средством повышения производительности труда на современных промышленных предприятиях. В связи с этим при подготовке бакалавров технического и технологического направлений образования в настоящее время большое внимание уделяется изучению основ теории и техники измерения, автоматического регулирования технологических процессов и управления ими.

Современные химические и пищевые производства характеризуются все возрастающей сложностью и многообразием операций и оборудования. Управление такими технологическими процессами возможно лишь при широком использовании методов и средств управления и автоматизации. В связи с этим настоящий курс играет важную роль в ознакомлении студентов современными методами и средствами, используемыми для управления и автоматизации химико-технологических процессов.

На современном этапе развития химической, пищевой, нефтеперерабатывающей и другой промышленности невозможно управлять производством без его автоматизации. Высокие температуры, давления, скорости химических реакций, большие объемы аппаратов, зависимость технико-экономических показателей производства от большого числа разнообразных факторов – все это предъявляют высокие требования к управлению производством.

На современном производстве от инженерно-технического работника требуются знания не только технологии и оборудования, но и автоматических устройств контроля и управления. Они должны уметь за показаниями измерительных приборов «видеть» ход технологического процесса, скрытого за стенками реакторов, колонн и аппаратов, вмешиваться при необходимости в работу автоматических регуляторов, устранять простейшие неисправности. Все это невозможно сделать без знания основных принципов управления технологическими процессами, особенностей устройства и эксплуатации приборов, регуляторов и других средств автоматики. Изучение всех этих вопросов предусмотрено в курсе «Автоматизация технологических процессов».

Автомат (греческое – **automatos** – **самодействующий**) – устройство (машина, аппарат, прибор, приспособление), позволяющее осуществлять производственный процесс без непосредственного участия человека и лишь под его контролем.

Отрасль техники, связанная с разработкой методов и средств контроля и управления производственными процессами, называется автоматикой.

В развитие автоматики вложен труд многих отечественных (акад. Юсупбеков Н.Р., проф. Гулямов Ш.М., проф. Игамбердиев Х.З., проф. Исматуллаев П.Р., проф. Артиков А., проф. Мухамедов Б.И. и др.) и зарубежных (Полоцкий Л.М., Лапшенков Г.И., Кафаров В.В., Макаров В.В., Петров И.К., Данилов А.И., и многие др.) ученых.

С именем великого ученого М.В. Ломоносова связано начало развития приборостроения. Он вместе с академиком Г.В. Рихманом впервые в мире построил электрический измерительный прибор со шкалой. М.В. Ломоносов доказал, что «электричество взвешено быть может».

Автоматический регулятор, принцип которого лежит в основе всех современных регуляторов, был разработан и испытан в 1765 г. И.И. Ползуновым за 20 лет до изобретения регулятора Уатта.

Дальнейшее развитие науки и техники привело к созданию современных устройств автоматики. Современные устройства автоматики имеют меньшие габариты и потребляемую мощность, более высокие надежность и быстродействие.

Правительство нашей республики уделяет большое внимание внедрению современных средств автоматизации в различные отрасли экономики страны.

В докладе Президента Республики Узбекистан И.А. Каримова на тему «2012 год будет годом подъема развития Родины на новый ступень» на расширенном заседании Кабинета Министров Республики Узбекистан, посвященное итогам 2011 года и приоритетным направлениям социально-экономического развития Узбекистана в 2012 году особое внимание уделено модернизации производства, техническому и технологическому переоборудованию производственных предприятий, организацию новых производственных линий, основанных на высоких технологиях.

В докладе нашего Президента И.А. Каримова особо отмечено, что создания современных производственных производств необходимо привлечь иностранные инвестиции. Привлечение инвестиций является главным принципом Узбекской модели развития. Например, в 2011 году освоено более 10 миллиардов 800 миллионов капитальных вложений.

Исходя из доклада Президента Республики Узбекистан поиск оптимальных условий организации автоматического управления технологическими процессами, тем самым повышать производительность и качества готовой продукции несомненно является **актуальной задачей** развития перерабатывающей промышленности нашей республики.

Автоматизация производственных процессов является важнейшим средством повышения производительности труда, улучшения качества готовой продукции.

Контрольные вопросы

1. Какую роль играет автоматизация технологических процессов в организации современных производственных процессов?
2. Возможно ли управлять современными производственными процессами без широкого внедрения методов и средств автоматизации и управления?
3. Что такое автоматическое устройство?
4. Какие преимущества у современных устройств автоматики?

Рекомендуемая литература

1. Учебное пособие по изучение доклада Президента Республики Узбекистан И.А. Каримова на тему «2012 год будет годом подъема развития Родины на новый ступень» на расширенном заседании Кабинета Министров Республики Узбекистан, посвященной итогам 2011 года и приоритетным направлениям социально-экономического развития Узбекистана в 2012 году. – Т.: Иктисодиёт. – 2012. - 282 с.
2. Полоцкий Л.М., Лапшенков Г.И. Автоматизация химических производств. Теория, расчет и проектирование систем автоматизации. -М.: Химия, 1982. -296 с.
3. Петров И.К. Технологические измерения и приборы в пищевой промышленности. – М.: Агропромиздат, 1995.

Название лекции: Понятие о контроле и автоматизации технологических процессов

План:

1. Понятие автоматизации и контроля
2. Цели и задачи автоматизации
3. Система автоматического регулирования
4. Элементы системы автоматического регулирования

Технология обучения лекционного материала

<i>Количество студентов:</i>	<i>Время – 80 мин</i>
<i>Форма учебного занятия</i>	<i>Визуальная лекция</i>
<i>План лекционного занятия</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Понятие автоматизации и контроля 2. Цели и задачи автоматизации 3. Система автоматического регулирования 4. Элементы системы автоматического регулирования
<i>Цель учебного занятия:</i> Формирование у студентов необходимых знаний, навыков и умений по технологическим объектам управления, системам автоматического контроля и регулирования технологических параметров и элементам системы автоматического регулирования	
<i>Педагогические задачи:</i> <ul style="list-style-type: none"> • Преподаватель объясняет сущность, основные понятия и научно-практические аспекты автоматизации технологических процессов 	<i>Результаты педагогической деятельности:</i> В результате освоения лекционного материала студенты приобретают знания в области автоматического управления и регулирования технологических параметров, а также навыки самостоятельно контролировать необходимые параметры, характеризующие процесс.
<i>Метод и техника обучения</i>	Визуальная лекция, методы блиц-опрос, изложение, кластер
<i>Средства обучения</i>	Конспекты лекций, проектор, раздаточные материалы, органайзеры
<i>Форма обучения</i>	Коллективная, работа в группе и в паре
<i>Условие обучение</i>	Проектор, оснащенная компьютером аудитория
<i>Оценка и мониторинг</i>	Задаются контрольные вопросы для

	самостоятельного изучения, подготовка слайдов для домашнего задания
--	--

Технологическая карта лекционного занятия

<i>Поэтапное время</i>	<i>Действие</i>	
	Преподавателя	Студента
1-этап. Введение (5 мин.)	1.1. Ознакомить с темой лекции, объявляет цель занятия и ожидаемый результат	Слушает и пишет
2-этап Основной (60 мин.)	<p><i>2.1. Проводит оперативный брич-опрос для определения готовности студентов к занятию:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - что требуется от современного инженерно-технического работника? - какую роль играет автоматизация технологических процессов в организации современных производственных процессов? - возможно ли управлять современными производственными процессами без широкого внедрения методов и средств автоматизации и управления? - какие преимущества у современных устройств автоматики? <p>2.2. Преподаватель продолжает излагать лекционный материал с использованием лекционных материалов и организует занятия в форме</p>	<p>1. Последовательно получает ответы на вопросы</p> <p>2. Думает и записывает</p> <p>Задает вопросы и записывает основные моменты.</p> <p>Старается ответить письменно на каждый вопрос.</p> <p>Выучивает определения, приводить примеры.</p>

	<p>вопрос-ответ.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Понятие автоматизации и контроля 2. Цели и задачи автоматизации 3. Система автоматического регулирования 4. Элементы системы автоматического регулирования <p>2.3. Уделяет внимание студентов на основные понятия лекционного материала и записывать основные моменты</p>	
<p>3-этап. Заключительный (15 мин)</p>	<p>Заканчивает изложение материала. Уделяет внимание студентов на основные вопросы.</p> <p>Приводит примеры изображения объектов с входными и выходными сигналами</p>	<p>Получают домашнее задание по схематическому изображению элементов системы</p>

Оценка опорных слов по таксономии Блума

<i>№</i>	<i>Тема (разделы и модули)</i>	<i>Опорные слова</i>	<i>сообразен</i>	<i>знание</i>	<i>понимание</i>	<i>применени</i>	<i>анализ</i>	<i>Синтез</i>	<i>Оценка</i>	<i>Отношени</i>
	<i>Модуль №4 Примеры схемати- ческого изобра- жения элементов системы автома- тического регулиру- вания</i>	<i>Автоматизация</i>	*	*	*					
		<i>Контроль</i>	*	*	*	*	*	*		
		<i>Объект</i>	*	*	*					
		<i>Регулятор</i>	*	*	*	*				
		<i>Входные пара- метры</i>	*	*	*					
		<i>Выходные пара- метры</i>	*	*	*	*				
		<i>Струк- турная схема</i>	*	*	*					

*Дидактические средства, применяемые при проведении занятия:
мультимедийный проектор, компьютерная техника, схемы
изображения элементов системы*

1- вопрос. Понятие автоматизации и контроля

Автоматизация — одно из направлений научно-технического прогресса, находит выражение в применении саморегулирующих технических средств, экономико-математических методов и систем управления, освобождающих человека полностью от непосредственного участия в процессах получения, преобразования, передачи и использования энергии, материалов или информации. Требует дополнительного применения контрольных устройств, использующих электронную технику и методы вычислений, копирующие нервные и мыслительные функции человека.

Контролем называется процесс получения информации о состоянии объекта с помощью измерительных приборов. В результате автоматизации функции контроля создаются системы автоматического контроля, которые обеспечивают анализ большого количества контролируемых параметров технологического процесса.

Совокупность устройств, с помощью которых выполняются операции автоматического контроля, называется *системой автоматического контроля (САК)*. Основными функциями САК являются восприятие контролируемых параметров с помощью датчиков, реализация заданных требований к контролируемому объекту, сопоставление значений параметров с заданными значениями, формирования сигнала о состоянии объекта контроля и выдача результатов контроля.

САК классифицируют по следующим признакам:

- по числу точек контроля (*одноточечные и многоточечные*);
- по характеру контролируемых параметров (*специализированные и универсальные*);
- по точности измерения параметров;
- по быстродействию;
- по видам обрабатываемых сигналов (аналоговые, дискретные, цифровые) и т.п.

2- вопрос. Цели и задачи автоматизации

Основными целями автоматизации технологического процесса являются:

- Повышение эффективности производственного процесса.
- Повышение безопасности производственного процесса.

Цели достигаются посредством решения следующих задач автоматизации технологического процесса:

- Улучшение качества регулирования
- Повышение коэффициента готовности оборудования
- Улучшение эргономики труда операторов процесса

Решение задач автоматизации технологического процесса осуществляется при помощи:

- внедрения современных методов автоматизации;
- внедрения современных средств автоматизации.

Как правило, в результате автоматизации технологического процесса, создаётся автоматическая система управления технологическим процессом (АСУ ТП).

Промышленное производство обычно подразделяется на ряд технологических процессов. Под ***технологическим процессом*** понимаем такую переработку сырья и полуфабрикатов, которая приводит к изменению их физических и химических свойств и превращению в готовую продукцию.

Примером технологического процесса является выпаривание раствора щелочи на выпарной станции для повышения его концентрации. Исходный полуфабрикат в этом процессе – слабый раствор щелочи, а продукция – крепкий раствор.

Каждый технологический процесс характеризуется определенными *технологическими параметрами*, которые могут изменяться во времени. Такими параметрами являются расход материальных и энергетических потоков, химический состав, температура, давление, уровень вещества в аппарате и др. Совокупность технологических параметров, полностью характеризующих данный технологический процесс называется *технологическим режимом*.

Каждый технологический процесс в общем цикле производства имеет свое целевое назначение. Например, целью технологического процесса выпаривания раствора является увеличение концентрации полезного компонента в растворе. Поэтому к процессу выпаривания можно предъявить требования обеспечения заданного расхода и концентрации крепкого раствора при минимальном расходе греющего пара.

Выполнение требований, предъявляемых к технологическому процессу возможно лишь при целенаправленном воздействии на его технологический режим.

Любой технологический процесс подвержен действию различных факторов, которые нельзя заранее предусмотреть. Такие факторы называются *возмущениями*. К ним относятся, например, случайные изменения состава сырья, температуры теплоносителя, характеристик технологического оборудования и др. Возмущающие воздействия на технологический процесс вызывают изменения технологического режима, что в свою очередь приводит к изменению производительности, качество продукции, расход сырья, энергии и др. Поэтому для обеспечения заданных (требуемых) технико-экономических показателей необходимо компенсировать колебания технологического режима, вызванные действием возмущений. Такое целенаправленное воздействие на технологический процесс называется *процессом управления*.

Сам управляемый технологический процесс вместе с технологическим оборудованием, в котором он протекает называется *объектом управления*.

Объект управления и устройства, необходимые для осуществления процесса управления называется *системой управления*.

3-вопрос. Система автоматического регулирования

Система-это есть элемент, состоящий из упорядоченных совокупностей элементов.

Система имеет входные и выходные параметры. Чтобы узнать о системе, надо узнать его параметры.

Автоматическое регулирование или управление – это есть поддержание управляемого параметра путём изменения величины управляющего параметра. Самая простая САР называется **локальной САР**.

Задача автоматизации состоит в осуществлении автоматического управления различными техническими процессами.

Замена труда человека в операциях управления действиями технических управляющих устройств называется **автоматизацией**. Техническое устройство, выполняющее операции управления без непосредственного участия человека, называется **автоматическим устройством**.

Совокупность средств управления и объекта образует **систему управления**. Система, в которой все рабочие операции и операции управления выполняют автоматические устройства, называется **автоматической**. Система, в которой автоматизирована только часть операций, другая же их часть сохраняется за людьми, называется **автоматизированной (частично автоматической)**.

Частным случаем управления является регулирование. При регулировании координаты процесса (давление, температура, расход, положение и пр.) поддерживаются на заданном значении с помощью специальных устройств – автоматических регуляторов. Совокупность регулируемого объекта и автоматического регулятора образует **систему автоматического регулирования**. Объекты регулирования и управления по своей физической природе весьма разнообразны, но принципы построения систем управления и методы их исследования одни и те же.

4-вопрос. Элементы системы автоматического регулирования

Для наглядного схематического изображения системы автоматического управления (регулирования) используют структурные схемы, в которых отдельные элементы системы изображаются в виде прямоугольников, а связи между элементами – линиями со стрелками, показывающими направление передачи сигнала (рис. 1.1).

Основными элементами системы автоматического регулирования являются объект и регулирующее устройство (регулятор).

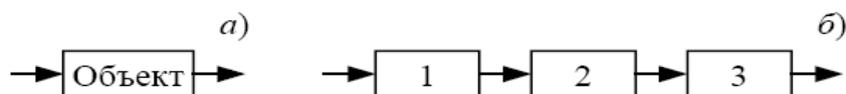


Рис. 1.1 Примеры структурных схем:

а – один элемент системы; *б* – несколько элементов системы

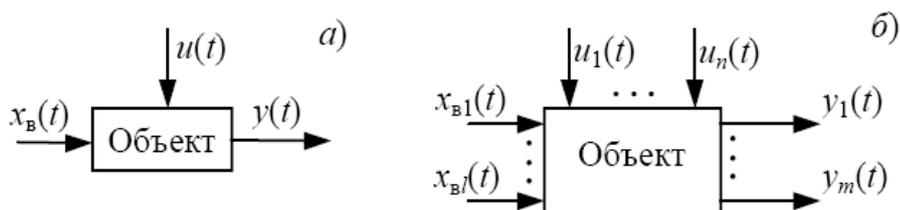


Рис. 1.2 Примеры изображения объектов с входными и выходными сигналами:

a – односвязный – характеризуется наличием векторов, имеющих по одной координате; b – многосвязный – характеризуется несколькими взаимосвязанными координатами.

Любой элемент системы характеризуется входной координатой (сигналом) $x(t)$ и выходной координатой $y(t)$, которая зависит от входного сигнала. В свою очередь входная координата может носить возмущающий и управляющий (регулирующий) характер. Возмущающее воздействие (возмущение) $xв(t)$ вызывает отклонение управляемой (регулируемой) координаты от заданного значения. Управляющее $u(t)$ (регулирующее $xр(t)$) воздействие служит для поддержания управляемой (регулируемой) координаты $y(t)$ в соответствии с некоторым законом управления (поддержания регулируемой координаты на заданном уровне) (рис. 1.2).

Объектами управления являются в процессах химической технологии – механизмы, машины и аппараты, в которых протекают технологические процессы (измельчение, перемешивание, кристаллизация, сушка и др.); производства серной кислоты, автомобильных шин и т.п.

САР – является замкнутой системой, сигналы которой идут в одну сторону. Обратная связь является основой регулирования. Если САР называется открытой, то она является комбинированной.

Локальная САР обычно состоит из 4 элементов и элементов связи. Каждый элемент можно назвать объектом. Среди них – основной объект (элемент, который должен быть автоматизирован) регулируемый процесс.

Заключение

Автоматизация технологических процессов является наиболее важным направлением научно-технического прогресса. От степени автоматизации процесса зависит производительность труда и требуемое качество готовой продукции. Поэтому знание вопросов и проблем автоматизации производства является насущной задачей для современного инженерно-технического работника.

Критерии и показатели оценки лекционного занятия

Критерии и показатели оценки	Степень освоения пройденной темы	Степень активности при освоении новой темы	Степень освоения новой темы	Степень внедрения новой темы в технике и технологии	Максимальный балл
Показатель знаний 1- группы	0,1	0,1	0,5	0,3	1
Показатель знаний 2- группы					
Показатель					

знаний 3- группы					
---------------------	--	--	--	--	--

Тестовые задания:

1. Процесс получения информации о состоянии объекта с помощью измерительных приборов называется _____.
2. _____, с помощью которых выполняются операции автоматического контроля, называется *системой автоматического контроля*
3. Каждый технологический процесс характеризуется определенными _____, которые могут изменяться во времени.
4. Любой технологический процесс подвержен действию различных факторов, которые нельзя заранее предусмотреть. Такие факторы называются _____
5. Управляемый технологический процесс вместе с технологическим оборудованием, в котором он протекает называется _____
6. Любой элемент системы характеризуется входной координатой (сигналом) $x(t)$ и выходной координатой $y(t)$, которая зависит от _____ сигнала.

Контрольные вопросы:

1. В чем заключаются цели и задачи автоматизации?
2. К чему приводит изменение технологического режима?
3. Что означает автоматическое регулирование и управление?
4. Что являются основными элементами системы автоматического регулирования?
5. Обычно из скольких элементов состоит локальная САР?

Рекомендуемая литература

1. Петров И.К. Технологические измерения и приборы в пищевой промышленности.- М: Агропромиздат 1995.
2. Кафаров В.В., Макаров В.В. Гибкие автоматизированные производственные системы в химической промышленности.- М.: Химия, 1990.
3. Бояринов А.И., Кафаров В.В. Методы оптимизации в химической технологии. М.: Химия, 1995.
4. Полоцкий Л.М., Лапшенков Г.М. Автоматизация химических производств; учебное пособие для Вузов.-М.: Химия, 1982. 295с., ил.

Название лекции: Средства и методы контроля технологических параметров

План:

- 1. Понятие об измерении**
- 2. Элементы измерительной цепи**
- 3. Погрешности измерений**

Технология обучения лекционного материала

<i>Количество студентов:</i>	<i>Время – 80 мин</i>
<i>Форма учебного занятия</i>	<i>Визуальная лекция, блиц-опрос</i>
<i>План лекционного занятия</i>	1. Понятие об измерении 2. Элементы измерительной цепи 3. Погрешности измерений
<i>Цель учебного занятия:</i> Формирование у студентов необходимых знаний, навыков и умений по средствам и методам измерения, погрешностям измерения и поверке измерительных преобразователей	
<i>Педагогические задачи:</i> <ul style="list-style-type: none">• Преподаватель объясняет сущность, основные понятия и практические аспекты измерения технологических параметров, поверки измерительных преобразователей	<i>Результаты педагогической деятельности:</i> <p>В результате освоения лекционного материала студенты приобретают знания о средствах и методах измерения технологических параметров, случайных, грубых и систематических ошибках измерения, чувствительности измерительных преобразователей и классах точности измерительных приборов.</p>
<i>Метод и техника обучения</i>	Визуальная лекция, методы блиц-опрос, изложение, кластер
<i>Средства обучения</i>	Конспекты лекций, проектор, раздаточные материалы
<i>Форма обучения</i>	Коллективная, работа в группе

<i>Условие обучения</i>	Проектор, оснащенная компьютером аудитория
<i>Оценка и мониторинг</i>	Задаются контрольные вопросы и тестовые задания для самостоятельного изучения, подготовка слайдов для домашнего задания

Технологическая карта лекционного занятия

<i>Поэтапное время</i>	<i>Действие</i>	
	Преподавателя	Студента
1-этап. Введение (5 мин.)	1.1. Ознакомить с темой лекции, объявляет цель занятия и ожидаемый результат	Слушает и пишет
2-этап Основной (60 мин.)	<p>2.1. Проводит оперативный блиц-опрос для определения готовности студентов к занятию:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Что характеризует состояние объекта? - почему производится измерение? - какие измерительные приборы встречаются в повседневной жизни в быту? <p>2.2. Преподаватель продолжает излагать лекционный материал с использованием лекционных материалов и организует занятия в форме вопрос-ответ.</p> <p>1. Понятие об измерении</p> <p>2. Элементы измерительной цепи</p> <p>3. Погрешности измерений</p>	<p>1. Последовательно получает ответы на вопросы</p> <p>2. Думает и записывает</p> <p>Задаёт вопросы и записывает основные моменты.</p> <p>Старается ответить письменно на каждый вопрос.</p> <p>Выучивает определения, приводить примеры.</p>

	2.3. Уделяет внимание студентов на основные понятия лекционного материала и записывать основные моменты	
3-этап. Заключительный (15 мин)	Заканчивает изложение материала. Уделяет внимание студентов на основные вопросы. Приводит примеры поверки измерительных приборов	Получают домашнее задание по определению погрешности измерений.

Вопросы по таксономии Блума

1. Вопросы для знания на основе конкретных фактов: Какие основные единицы приняты для измерения?
2. Вопросы, предназначенные для понимания сущности измерения: а) приведите примеры прямого измерения б) почему не всегда невозможно прямое измерение?
3. Вопросы, предназначенные для приобретения практических навыков: а) если первичный преобразователь находится в контакте с измеряемой средой и подвергается воздействию внешних возмущений, то в таком случае какие первичные преобразователи нужно применять?
4. Вопросы, предназначенные для анализа взаимосвязи понятий: а) сравните достоинства и недостатки прямых и косвенных измерений
5. Синтез: а) Определите главные задачи данной темы б) Необходимо измерить напряжение сети переменного тока 220 В. Имеются два вольтметра с одинаковыми классами точности 1,5, но с диапазонами измерения 0-300 В и 0-1000 В. Какой из этих приборов дает меньшую абсолютную и относительную погрешность?
6. Оценка: а) Как вы думаете, чем больше класс точности измерительного прибора, тем точнее он измеряет или нет? б) Какой из видов погрешности (случайная, грубая или систематическая) стрелочного измерительного прибора, например, вольтметра, увеличиться, если у него погнута стрелка? Этот прибор пригоден ли для эксплуатации? Если нет, то почему?

1-вопрос. Понятие об измерении

Управление технологическими процессами невозможно без измерения технологических параметров. Измерительное устройство является обязательным элементом любой автоматической системы регулирования (АСР). Измерения технологических параметров необходимо не только для работы АСР, но для контроля технологического режима.

Наука об измерениях называется *метрологией*.

Для измерения различных параметров пользуются единицами физических величин, совокупность которых образуют *систему единиц*. Среди них различают основные и производные единицы. *Основные* – это единицы, на основе которых построена данная система. Все остальные системы выражаются через физические закономерности между основными единицами и являются *производными*.

В настоящее время приняты следующие основные единицы: длины – метр (м), массы – килограмм (кг), времени – секунда (сек), температуры – °С.

В пищевой и химической технологии употребляются следующие производные единицы: силы – ньютон (Н), давления (па), объема – м³, объемного расхода – м³/с, массового расхода – кг/с.

Измерить физическую величину – значит сравнить ее с соответствующей единицей измерения. Нахождение параметра опытным путем с помощью специальных технических средств называется *измерением*.

Измерения, при которых величина измеряемого параметра определяется непосредственно по показаниям прибора являются *прямыми*. Например, измерения температуры термометром, длины линейкой, давление манометром и т.п.

Иногда прямое измерение невозможно или затруднительно. В таких случаях значение измеряемого параметра может быть найдено путем прямых измерений других параметров, связанных с измеряемым известной зависимостью. Это измерение называется *косвенным*. Например, сопротивление электрического нагревателя в рабочем состоянии невозможно измерить омметром. Однако его можно вычислить по закону Ома, измерив для этого падения напряжения на нем вольтметром, а ток через него амперметром. Это пример косвенного измерения сопротивления путем прямых измерений напряжения и тока.

При *совокупных* измерениях числовые значения измеряемой величины определяются в результате решения ряда уравнений, полученных из совокупности прямых измерений одной или нескольких однородных величин, например определение температурного коэффициента

электрического сопротивления $\alpha = \frac{r_{100} - r_0}{100 * r_0}$, где r_0 и r_{100} – сопротивление материала соответственно при 0°С и 100°С.

Совместные измерения предусматривают одновременное измерение двух или нескольких неоднородных величин, которые позволяют определить искомую величину, например определение скорости равномерно движущегося тела v по измеренному пути S и времени t : $v=S/t$

Измерительное устройство, с помощью которого осуществляется процесс измерения представляет собой совокупность технических средств, соединенных в измерительную цепь. Например, при измерении напряжения вольтметр представляет собой измерительную цепь. При взвешивании тела на рычажных весах измерительная цепь состоит из весов и набора гирь.

Любой измеряемый параметр можно рассматривать как выходной сигнал объекта измерения. С другой стороны, измеряемый параметр можно рассматривать как входной сигнал измерительной цепи, а результат измерения – как ее выходной сигнал.

Положение стрелки на шкале вольтметра, цифры на счетчике электроэнергии – это выходные сигналы измерительной цепи. Эти выходные сигналы доступны для наблюдения.

Измерение – это преобразование измеряемого параметра в сигнал, удобный для наблюдения или для дальнейшего преобразования в АСР.

2-вопрос. Элементы измерительной цепи

Преобразование измеряемого сигнала в требуемый выходной сигнал в измерительной цепи может осуществляться одним или несколькими элементами – *измерительными преобразователями*.

Измерительный преобразователь, выходной сигнал которого предназначен для наблюдения называется измерительным прибором.

Измерительными приборами являются, например, вольтметр, электросчетчик, ртутный термометр, манометр и т.п.

Так как сигнал, предназначенный для наблюдения является выходным сигналом измерительной цепи, то измерительный прибор всегда бывает последним преобразователем этой цепи.

Простая измерительная цепь состоит из одного измерительного прибора (ИП):

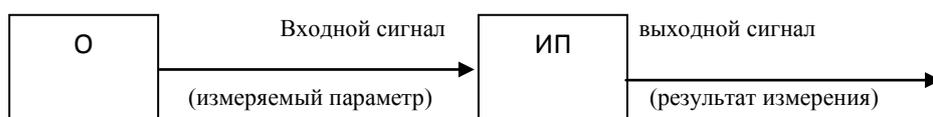


Рис. 1. Простая измерительная цепь:

О – объект измерения; ИП – измерительный прибор

Пример простой измерительной цепи – это измерение напряжения вольтметром, взвешивание тела рычажных весах.

В *сложной* измерительной цепи, составленной из нескольких последовательно соединенных измерительных преобразователей, первый называется **первичным преобразователем** или **датчиком**. Входной сигнал первичного преобразователя является входным сигналом всей цепи, т.е. измеряемым сигналом.

Если сложная измерительная цепь включает помимо первичного преобразователя и измерительного прибора другие измерительные преобразователи, то их называют **промежуточными преобразователями**. Все сигналы сложной измерительной цепи за исключением входного и выходного, также являются промежуточными. Приводим схему сложной измерительной цепи:

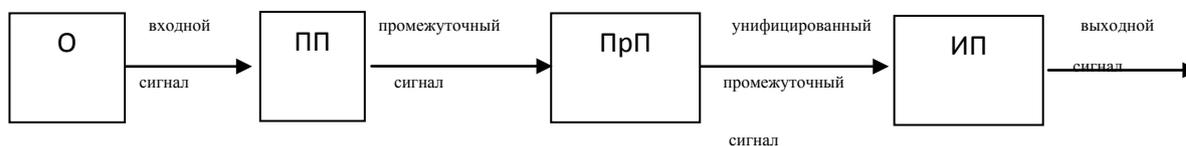


Рис. 2. Сложная измерительная цепь:

О – объект измерения; ПП – первичный преобразователь (датчик);

ПрП – промежуточный преобразователь; ИП – измерительный прибор.

Первичный преобразователь находится в контакте с измеряемой средой и часто подвергается воздействию высоких температур, давлений, вибрации, влажности и др. Поэтому для измерения даже однотипных параметров выпускают различные первичные преобразователи, отличающиеся условиями эксплуатации.

С помощью промежуточного сигнала удастся отделить первичный преобразователь от измерительного прибора и разместить измерительный прибор на щите управления, где обеспечены нормальные условия эксплуатации. Вид промежуточного преобразователя определяется с одной стороны, принципом действия и конструкцией первичного преобразователя, а с другой – удобством передачи сигнала на расстояние и дальнейшего его преобразования.

В сложной измерительной цепи входным сигналом измерительного прибора является не измеряемый, а промежуточный сигнал. Выходные сигналы промежуточных преобразователей бывают *электрические* или *пневматические*. Такие сигналы удобны для дистанционной передачи.

Измерительные приборы могут быть:

- *аналоговые*, показания которых являются непрерывной функцией измеряемой величины (например, термометр);

- *цифровые*, автоматически вырабатывающие дискретные сигналы, представленные в цифровой форме (например часы-табло);
- *показывающие*, допускающие только отсчитывание показаний с помощью отсчетных устройств (например шкалы и стрелки);
- *регистрирующие*, в которых измеряемые значения величины фиксируются на специальном записывающем устройстве (например, диаграммная бумага, магнитная лента, микропроцессорное устройство и др.);
- *интегрирующие*, дающие интегральное значение измеряемой величины (например, электросчетчик, спидометр и др.);
- *суммирующие*, показания которых есть сумма двух или нескольких величин, подводимых к прибору (например, ваттметр, измеряющий сумму мощностей нескольких электрических величин);
- *измерительные преобразователи*, или *датчики*, вырабатывающие сигналы измерительной информации в форме, удобной для передачи по каналам связи (например, термopара).

3-вопрос. Погрешности измерений

Любой технологический параметр невозможно измерить абсолютно точно. Это объясняется несовершенством измерительных преобразователей, воздействием на процесс измерения различных внешних возмущений и другими факторами. Поэтому всякое измерение производится с ***погрешностью, под которой понимаем отклонение результата измерения от истинного значения измеряемого параметра.***

Различаются *случайные, грубые и систематические* погрешности.

Случайные погрешности изменяются случайным образом при многократных измерениях одного и того же параметра. Они принципиально не могут быть устранены или учтены при измерениях.

Грубые погрешности возникают вследствие неправильной организации процесса измерения (например, из-за неправильной эксплуатации измерительного прибора, выхода из строя какого-либо элемента измерительной цепи и т.п.). Такие погрешности могут быть обнаружены и устранены.

Систематические погрешности- те, которые закономерно изменяются или остаются постоянными при многократных измерениях одного и того же параметра. Они вызваны недостатками методов измерений и конструкций измерительных преобразователей и могут быть вычислены и учтены в результате измерений.

В практике измерений принято выделять *абсолютную* и *относительную* погрешность.

Погрешность измерения определяют по абсолютному значению (модулю) разности между измеренным и истинным значениями параметра. Это **абсолютная погрешность измерения**. Если через $x_{и}$ обозначим результат измерения, а через x истинное значение параметра, то абсолютная погрешность ΔX равна:

$$\Delta X = x_{и} - x$$

Часто абсолютная погрешность оказывается неудобной для сравнения точности различных измерений. Поэтому вводится понятие *относительной погрешности измерения*.

Относительная погрешность измерения представляет собой отношение абсолютной погрешности к истинному значению измеряемого параметра:

$$\sigma = \frac{\Delta x}{x}$$

Относительная погрешность безразмерная величина и выражается в процентах.

Точность измерительных преобразователей оценивают по *приведенной погрешности*, которая определяется как отношение абсолютной погрешности к диапазону измерения измерительного прибора и выражается в процентах :

$$\gamma = \frac{\Delta x}{x_{н}}$$

Важной характеристикой измерительных приборов систем автоматики является **класс точности**. Класс точности определяется на основании приведенной погрешности. Класс точности средств измерений является обобщенной характеристикой, определяемой пределами допускаемых основных и дополнительных погрешностей, а также другими свойствами средств измерения. Классы точности измерительных приборов устанавливаются ГОСТом и указываются на их шкалах цифрами в кружочек. У приборов с определенным классом точности основная приведенная погрешность в рабочем диапазоне шкалы в процентах не должна превышать значения, соответствующего классу точности, выбранному из ряда чисел $\{1 \cdot 10^n; 1,5 \cdot 10^n; 2 \cdot 10^n; 2,5 \cdot 10^n; 4 \cdot 10^n; 5 \cdot 10^n; 6 \cdot 10^n; \text{здесь } n=1; 0; -1; -2; -3; \dots\}$.

Чувствительность измерительных преобразователей. Чувствительность измерительного преобразователя характеризует его способность измерять малые сигналы. Чем меньше сигналы может измерять измерительный преобразователь, тем выше его чувствительность. Например, милливольтметром можно измерять очень малые напряжения, порядка тысячных долей вольта. Обычный вольтметр не воспринимает такие сигналы и непригоден для их измерения.

Заключение

Как нам известно, управление технологическими процессами невозможно без измерения технологических параметров. Поэтому ознакомиться с методами и средствами измерения имеет важное значение.

Определив погрешности измерения, мы можем заключить о пригодности измерительного прибора к дальнейшей эксплуатации.

Контрольные вопросы:

1. В каких случаях применяется простая измерительная цепь, а в каких случаях сложная измерительная цепь?
2. Каково назначение промежуточных преобразователей?
3. Какие бывают измерительные приборы?
4. Почему возникают погрешности измерений?
5. Что означает класс точности измерительного прибора?

Тестовые задания:

1. Как определяется абсолютная погрешность?
 - a) Отношение наибольшей разности показания между повторными измерениями прибора при одинаковых условиях, к диапазону шкалы, выраженное в процентах
 - b) Наибольшая разность показания между повторными измерениями прибора при одинаковых условиях;
 - c) Разность между измеренным и истинным значениями параметра
 - d) Отношение абсолютной погрешности к действительному значению параметра, выраженное в процентах
 - e) Отношение абсолютной погрешности к диапазону измерения, выраженное в процентах.
2. Относительная погрешность – это:
 - a) Отношение наибольшей разности показания между повторными измерениями прибора при одинаковых условиях, к диапазону шкалы, выраженное в процентах
 - b) Наибольшая разность показания между повторными измерениями прибора при одинаковых условиях
 - c) Разность между показаниями прибора и действительными значениями называют
 - d) Отношение абсолютной погрешности к действительному значению измеряемого параметра, выраженное в процентах
 - e) Отношение абсолютной погрешности к диапазону измерения, выраженное в процентах
3. Что такое вариация?
 - a) Отношение наибольшей разности показания между повторными измерениями прибора при одинаковых условиях, к диапазону шкалы, выраженное в процентах
 - b) Наибольшая разность показания между повторными измерениями прибора при одинаковых условиях
 - c) Разность между показаниями прибора и действительными значениями называют

- д) Отношение абсолютной погрешности к действительному значению параметра, выраженное в процентах
- е) Отношение абсолютной погрешности к диапазону измерения, выраженное в процентах

4. Чувствительность измерительного преобразователя характеризует

- а) его способность измерять точно
- в) его способность измерять большие и малые сигналы
- с) его способность измерять малые сигналы
- д) его способность измерять не очень большие сигналы
- е) его способность быстро воспринимать любые сигналы

Рекомендуемая литература

1. Камразе А.И., Фитерман М.Я. Контрольно-измерительные приборы и автоматика. – Л.: Химия, 1988, 224 с.
2. Петров И.К. Технологические измерения и приборы в пищевой промышленности.- М: Агропромиздат 1995.
3. Полоцкий Л.М., Лапшенков Г.М. Автоматизация химических производств; учебное пособие для Вузов.-М.: Химия, 1982. 295с., ил.

Название лекции: Измерение температуры, виды термометров

План:

1. Понятие о температуре и температурных шкалах
2. Методы измерения температуры
3. Термометры сопротивления. Логометры, мостовые схемы, автоматические уравновешенные мосты.

Первая проблемная ситуация:

Необходимо измерить температуры жидкости в замкнутом сосуде и необходимо передать результат измерения на расстояние. Если воспользуемся термометром расширения, он является местным прибором. Как вы думаете, каким прибором для измерения можно воспользоваться?

Вторая проблемная ситуация:

Наша задача состоит в измерении температуры во взрывоопасном помещении и передаче результатов измерения на расстояние более 40 метров. Какой из методов измерения температуры можно применять в данной ситуации?

Технология обучения лекционного материала

<i>Количество студентов:</i>	<i>Время – 80 мин</i>
<i>Форма учебного занятия</i>	<i>Проблемная лекция, мозговая атака</i>
<i>План лекционного занятия</i>	<p>1. Понятие о температуре и температурных шкалах</p> <p>2. Методы измерения температуры</p> <p>3. Термометры сопротивления. Логометры, мостовые схемы, автоматические уравновешенные мосты.</p>
<i>Цель учебного занятия:</i> Формирование у студентов необходимых знаний, навыков и умений по средствам и методам измерения температуры, выбор оптимального измерительного преобразователя для измерения температуры различных технологических процессов.	
<p><i>Педагогические задачи:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Преподаватель объясняет сущность и основные понятия о температуре и температурных шкалах, измерительных преобразователях температуры, и о средствах и методах измерения температуры 	<p><i>Результаты педагогической деятельности:</i></p> <p>В результате освоения лекционного материала студенты приобретают знания о средствах и методах измерения температуры, ознакомятся с устройством и принципом работы различных термометров</p>
<i>Метод и техника обучения</i>	Проблемная лекция, опрос, изложение, мозговая атака
<i>Средства обучения</i>	Конспекты лекций, проектор, раздаточные материалы, схемы
<i>Форма обучения</i>	Коллективная, работа в группе
<i>Условие обучения</i>	Проектор, оснащенная компьютером аудитория
<i>Оценка и мониторинг</i>	Задаются контрольные вопросы и тестовые задания для самостоятельного изучения, подготовка слайдов для домашнего задания

Технологическая карта лекционного занятия

<i>Поэтапное время</i>	<i>Действие</i>	
	Преподавателя	Студента
1-этап. Введение (5 мин.)	1.1. Ознакомить с темой лекции, объявляет цель занятия и ожидаемый результат	Слушает и пишет
2-этап Основной (60 мин.)	<p><i>2.1. Проводит оперативный опрос для определения готовности студентов к занятию:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Какую роль играет температура в проведении технологических процессов? - как влияет изменение температуры, приведете простые примеры? - какие термометры имеются у вас дома? <p>2.2. Преподаватель продолжает излагать лекционный материал с использованием лекционных материалов и организует занятия в форме проблемной ситуации:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Понятие о температуре и температурных шкалах 2. Методы измерения температуры 3. Термометры сопротивления. Логометры, мостовые схемы, автоматические уравновешенные мосты. <p>2.3. Уделяет внимание студентов на основные понятия лекционного материала и записывать основные моменты</p>	<p>1. Последовательно получает ответы на вопросы</p> <p>2. Думает и записывает</p> <p>Задает вопросы и записывает основные моменты.</p> <p>Старается ответить письменно на каждый вопрос.</p> <p>Выучивает определения, приводить примеры.</p>

<p>3-этап. Заключительный (15 мин)</p>	<p>Заканчивает изложение материала. Уделяет внимание студентам на основные вопросы. Приводит примеры изображения объектов с входными и выходными сигналами</p>	<p>Получают домашнее задание по схематическому изображению простой и сложной измерительных цепей</p>
---	---	--

1- вопрос. Понятие о температуре и о температурных шкалах

Температура является важным параметром, определяющим не только протекание технологического процесса, но и свойства вещества.

Температурой называют величину, характеризующую тепловое состояние тела. Согласно кинетической теории температуру определяют как меру кинетической энергии поступательного движения молекул. Отсюда температурой называют условную статистическую величину, прямо пропорциональную средней кинетической энергии молекул тела.

Для измерения температуры обычно используют изменение какого-либо физического свойства тела, однозначно зависящего от его температуры и легко поддающегося измерению. К числу свойств, положенных в основу работы приборов для измерения температуры относятся объемное расширение тел, изменения давления вещества в замкнутом объеме, возникновение термоэлектродвижущей силы (термо-Э.Д.С), изменение электрического сопротивления проводников и полупроводников, интенсивность излучения нагретых тел и др.

Температуры тела или системы обычно определяют по изменению одного из указанных физических свойств специального термометрического элемента, находящегося в тепловом равновесии с телом или системой, температура которых определяется.

При измерении температуры используют две шкалы: ***термодинамическую***, основанную на втором законе термодинамики, и ***Международную практическую*** (МТПШ-68), построенную на ряде постоянных легко воспроизводимых точек плавления и кипения химически чистых веществ, числовые значения которых определены с высокой степенью точности.

Единицей измерения температуры (t) в Международной практической шкале служит градус ($^{\circ}\text{C}$). Температуру в термодинамической шкале обозначают символом E и выражают в кельвина K ($1^{\circ}\text{C} = 1\text{K}$).

Термодинамическая температурная шкала имеет одну опорную точку, за которую принята тройная точка воды (температура равновесной системы

лед - жидкая вода – водяной пар), равная 273,16 К и лежащая выше точки таяния льда на 0,01 К. Нуль в термодинамической шкале (0 К) – точка абсолютного нуля температуры.

2-вопрос. Методы измерения температуры

Температуру измеряют с помощью *термометров*. Термометрами называют устройства (приборы), предназначенные для измерения температуры путем преобразования ее в величину, которая может быть отсчитана, зафиксирована или преобразована в сигнал, являющийся функцией температуры.

В зависимости от физических свойств, на которых основано действие приборов для измерения температуры различают: *термометры расширения, манометрические термометры, термометры сопротивления, термоэлектрические термометры и пирометры излучения.*

В таблице 1 приведены наиболее распространенные устройства для измерения температуры и практические пределы их применения.

Таблица 1

Термометрическое свойство	Наименование устройства	Пределы длительного применения, °С	
		Нижний	Верхний
Тепловое расширение	Жидкостные стеклянные термометры	-190	600
Изменение давления	Манометрические термометры	-160	60
Изменение электрического сопротивления	Электрические термометры сопротивления.	-200	500
	Полупроводниковые термометры сопротивления	-90	180
Термоэлектрические эффекты	Термоэлектрические термометры (термопары) стандартизованные.	-50	1600

	Термоэлектрические термометры (термопары) специальные	1300	2500
Тепловое излучение	Оптические пирометры.	700	6000
	Радиационные пирометры.	20	3000
	Фотоэлектрические пирометры.	600	4000
	Цветовые пирометры	1400	2800

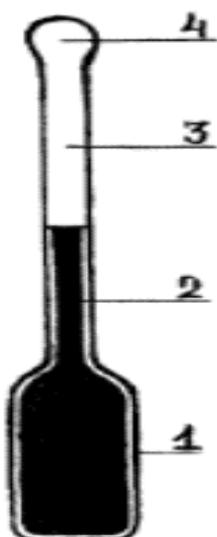


Рис. 1

Термометры расширения построены на принципе изменения объема жидкости (жидкостные) или линейных размеров твердых тел (биметаллические и дилатометрические) при изменении температуры.

Действие жидкостных термометров основано на различии коэффициентов теплового расширения термометрического вещества (обычно ртуть или спирт) и оболочки, в которой оно находится (термометрическое стекло или реже кварц). Они применяются для местных измерений температур в пределах от -190 до $+600$ °С.

Жидкостный термометр состоит из стеклянного баллона 1, капиллярной трубки 3 и запасного резервуара 4 (рис. 1). Термометрическое вещество 2 заполняет баллон и частично капиллярную трубку. Свободное пространство в капиллярной трубке и в запасном резервуаре заполняется инертным газом или может находиться под вакуумом. Запасной резервуар или выступающая за верхним делением шкалы часть капиллярной трубки служит для предохранения термометра от порчи при чрезмерном перегреве.

В качестве термометрического вещества чаще всего применяют химически чистую ртуть. Она не смачивает стекла и остается жидкой в широком интервале температур. Кроме ртути в качестве термометрического вещества в стеклянных термометрах применяются и другие жидкости, преимущественно органического происхождения. Например, метиловый и этиловый спирт, керосин, пентан, толуол, галлий.

Основные достоинства стеклянных жидкостных термометров – простота и достаточно высокая точность измерения. К недостаткам

стеклянных термометров можно отнести: невозможность автоматической записи показаний, невозможность ремонта и возможности передачи показаний на расстояние.

Манометрические термометры

Действие манометрических термометров основано на использовании зависимости давления вещества при постоянном объеме от температуры. Замкнутая измерительная система манометрического термометра состоит из (рис. 2) из чувствительного элемента, воспринимающего температуру измеряемой среды, - металлического термобаллона 1, рабочего элемента манометра 2, измеряющего давление в системе, длинного соединительного металлического капилляра 3. При изменении температуры измеряемой среды

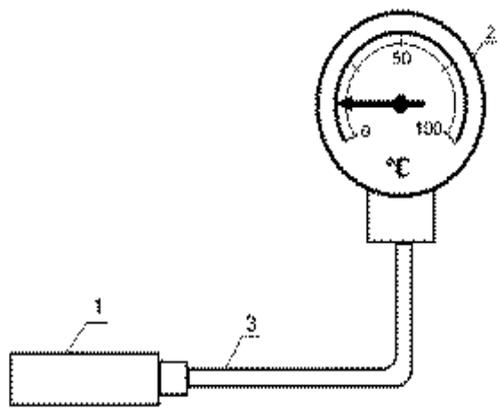


Рис. 2

давление в системе изменяется, в результате чего чувствительный элемент перемещает стрелку или перо по шкале манометра, отградуированного в градусах температуры. Манометрические термометры часто используют в системах автоматического регулирования температуры, как бесшкальные устройства информации (датчики).

Манометрические термометры подразделяют на три основных разновидности:

1. Жидкостные, в которых вся измерительная система (термобаллон, манометр и соединительный капилляр) заполнены жидкостью;
2. Конденсационные, в которых , термобаллон заполнен частично жидкостью с низкой температурой кипения и частично – ее насыщенными парами, а соединительный капилляр и манометр – насыщенными парами жидкости или, чаще, специальной передаточной жидкостью;
3. Газовые, в которых вся измерительная система заполнена инертным газом.

Достоинствами манометрических термометров являются сравнительная простота конструкции и применения, возможность дистанционного измерения температуры и возможность автоматической записи показаний. К недостаткам манометрических термометров относятся: относительно невысокая точность измерения (класс точности 1.6; 2.5; 4.0 и реже 1.0); небольшое расстояние дистанционной передачи показаний (не более 60 метров) и трудность ремонта при разгерметизации измерительной системы.

Манометрические термометры не имеют большого применения на тепловых электрических станциях. В промышленной теплоэнергетике они встречаются чаще, особенно в случаях, когда по условиям взрыво – или пожаробезопасности нельзя использовать электрические методы дистанционного измерения температуры.

Проверка показаний манометрических термометров производится теми же методами и средствами, что и стеклянных жидкостных.

Термоэлектрические термометры

Для измерения температуры в промышленности наиболее широкое распространение получили термоэлектрические термометры, работающие в интервале температур от -200 до $+2500$ °С и выше. Данный тип устройств характеризует высокая точность и надежность, возможность использования в системах автоматического контроля и регулирования параметра, в значительной мере определяющего ход технологического процесса в металлургических агрегатах.

Сущность термоэлектрического метода заключается в возникновении ЭДС в проводнике, концы которого имеют различную температуру. Для того, чтобы измерить возникшую ЭДС, ее сравнивают с ЭДС другого проводника, образующего с первым термоэлектрическую пару АВ (рис. 3), в цепи которой потечет ток.

Результирующая, термо-ЭДС цепи, состоящей из двух разных проводников А и В (однородных по длине), равна

$$E_{AB}(t_2, t_1) = e_{AB}(t_2) + e_{AB}(t_1)$$

или

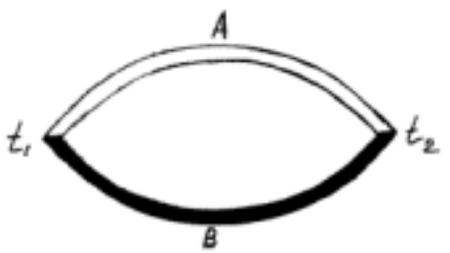
$$E_{AB}(t_2, t_1) = e_{AB}(t_2) - e_{AB}(t_1) \quad (1)$$

где $e_{AB}(t_2)$ и $e_{AB}(t_1)$ - разности потенциалов проводников А и В соответственно при температурах t_2 и t_1 , мВ.

Термо-ЭДС данной пары, зависит только от температуры t_1 и t_2 и не зависит от размеров термоэлектродов (длины, диаметра), величин теплопроводности и удельного электросопротивления.

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

Термоэлектрический термометр (ТТ) – это измерительный преобразователь, чувствительный элемент которого (термопара) расположен в специальной защитной арматуре, обеспечивающий защиту термоэлектродов от механических повреждений и воздействия измеряемой среды.



Защитные чехлы выполняются из газонепроницаемых материалов, выдерживающих высокие температуры и агрессивное воздействие среды. При температурах до 1000°C применяют

Рис. 3

металлические чехлы из углеродистой или нержавеющей стали, при более высоких температурах – керамические: фарфоровые, карбофраксовые, алундовые, из диборида циркония и т. п.

В качестве термоэлектродов используется проволока диаметром 0.5 мм (благородные металлы) и до 3 мм (неблагородные металлы). Спай на рабочем конце термопары образуется сваркой, пайкой или скручиванием. Последний способ используется для вольфрам-ренийевых и вольфрам-молибденовых термопар.

Термоэлектрические термометры выпускаются двух типов: погружаемые, поверхностные. Промышленность изготавливает устройства различных модификаций, отличающихся по назначению и условиям эксплуатации, по материалу защитного чехла, по способу установки термометра в точке измерения, по герметичности и защищенности от действия измеряемой среды, по устойчивости к механическим воздействиям, по степени тепловой инерционности и т. п.

3-вопрос. Электрические термометры сопротивления

Принцип действия электрических термометров сопротивления основан на изменении электрического сопротивления металлических проводников в зависимости от температуры. Металлы при нагреве увеличивают свое сопротивление. К достоинствам термометров сопротивления относятся: высокая точность измерения, возможность измерения узкого диапазона температур, легкость осуществления автоматической записи и дистанционной передачи показаний.

К материалу термометра сопротивления предъявляются следующие требования:

- 1) устойчивость физических и химических свойств при нагревании, в частности, однозначность зависимости сопротивления от температуры;
- 2) высокий температурный коэффициент электрического сопротивления, повышающий чувствительность прибора;
- 3). большое удельное сопротивление проводника, способствующее изготовлению термометров малых размеров;
- 4). возможность получения металла в чистом виде, обеспечивающего взаимозаменяемость изготавливаемых термометров.

Из числа чистых металлов наиболее пригодными для приготовления термометров сопротивления являются платина (pt) и медь (Cu).

Наилучшим материалом является платина (Pt), т.к. он химически инертен в окислительной среде и его легко можно получить в чистом виде. Температурный коэффициент электрического сопротивления платины- $3,94 \cdot 10^{-3} \text{ град}^{-1}$ и удельное сопротивление - $0,099 \text{ ом мм}^2/\text{м}$.

С помощью платинового термометра сопротивления можно измерить температуру в пределах $-200^{\circ}\text{C}+650^{\circ}\text{C}$ Сопротивление R_t платины в

зависимости от температуры в интервале от 0°C до 650°C находится по формуле

$$R_t = R_0 (1 + At + Bt^2),$$

где A и B - постоянные коэффициенты, которые определяются при градуировке;

R_0 - сопротивление при 0°C .

Рассмотрим устройство платинового термометра сопротивления ТСП-1 Гр21.

На каркас из слюдяной пластинки 1 (рис.4 с размерами $100 \times 10 \times 0,3$ мм, имеющего по бокам зубчатую насечку, бифилярно намотана платиновая проволока 2 диаметром $0,007$ мм и длиной 2 м. К концам платиновой обмотки припаяны два вывода из серебряной проволоки ($d=1$ мм) 3, присоединяемые к латунным зажимам в головке термометра.

Слюдяная пластинка с обмоткой изолирована с двух сторон более широкими слюдяными накладками 4 и связана с ними в общий пакет серебряной лентой 5.

Этот чувствительный элемент вставляется в алюминиевый вкладыш 6 и он заключен в трубчатую оболочку 7 из алюминия. Серебряные выводы изолированы фарфоровыми бусами 8 (рис 5).

Оболочка 7 с чувствительным элементом помещается в стальной защитный чехол с приваренным к нему штуцером, для установки термометра в трубопроводах и аппаратах. В верхней части чехла имеется головка с зажимами для присоединения внешних соединительных проводов.

Медные термометры сопротивления также обладают некоторыми преимуществами: дешевизна, легкость получения в чистом виде и высокий температурный коэффициент электрического сопротивления ($4,26 \cdot 10^{-3} \text{град}^{-1}$).

Недостаток – небольшое удельное сопротивление $0,017$ ом $\text{мм}^2/\text{м}$ и легкая окисляемость при высоких температурах. Поэтому диапазон измерения медными термометрами сопротивления ограничена (-50°C + 180°C).

Зависимость сопротивления меди от температуры (t) в интервале – 50 до 180°C выражается уравнением

$$R_t = R_0(1 + \alpha t),$$

где α - температурный коэффициент сопротивления меди (град^{-1}).

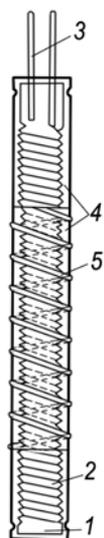


Рис.4.

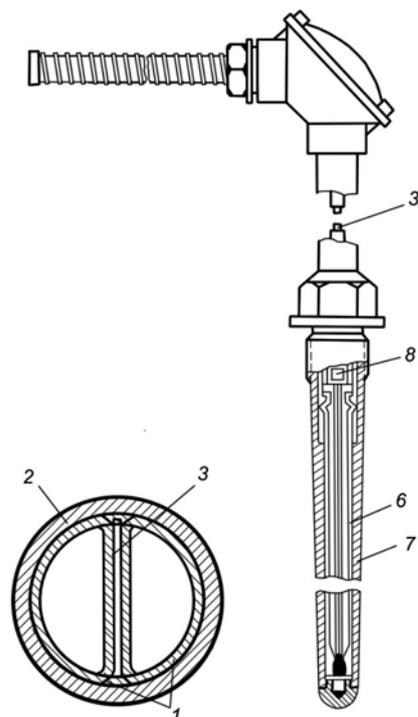


Рис.5.

Выпускаются платиновые и медные (ТСП и ТСМ) стандартные термометры сопротивления. Градуировочное сопротивление этих термометров при 0°C (R_0) имеет различные значения и в зависимости от этого выпускаются термометры сопротивления различной градуировки.

Платиновые (ТСП), градуировки Гр 20, в которых $R_0=10$ ом; Гр-21, в которых $R_0=46$ ом и Гр22, для которого $R_0=100$ ом, а также 50П, для которого $R_0=50$ ом и 100П, для которого $R_0=100$ ом.

Медные (ТСМ) градуировки Гр23, в которых $R_0=53$ ом и Гр24, в которых $R_0=100$ ом, а также 50М, для которого $R_0=50$ ом и 100М для которого $R_0=100$ ом.

Начат выпуск термометров сопротивления с унифицированным выходным сигналом 0-5, 4-20 мА: ТСМУ на пределы от -50 до 200°C ; ТСПУ на пределы от -200 до 500°C .

Выпускаются также полупроводниковые термометры сопротивления-терморезисторы (термисторы), которые изготавливаются из смеси окислов

марганца, меди, кобальта, никеля путем прессования и термической обработки при высоких температурах. Терморезисторы имеют отрицательный температурный коэффициент, т.е при нагревании уменьшают свое сопротивление.

В качестве вторичных приборов, работающих с термометрами сопротивления, применяются уравновешенные и неуравновешенные измерительные мосты и логометры.

Уравновешенный измерительный мост

Уравновешенный измерительный мост (рис.5) состоит из 4^x плеч, образующих две параллельные ветви «а b с» и «а d с».

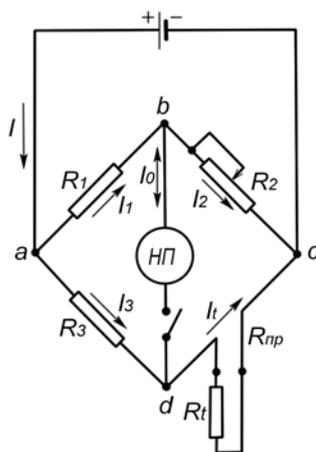


Рис.5

R_1 и R_3 – постоянные сопротивления;

R_2 – градуированный, переменный реохорд;

R_t - термометр сопротивления;

Б - источник питания постоянного тока;

НП - нулевой гальванометр;

$R_{пр}$ – сопротивление соединительных проводов.

При измерении температуры, перемещая движок реохорда, можно привести мост в равновесие, при котором через диагональ «с d» ток I_0 протекать не будет, т.е $I_0=0$. В этом случае потенциалы b и d равны и ток I от источника питания разветвляется в вершине моста «а» на две соответствующие части: I_1 и I_3 , вызывающие одинаковые падения напряжения на плечах R_1 и R_3 , т.е.

$$I_1 R_1 = I_3 R_3 \quad (1)$$

При этом в двух других плечах моста падения напряжения также равны, т.е.

$$I_2 R_2 = I_t (R_t + 2R_{пр}) \quad (2)$$

Разделив (1) на (2), получим:

$$\frac{I_1 R_1}{I_2 R_2} = \frac{I_3 R_3}{I_t (R_t + 2R_{пр})} \quad (3)$$

Если учесть, что при $I_0=0$: $I_3=I_t$ и $I_1=I_2$ (из закона Кирхгофа), тогда после некоторых преобразований получим

$$R_2 R_3 = R_1 (R_t + 2R_{пр}) \quad (4)$$

Таким образом, это уравнение справедливо при равновесии измерительного моста, когда произведение сопротивлений противоположащих плеч равно. Из (4) можно получить:

$$R_t = \frac{R_2}{R_1} R_3 - 2R_{пр}$$

Если учесть, что $\frac{R_2}{R_1}$ и $R_{пр}$ – величины постоянные, то каждому значению R_t при равновесии моста соответствует определенное значение R_3 , шкала которого может быть градуирована в Омах или в градусах ($^{\circ}\text{C}$).

С изменением температуры окружающей среды изменяется сопротивление соединительных проводов, которое влияет на точность измерения.

Для устранения этой погрешности измерения применяют трехпроводную схему включения термометра сопротивления к мостовой схеме (рис.15). При этом две отдельные соединительные провода окажутся в двух смежных плечах моста, т.е. $R_t + R_{пр}$ и $R_3 + R_{пр}$.

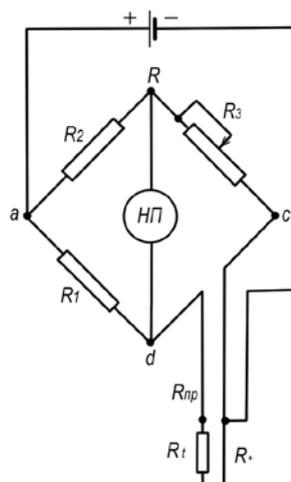


Рис.6

Если вспомнить соотношение 4, то можно написать,

$$R_2(R_1 + R_{np}) = R_1(R_3 + R_{np})$$

Откуда следует, что изменение сопротивления R_{np} компенсирует друг друга, особенно когда сопротивления R_1 и R_2 равны (симметричный мост), происходит полная компенсация колебаний R_{np} .

Достоинством этого прибора является то, что небольшие колебания напряжения источника питания не влияют на точность измерения.

Уравновешенные мосты бывают технические (автоматические) переносные (контрольные) и образцовые.

Автоматический уравновешенный измерительный мост

При измерении температуры в промышленных условиях в комплекте с термометрами сопротивления работают автоматические показывающие и самопишущие уравновешенные мосты.

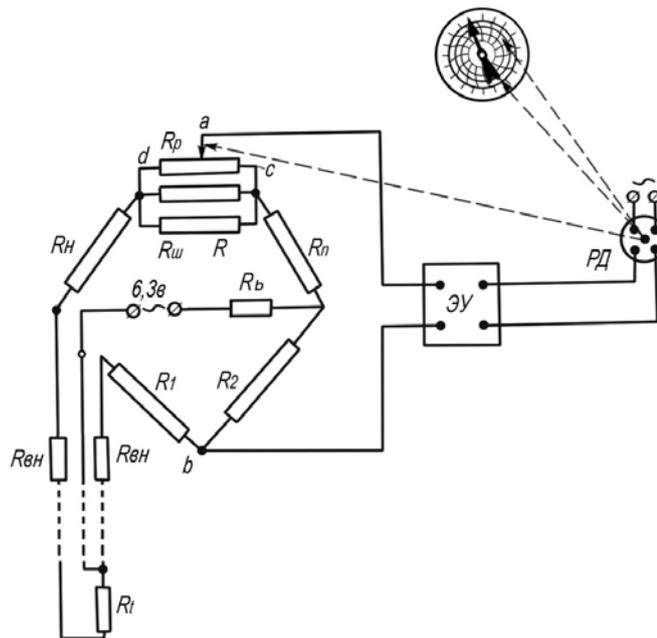


Рис.7

Для уменьшения влияния температуры окружающей среды термометры сопротивления подключаются к мостовым схемам по трехпроводной схеме подключения.

КСМ-3 состоит из постоянных резисторов R_1 и R_2 , реохорда R_p , шунтирующего резистора $R_{ш}$ – для ограничения тока протекающего через реохорд, резисторов $R_{п}$ и R для подгонки нижнего и верхнего пределов шкалы прибора, термометра сопротивления R_t . R_{np}^I , R_{np}^{II} – резисторы для подгонки сопротивления соединительных проводов до градуировочного значения.

Вместо нулевого гальванометра в диагональ моста подключен электронный усилитель ЭУ.

Выпускаются следующие разновидности автоматических мостов: КСМ1, КПМ1, КВМ1 миниатюрные приборы; КСМ2 - малогабаритные мосты; КСМ3 - автоматические мосты с дисковой диаграммой; КСМ4 - автоматические мосты с ленточной диаграммой.

Неуравновешенный измерительный мост

Неуравновешенные измерительные мосты (рис.8) из-за невысокой точности показаний применяются только для технических измерений. Три плеча этого моста составляют постоянные сопротивления R_1 - R_3 , и четвертое R_t или R_k (R_k - постоянное, контрольное сопротивление).

Допустим, что мост находится в состоянии равновесия при 0°C . С изменением температуры нарушается равновесие моста, и через диагональ cd протекает ток, величина которого пропорциональна изменению сопротивления R_t , а следовательно, температуре. Если подключить в этот диагональ милливольтметр, то угол отклонения стрелки прибора будет пропорционален току I_m .

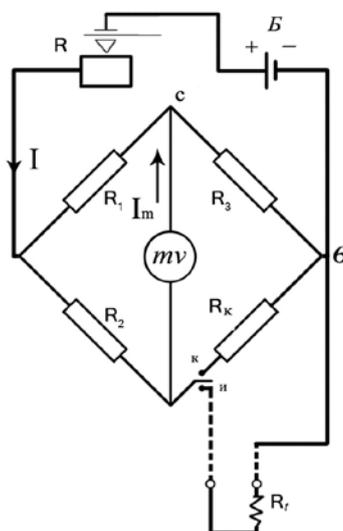


Рис.8.

Достоинством этого метода измерения является непосредственное измерение температуры. Недостатком неуравновешенного моста является то, что с изменением напряжения источника питания (Б) $I_{ав}$ пропорционально этому изменению меняется и ток I_m . Для поддержания однозначной зависимости I_m от R_t необходимо поддерживать напряжение $I_{ав}$ постоянным, что проверяется путем переключения переключателя в положение «к» (контроль) и тогда в четвертое плечо моста подключается строго постоянное

и известное сопротивление. При этом стрелка милливольтметра должна отклониться до красной отметки.

В зависимости отклонения стрелки от красной отметки, путем изменения сопротивления R стрелка доводится до этой отметки. Такая процедура должна повторяться 2 раза в сутки. Неуравновешенные мосты чаще всего применяются при анализе газов (в схемах газового анализа) и в электрических концентромерах.

Логометры

Логометры относятся к приборам магнитоэлектрической системы.

Принцип действие логометра заключается, в измерении отношения токов, протекающих в двух параллельных электрических цепях, питаемых от постороннего источника постоянного тока, в каждую из которых включена соответствующая рамка прибора.

Прибор состоит из термометра сопротивления R_t , постоянного резистора R источника питания. Между полюсными наконечниками 3 расположен стальной цилиндрический сердечник 2, который образует с магнитными наконечниками неравномерный воздушный зазор. В зазорах перемещаются одинаковые скрещенные жестко связанные рамки R_p^I и R_p^{II} из медного изолированного провода.

Измерительная схема состоит из двух параллельных цепей. Если сопротивление I цепи равно сопротивлению II цепи, то тогда токи в обеих цепях равны, т.е. $I_1=I_2$ при

$$R+R_p^I=R_t+R_p^{II}+R_{пр}$$

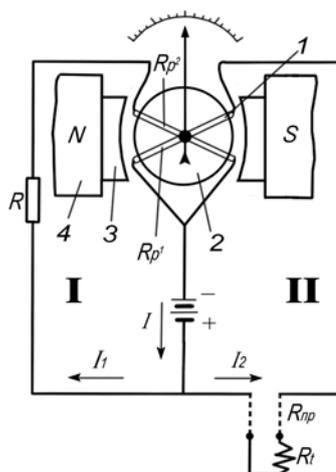


Рис.9

При этом вращающие моменты равны ($M_1 = M_2$) и стрелка прибора находится по середине шкалы. С изменением температуры сопротивление

термометра R_t меняется, что приводит к изменению I_2 и, следовательно, M_2 . При этом рамка R_p^{II} начинает вращаться и перемещаться, допустим, в сторону уменьшения воздушного зазора. Так как рамки связаны жестко между собой параллельное движение сделает и рамка R_p^{I} . Он перемещается в сторону увеличения воздушного зазора.

Изменение момента в этом случае связано изменением магнитной индукции. Когда рамка находится в среднем положении, то магнитная индукция имеет максимальное значение, т.к. плотность магнитных силовых линий в середине больше.

Из-за встречного направления моментов рамки перемещаются до наступления нового равновесного состояния, т.е.

$$M_1 = M_2$$

Такое состояние наступает за счет изменения B_1 и B_2 . Состояние равновесия можно записать

$$2r_1 n_1 l_1 B_1 I_1 = 2r_2 n_2 l_2 B_2 I_2,$$

где r - радиус рамки;

n - число витков;

l - длина рамки;

B_1, B_2 - магнитные индукции в зонах расположения рамок R_p^{I} и R_p^{II} .

Геометрические размеры и число витков у обеих рамок одинаковы и поэтому можно записать

$$I_1 B_1 = I_2 B_2 \text{ или } \frac{I_1}{I_2} = \frac{B_2}{B_1};$$

а отношение магнитных индукций $\frac{B_2}{B_1}$ есть функция угла поворота φ

подвижной части, зависящая от формы полюсных наконечников и сердечника. Поэтому,

$$\frac{I_1}{I_2} = f(\varphi) \text{ или, } \varphi = f\left(\frac{I_1}{I_2}\right)$$

Известно, что

$$I_1 = \frac{E_\delta}{R_p^{\text{I}} + R} \text{ а, } I_2 = \frac{E_\delta}{R_t + R_p^{\text{II}} + R_{np}},$$

подставив, получим

$$\varphi = f\left(\frac{R_t + R_p^{\text{II}} + R_{np}}{R_p^{\text{I}} + R}\right)$$

величины $R_p^{\text{I}}, R_p^{\text{II}}, R_{np}$ и R постоянны, и следовательно можно записать $\varphi = \psi(R_t)$.

Таким образом, угол поворота стрелки логометра зависит только от сопротивления R_t .

Выпускаются следующие модификации логометров:

Л-64, Л-64 И (искробезопасный прибор). ЛР-64-02, с 2^x-позиционным регулирующим устройством.

Класс точности у этих приборов - 1,5.

Пирометры излучения

О температуре нагретого тела можно судить на основании измерения параметров его теплового излучения, представляющего собой электромагнитные волны различной длины. Чем выше температура тела, тем больше энергии оно излучает.

Термометры, действие которых основано на измерении теплового излучения, называют пирометрами. Они позволяют контролировать температуру от 100 до 6000 °С и выше. Одним из главных достоинств данных устройств является отсутствие влияния измерителя на температурное поле нагретого тела, так как в процессе измерения они не вступают в непосредственный контакт друг с другом. Поэтому данные методы получили название бесконтактных.

На основании законов излучения разработаны пирометры следующих типов:

1. Пирометр суммарного излучения (ПСИ) – измеряется полная энергия излучения;
2. Пирометр частичного излучения (ПЧИ) – измеряется энергия в ограниченном фильтром (или приемником) участка спектра;
3. Пирометры спектрального отношения (ПСО) – измеряется отношение энергии фиксированных участков спектра.

В зависимости от типа пирометра различаются радиационная, яркостная, цветовая температуры.

Радиационной температурой реального тела T_p называют температуру,

при которой полная мощность АЧТ равна полной энергии излучения данного тела при действительной температуре T_d .

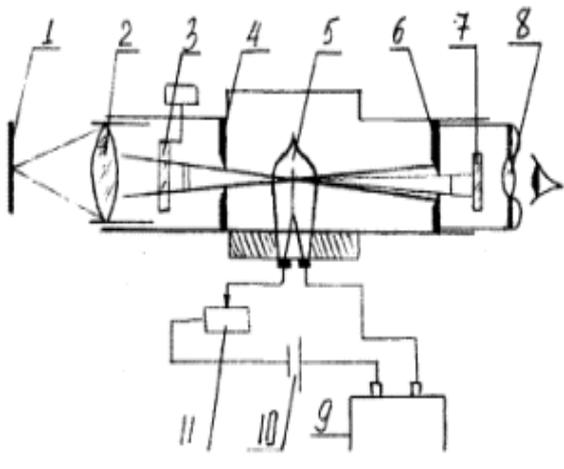


Рис. 11

Яркостной температурой реального тела T_y называют температуру, при которой плотность потока спектрального излучения АЧТ равна плотности потока спектрального излучения реального тела для той же длины

волны (или узкого интервала спектра) при действительной температуре T_d .

Цветовой температурой реального тела T_c называют температуру, при которой отношения плотностей потоков излучения АЧТ для двух длин волн λ_1 и λ_2 равно отношению плотностей потоков излучений реального тела для тех же длин волн при действительной температуре T_d .

Заключение

Как сказано выше, температура является важным параметром, определяющим не только протекание технологического процесса, но и свойства готовой продукции. В химической и пищевой промышленности применяются разнообразные технологические процессы, которые резко отличаются по температурным режимам. Есть такие процессы, проводимые при более высоких температурах, а для организации некоторых процессов требуется небольшая или даже минусовая температура. Поэтому измерение и контроль температуры, несомненно, имеет большое значение. При этом для измерения и контроля температуры необходимо правильно выбрать измерительный преобразователь.

Контрольные вопросы:

1. Какая температурная шкала применяется при технических измерениях?
2. Какие первичные преобразователи применяются для измерения температуры?
3. В чем заключается принцип работы термоэлектрического термометра?
4. Во взрывоопасных помещениях, какие термометры могут быть использованы?
5. Какие места в конструкции манометрических термометров являются уязвимыми?

Тестовые задания:

1. При измерении температуры используют две шкалы: _____, основанную на втором законе термодинамики, и _____ шкалу.

2. В зависимости от физических свойств, на которых основано действие приборов для измерения температуры различают: _____

3. Действие _____ термометров основано на различии коэффициентов теплового расширения термометрического вещества (обычно ртуть или спирт) и оболочки, в которой оно находится

4. Сущность термоэлектрического метода измерения температуры основано _____

5. _____ состоит из 4^x плеч,

образующих две параллельные ветви «a b c» и «a d c».

6. Автоматические потенциометры работают в комплекте с _____

Рекомендуемая литература

1. Юнусов И.И. Методы и приборы технологического измерения. Конспект лекций.- ТХТИ, 2010 г.
2. Технологические измерения и приборы для химических производств...
<http://www.toroid.ru/kulakov.html>
3. Юсупбеков Н.Р., Мухаммедов Б.И., Гуломов Ш.М. Автоматика ва ишлаб чикариш процессларини автоматлаштириш - Т. «Ўқитувчи», 1982 й

Название лекции: Метода измерения давления

План:

1. Единицы и методы измерения давления
2. Жидкостные манометры
3. Деформационные манометры
4. Грузопоршневые манометры

Технология обучения лекционного материала

<i>Количество студентов:</i>	<i>Время – 80 мин</i>
<i>Форма учебного занятия</i>	<i>Визуальная лекция, вопрос-ответ</i>
<i>План лекционного занятия</i>	<ol style="list-style-type: none">1. Единицы и методы измерения давления2. Жидкостные манометры3. Деформационные манометры4. Грузопоршневые манометры
Цель учебного занятия: Формирование у студентов необходимых знаний,	

навыков и умений по средствам и методам измерения давления, выбор оптимального измерительного преобразователя давления, навыков и умений поверки деформационных манометров.	
<p>Педагогические задачи:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Преподаватель объясняет основные понятия о видах давления, средствах и методах измерения давления, виды манометров по величине измеряемого давления и по принципу действия 	<p>Результаты педагогической деятельности:</p> <p>В результате освоения лекционного материала студенты приобретают необходимые знания о средствах и методах измерения давления, ознакомятся с устройствами и принципами работы различных манометров</p>
Метод и техника обучения	Визуальная лекция, опрос, изложение, мозговая атака
Средства обучения	Конспекты лекций, проектор, раздаточные материалы, схемы чувствительных элементов деформационных манометров
Форма обучения	Коллективная, работа в группе
Условие обучение	Проектор, оснащенная компьютером аудитория
Оценка и мониторинг	Задаются контрольные вопросы и тестовые задания для самостоятельного изучения, подготовка слайдов для домашнего задания

Технологическая карта лекционного занятия

Поэтапное время	Действие	
	Преподавателя	Студента
1-этап. Введение (5 мин.)	1.1. Ознакомить с темой лекции, объявляет цель занятия и ожидаемый результат	Слушает и пишет
2-этап Основной (60 мин.)	2.1. Проводит оперативный опрос для определения готовности студентов к занятию:	1. Последовательно получает ответы на вопросы

	<p>- Какова роль значения давления в проведении различных технологических процессов?</p> <p>- как влияет величина давления на температуру кипения растворов при выпаривании слабых растворов в вакуум-выпарных аппаратах, приведете простые примеры?</p> <p>- какие самые простые приборы знаете для измерения давления из школьной программы?</p> <p>2.2. Преподаватель продолжает излагать лекционный материал с использованием лекционных материалов и организует занятия в форме визуальной лекции:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Единицы и методы измерения давления 2. Жидкостные манометры 3. Деформационные манометры 4. Грузопоршневые манометры <p>2.3. Уделяет внимание студентов на основные понятия лекционного материала и записывать основные моменты</p>	<p>2. Думает и записывает</p> <p>Задаёт вопросы и записывает основные моменты.</p> <p>Старается ответить письменно на каждый вопрос.</p> <p>Выучивает виды давления, приводить примеры.</p>
<p>3-этап. Заключительный (15 мин)</p>	<p>Заканчивает изложение материала. Уделяет внимание студентов на основные вопросы.</p> <p>Приводит примеры технологических объектов,</p>	<p>Получают домашнее задание по схематическому изображению простой и сложной измерительных</p>

	работающих при избыточном давлении и при глубоком вакууме	цепей
--	---	-------

Оценка опорных слов по таксономии Блума

<i>№</i>	<i>Тема (разделы и модули)</i>	<i>Опорные слова</i>	<i>сообразен</i>	<i>знание</i>	<i>понимание</i>	<i>применени</i>	<i>анализ</i>	<i>Синтез</i>	<i>Оценка</i>	<i>Отношени</i>
	<i>Модуль №4 Примеры проверки деформационных манометров</i>	<i>Проверка</i>	*	*	*					
		<i>манометр</i>	*	*	*	*	*	*		
		<i>Чувствительный элемент</i>	*	*	*					
		<i>Деформация</i>	*	*	*	*				
		<i>поршень</i>	*	*	*					
		<i>груз</i>	*	*	*	*				
		<i>Образцовый манометр</i>	*	*	*					

Дидактические средства, применяемые при проведении занятия:

мультимедийный проектор, компьютерная техника, схема грузопоршневого манометра

1-вопрос. Единицы и методы измерения давления

Давлением жидкости газа или пара называется сила, равномерно действующая на единицу площади, а единицей давления является единица силы, действующая на единицу площади. Давление является одним из основных параметров химико- технологических процессов.

При измерении давления различают: барометрическое, избыточное и абсолютное давления. Барометрическое давление (P_0) создается массой воздушного столба земной атмосферы и зависит от высоты местности и метеорологических условий. Величина давления среды, превышающей

барометрической, называется избыточным давлением. Абсолютное (полное) давление среды ($P_{абс}$) может быть больше или меньше барометрической.

$$P_{изб} = P_{абс} - P_{бар}; \quad P_{раж} = P_{атм} - P_{абс}$$

В международной системе единиц СИ в качестве единицы давления принято давление, вызываемое силой Ньютон, равномерно распределенной на поверхности площадью 1 м^2 , т.е. 1 н/м^2 .

Единица н/м^2 очень мала, что видно по сравнению единиц измерения давления:

$1\text{ кгс/см}^2 = 10^4\text{ кгс/м}^2 = 10332\text{ мм.вод.ст} = 760\text{ мм.рт.ст.} = 9,8 \cdot 10^4\text{ н/м}^2 = 0,980665\text{ бар}; = 14,5\text{ англ.фунт/дюйм}^2$ (т.е. сила 1 фунт = $0,453592\text{ кгс}$, действующая на квадратный дюйм $6,451582$).

Приборы для измерения давления классифицируются:

I. По принципу действия:

- жидкостные.
- деформационные (пружинные).
- грузопоршневые.
- электрические.

II. По роду измеряемой величины:

- манометры – для измерения избыточного давления в широком диапазоне;
- вакуумметры - для измерения глубокого разрежения
- мановакуумметры - для измерения избыточного давления и разрежения;
- напоромеры - для измерения избыточного давления до $0,4 \cdot 10^5\text{ Па}$;
- тягомеры - для измерения разрежения до $0,4 \cdot 10^5\text{ Па}$;
- тягонапоромеры - для измерения избыточного давления до $0,4 \cdot 10^5\text{ Па}$ и разрежения до $0,4 \cdot 10^5\text{ Па}$;
- барометры для измерения атмосферного давления;
- дифференциальные манометры (дифманометры) – для измерения разности (перепада) давлений.

2-вопрос. Жидкостные манометры

Принцип действия этих приборов основан на уравнивании измеряемого давления давлением столба жидкости соответствующей высоты.

Жидкостные стеклянные манометры в основном применяются в лабораторных условиях. Для производственных измерений применяются редко. Различают U-образные, чашечные, чашечные с наклонной трубкой, колокольные и кольцевые.

Двухтрубный U-образный стеклянный манометр

В этих приборах измеряемое давление определяется по высоте столба уравнивающей жидкости (h) с плотностью жидкости (ρ) и плотностью среды (ρ_c) над уравнивающей жидкостью

$$P = (\rho - \rho_c)gh = \rho gh - \rho_c gh ,$$

где $g = 9,80665 \text{ м/сек}^2$, среднее значение ускорения силы тяжести;

ρ и ρ_c – соответственно, плотность жидкости в U-образном стеклянном манометре и плотность среды над жидкостью;

h - высота столба уравнивающей жидкости.

Если учесть, что $\rho \gg \rho_c$, то можно написать

$$P = \rho gh \quad \text{или} \quad P = kh ,$$

$$P_1 = P_0 + \rho gh; \quad P_2 = P_0 + P_{\text{изб.}}$$

С учетом, что в момент уравнивания $P_1 = P_2$, то

$$P_0 + \rho gh = P_0 + P_{\text{изб.}}$$

$$P_{\text{изб.}} = \rho gh = \rho g(h_1 + h_2)$$

Недостатком этих манометров является двухмерный отсчет.

Предел измерения до 2 кгс/см^2 . Погрешность измерения может быть 2 мм столба жидкости. В качестве рабочей жидкости применяются ртуть, дистиллированная вода или спирт.

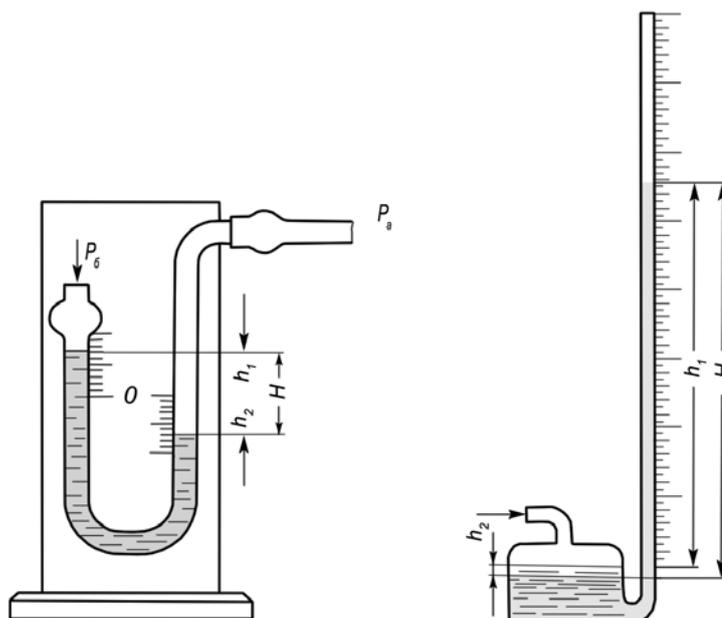


Рис.1.

Однотрубный чашечный манометр

У этих приборов отсчет производится по уровню в узкой измерительной трубке (одномерный отсчет). Однотрубный чашечный манометр имеет широкий металлический сосуд (чашку) 1, к нижней части которого подключена стеклянная измерительная трубка 2, рядом с которой закреплена миллиметровая шкала 3. Свободный конец измерительной трубки сообщается с атмосферой, а сосуд 1 соединяется с объектом измерения посредством трубки 4. Под давлением измеряемой среды ($P = P_a - P_6$) уровень рабочей жидкости в стеклянной измерительной трубке 2 поднимается на высоту h_1 , а в сосуде 1 опустится на высоту h_2 . Общая высота $h = h_1 + h_2$ уравнивает измеряемое давление.

Объем жидкости, вытесненной из сосуда в измерительную трубку, равен

$$h_1 f = h_2 F,$$

где f и F – соответственно, площади сечения трубки и сосуда.

Решим следующее

$$h = h_1 + h_2 = h_1 + \frac{f}{F} h_1 = h_1 \left(1 + \frac{f}{F}\right), \text{ или}$$

$$h = h_1 \left(1 + \frac{d^2}{D^2}\right) = h_1 + h_1 \frac{d^2}{D^2},$$

откуда общая высота столба жидкости будет больше измеренной по шкале прибора на величину $h_1 \frac{d^2}{D^2}$, обычно отношение $\frac{d^2}{D^2}$ меньше или равно 0,01, что практически не вызывает заметных дополнительных погрешностей при отсчетах по одному уровню, т.е. $h \approx h_1$ или $P = \rho g h_1$.

3-вопрос. Деформационные (пружинные) манометры

Принцип действия пружинных манометров основан на использовании упругой деформации специальных пружин, возникающей под влиянием измеряемого давления, т.е. основан на уравнивании измеряемого давления усилиями деформации различного вида упругих элементов. По роду применяемых пружин эти приборы можно разделить на:

1. приборы с трубчатой пружиной;
2. мембранные приборы;
3. сильфонные приборы.

Приборы с трубчатой пружиной

Французский механик Бурдон случайно обнаружил при испытании змеевиков, что концы дефектных змеевиков, имеющих сплюсненную форму сечения, перемещаются при изменении давления. Это привело его к мысли создать прибор для измерения давления на базе трубок некруглого сечения, которые в настоящее время носят название манометров Бурдона.

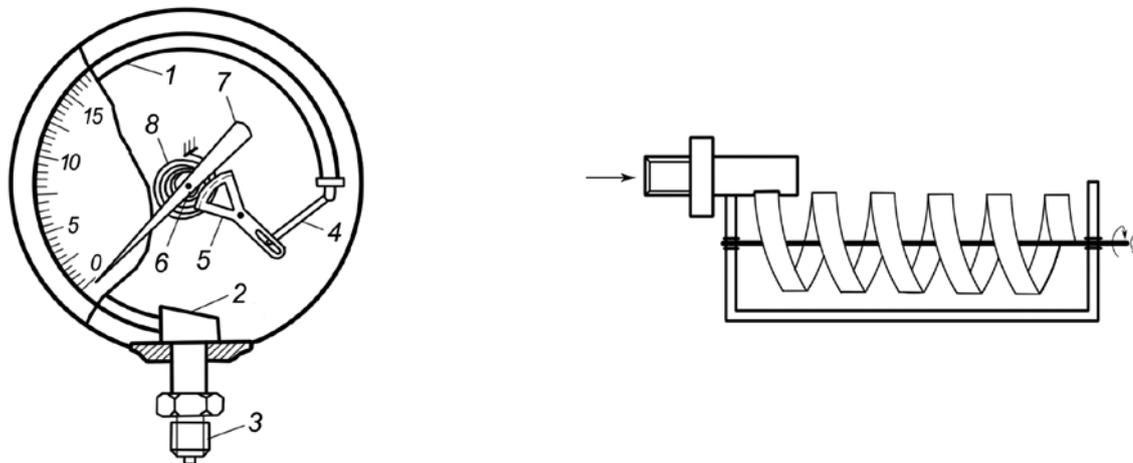


Рис.2.

Этот прибор состоит из согнутой по дуге окружности трубки 1 эластического сечения и держателя 2. При изменении измеряемого давления внутри трубки, деформируясь, стремится принять круглое сечение. Упругость пружины возрастает, что противодействует этой деформации трубки. При этом свободный конец трубки разогнется и через поводок 3, зубчатый сектор 4 и шестеренки 5 перемещает стрелку прибора 6 на определенный угол, пропорциональный изменению давления.

Перемещение свободного конца трубки при изменении давления можно объяснить неравенством площадей нижней и верхней стенки прибора. При увеличении измеряемого давления сила, действующая на верхнюю стенку $PS_{\text{в}}$, будет больше силы, действующей на нижнюю стенку $PS_{\text{н}}$, т.е. $PS_{\text{в}} > PS_{\text{н}}$. В результате свободный конец трубки перемещается до уравнивания этой силы с упругостью пружины ($PS_{\text{в}} - PS_{\text{н}} = \Delta F$).

Наиболее наглядно и просто можно объяснить работу манометра следующим образом. Примем два допущения: 1. При повышении давления малая ось "в" (сечения) увеличивается; 2. При деформации длина трубки остается постоянной, т.е. AB и $A'B'$ сохраняют первоначальную длину. Обозначим $OA = r$; $OA' = R$; $\angle AOB = \gamma$; эти же величины после деформации r ; R' ; γ' ; согласно второму допущению

$$R\gamma = R'\gamma' \text{ и } r\gamma = r'\gamma',$$

вычитая, получим

$$(R-r)\gamma = (R'-r')\gamma'$$

Учитывая, что малая ось до деформации меньше малой оси после деформации ($R-r < R'-r'$) и, обозначив их соответственно "в" и "в'", можно написать

$$v\gamma = v'\gamma'$$

и, если учесть, что $v < v'$, то $\gamma < \gamma'$, т.е. под действием давления угол изгиба трубки уменьшается и трубка разогнется.

Приборы с трубчатой пружиной выпускаются и как многовитковые (6-9 витков), которые отличаются высокой чувствительностью по сравнению с одновитковыми (рис.39).

4-вопрос. Мембранные манометры

Чувствительный элемент мембранных манометров может быть выполнен в виде гофрированных мембран, мембранных коробок и мембранных блоков. Эти приборы предназначены для измерения небольших избыточных давлений и разрежений (манометры, напоромеры, тягомеры). Прогиб мембраны у этих приборов является функцией давления, действующей на нее. Мембранный манометр с чувствительной гофрированной мембраной имеет следующий вид.

При изменении измеряемого давления P мембрана прогибается до уравнивания усилия, действующего на мембрану от измеряемого давления, упругостью мембраны. Прогиб мембраны передается через передаточные механизмы стрелки прибора.

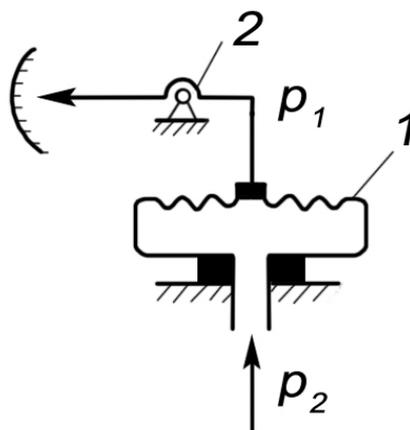


Рис.3.

Мембранный анероидный манометр служит для измерения атмосферного давления P_1 . Давления P_2 внутри анероидной коробки 0,01мм.рт.ст.

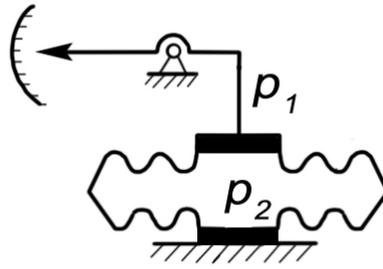


Рис.4.

Мембранный манометр с манометрической коробкой служит для измерения малых давлений. Измеряемое давление P_2 подается в манометрическую коробку.

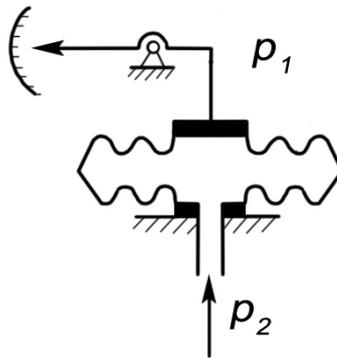


Рис.5.

Выпускаются также анероидные и манометрические коробки в виде блоков.

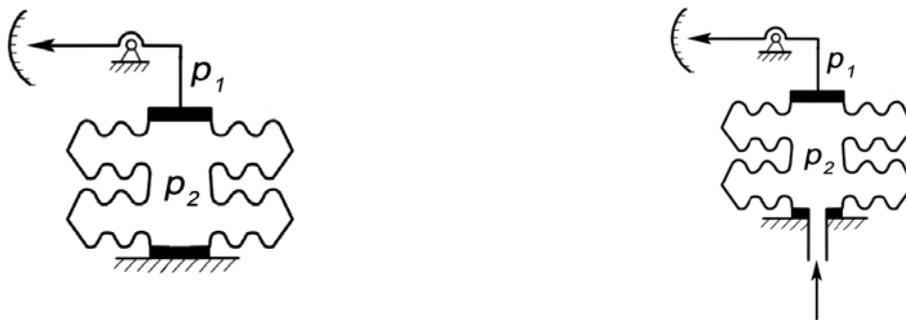


Рис.6.

Мембранные приборы могут быть использованы для измерения перепада давления. В этих приборах перепад давлений $P_1 - P_2 = \Delta P$ уравновесится с упругостью чувствительной мембраны.

Сильфонные манометры

Чувствительным элементом сифонных манометров является цилиндрический тонкостенный сосуд с кольцевыми складками, гофрами, называемый сифоном.



Рис.7.

Изготавливается из латуни, берилловой бронзы и нержавеющей стали. При увеличении давления P_1 сифон 1 разжимается до уравнивания сил упругости и усилия на дно 3 от изменения давления P_1 . Дно сифона через передаточный механизм связано со стрелкой прибора. Выпускаются сифонные манометры, в которых измеряемое давление подается в надсифонное герметичное пространство. Для получения однозначной зависимости перемещения дна мембраны или сифона от изменения давления применяют мембранные и сифонные манометры с жесткой пружиной.

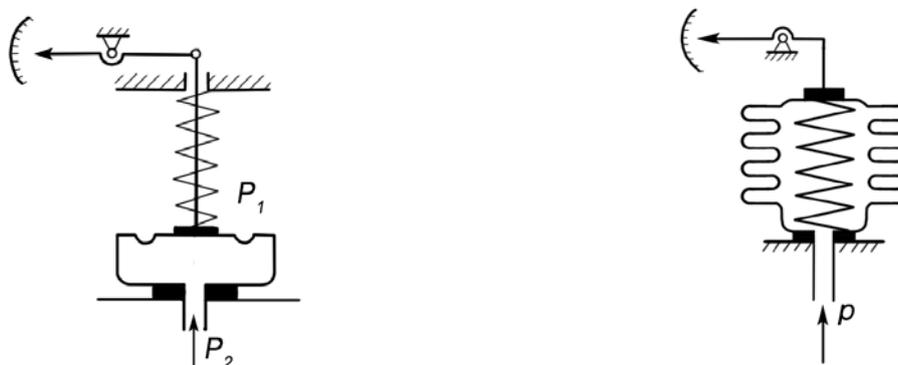


Рис.8.

4-вопрос. Грузопоршневые манометры

Принцип действия грузопоршневых манометров основан, на уравнивании силы давления измеряемой среды, на свободно передвигающийся в цилиндре поршень, силой, создаваемой калиброванным грузом. По величине массы этого груза определяют действующее на поршень избыточное давление. Эти приборы обладают высокой чувствительностью и могут измерять давление до $2500 \cdot 9,8 \cdot 10^4 \text{ н/м}^2$ и более (2500 кгс/см^2).

Применяются в основном для поверки градуировки пружинных манометров.

В сосуд 1 с цилиндрической колонкой 2, заполненный маслом и сообщающийся посредством соединительного штуцера 3 с измеряемой средой, вставлен вертикально с небольшим зазором (3-5мкм) стальной поршень (плунжер) 4.

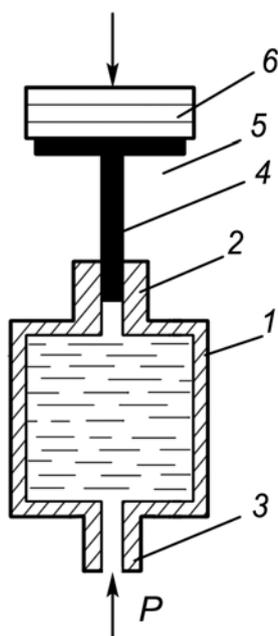


Рис.9.

С наружной стороны поршень скреплен с тарелкой 5, на которую в зависимости от величины измеряемого давления накладываются калиброванные грузы 6 (гири), уравнивающие воспринимаемое поршнем давление.

$$P = \frac{g(G_1 + G_2)}{F},$$

где P - измеряемое давление;

G_1 и G_2 – масса поршня с тарелкой и грузом;

F - площадь поршня;

g – нормальное ускорение свободного падения.

Изготавливаются грузопоршневые манометры; МП-2,5; МП-6; МП-60; МП-600; МП-2500; класс точности 0,05.

Заключение

Как известно, давление тоже является важным параметром, измерение давления необходимо для управления технологическими процессами и обеспечения безопасности производства. В химической и пищевой промышленности применяются разнообразные технологические процессы, которые резко отличаются по величине давления. Есть такие процессы,

проводимые при избыточных давлениях, а для организации некоторых процессов требуется разрежение или даже глубокий вакуум. В некоторых вакуум-выпарных установках для уменьшения температуры кипения раствора требуется обеспечение глубокого вакуума в аппарате. Уменьшение температуры кипения раствора если с одной стороны приводит к уменьшению потребления теплоносителя, с другой обеспечивает требуемую концентрацию раствора при меньших энергозатратах. Поэтому измерение и контроль давления, несомненно, имеет большое значение. При этом для измерения и контроля давления необходимо правильно выбрать тип манометра.

Контрольные вопросы:

1. Можно ли измерять дифманометром избыточное давление или разрежение?
2. Чему равняется абсолютное давление?
3. Какие приборы для измерения давления являются простым, удобным и безопасным в работе?
4. Какой манометр снабжен вентилями «+», «-«, «0»?

Тестовые задания:

1. Для измерения глубокого разрежения применяются:
А) барометры
Б) вакуумметры
Г) тягомеры
Д) дифманометры
2. Упругий деформационный элемент применяется в:
А) грузопоршневых манометрах
Б) жидкостных манометрах
Г) деформационных манометрах
Д) сильфонных манометрах
3. Сумма атмосферного и избыточного давления:

- А) вакуум
 - Б) абсолютное давление
 - В) атмосферное давление
 - Г) избыточное давление
4. Если абсолютное давление меньше атмосферного, то их разность называется:
- А) избыточным давлением
 - Б) разрежением
 - В) барометрическое давление
 - Г) абсолютное давление
5. Грузопоршневые манометры применяются:
- А) для измерения барометрического давления
 - Б) для измерения разности давления
 - В) для поверки и градуировки пружинных манометров
 - Г) для градуировки сильфонных манометров
6. Чувствительным элементом сильфонных манометров является:
- А) Трубка Бурдона
 - Б) мембрана
 - Г) сильфон
 - Д) мембранная коробка

Рекомендуемая литература

1. Камразе А.И., Фитерман М.Я. Контрольно-измерительные приборы и автоматика. – Л.: Химия, 1988, 224 с.
2. Петров И.К. Технологические измерения и приборы в пищевой промышленности.- М: Агропромиздат 1995.
3. Полоцкий Л.М., Лапшенков Г.М. Автоматизация химических производств; учебное пособие для Вузов.-М.: Химия, 1982. 295с., ил.
4. Юнусов И.И. Методы и приборы технологического измерения. Конспект лекций.- ТХТИ, 2010 г.

Название лекции: Преобразователи сигналов и системы дистанционной передачи информации

План:

1. Преобразователи электрической аналоговой ветви
2. Преобразователи пневматической ветви
3. Нормирующие измерительные преобразователи

Технология обучения лекционного материала

<i>Количество студентов:</i>	<i>Время – 80 мин</i>
<i>Форма учебного занятия</i>	<i>Проблемная лекция, мозговая атака</i>
<i>План лекционного занятия</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Преобразователи электрической аналоговой ветви 2. Преобразователи пневматической ветви 3. Нормирующие измерительные преобразователи
<i>Цель учебного занятия:</i> Формирование у студентов необходимых знаний и навыков по измерительным преобразователям, ознакомление предназначением промежуточных преобразователей, способами преобразования сигналов датчиков в унифицированные промежуточные сигналы, разновидностями преобразователей	
<i>Педагогические задачи:</i> <ul style="list-style-type: none"> • Преподаватель объясняет основные понятия о видах давления, средствах и методах измерения давления, виды манометров по величине измеряемого давления и по принципу действия 	<i>Результаты педагогической деятельности:</i> В результате освоения лекционного материала студенты приобретают необходимые знания о промежуточных преобразователях, способами преобразования сигналов датчиков в унифицированные промежуточные сигналы, разновидностей преобразователей
<i>Метод и техника обучения</i>	Проблемная лекция, опрос, изложение, мозговая атака

Средства обучения	Конспекты лекций, проектор, раздаточные материалы, схемы чувствительных элементов деформационных манометров
Форма обучения	Коллективная, работа в группе
Условие обучение	Проектор, оснащенная компьютером аудитория
Оценка и мониторинг	Задаются контрольные вопросы и тестовые задания для самостоятельного изучения, подготовка слайдов для домашнего задания

Технологическая карта лекционного занятия

Поэтапное время	Действие	
	Преподавателя	Студента
1-этап. Введение (5 мин.)	1.1. Ознакомить с темой лекции, объявляет цель занятия и ожидаемый результат	Слушает и пишет
2-этап Основной (60 мин.)	<p>2.1. Проводит оперативный опрос для определения готовности студентов к занятию:</p> <ul style="list-style-type: none"> - какие факторы затрудняют эксплуатации и ремонт контрольно-измерительных приборов? - как понимаете слово «взаимозаменяемость»? - какие унифицированные входные и выходные сигналы знаете? <p>2.2. Преподаватель продолжает излагать лекционный материал с использованием лекционных материалов и организует</p>	<p>1. Последовательно получает ответы на вопросы</p> <p>2. Думает и записывает</p> <p>Задает вопросы и записывает основные моменты.</p> <p>Старается ответить письменно на каждый вопрос.</p> <p>Выучивает виды давления, приводить примеры.</p>

	<p>занятия в форме визуальной лекции:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Преобразователи электрической аналоговой ветви 2. Преобразователи пневматической ветви 3. Нормирующие измерительные преобразователи <p>2.3. Уделяет внимание студентов на основные понятия лекционного материала и записывать основные моменты</p>	
<p>3-этап. Заключительный (15 мин)</p>	<p>Заканчивает изложение материала. Уделяет внимание студентов на основные вопросы.</p> <p>Приводит примеры местных и дистанционных измерительных преобразователей</p>	<p>Получают домашнее задание по схематическому изображению простой и сложной измерительных цепей</p>

Проблемная ситуация:

При ведении химико-технологических процессов возникает необходимость передачи результатов измерений на расстояние. Как мы знаем, для передачи информации на расстояние всегда применяются промежуточные преобразователи сигналов. В нашем случае, для дистанционной передачи сигнала, предположим электрического, при пожаро-и взрывоопасных условиях какой преобразователь применяется? Можем ли объяснить?

Основные понятия

Большое разнообразие первичных преобразователей с физически разнородными выходными сигналами требует значительной номенклатуры контрольно-измерительных и регулирующих приборов, что затрудняет их эксплуатацию и ремонт. Кроме того, при использовании машин централизованного контроля и управления требуется большое количество различных вторичных преобразователей, преобразующих разнородные физические величины в единую величину. Поэтому в целях рационализации отдельные системы и приборы объединены в рамках Государственной системы приборов (ГСП).

Структурно ГСП состоит из электрической, пневматической и гидравлической ветвей, которые связаны между собой через соответствующие преобразователи. ГСП предусматривает преобразование различных измеряемых параметров в единую форму информации, удобную для передачи на расстояние. Унификацией входных и выходных сигналов достигается взаимозаменяемость приборов и обеспечивается совместная работа первичных преобразователей с различными приборами, входящих в данную ветвь ГСП.

Для теплоэнергетических параметров (t, P, G, H) ГСП состоит из трех ветвей, объединяющих приборы с электрическим токовым (аналоговым), электрическим частотным (дискретным) и пневматическим выходными сигналами.

Установлены следующие унифицированные сигналы:

1. Для электрической аналоговой ветви: 0-5ma; 0-20 ma; 0-10 в; 0-2 в.
2. Для электрической частотной (дискретно цифровой) ветви: 1500-2500гц.
3. Для пневматической ветви: 0,02 – 0,1 КПа (0,2-1,0 кгс/см²).

1-вопрос. Преобразователи электрической аналоговой ветви

Электрические преобразователи аналоговой ветви выполняются по схеме силовой компенсации или компенсации перемещения.

Преобразователи, выполненные по схеме силовой компенсации

Измеряемый параметр воздействует (рис.51) на чувствительный элемент измерительного блока 1 (например: мембрана манометра) и преобразуется в пропорциональное усилие F , которое передается на рычаг 2.

Поворот этого рычага через ролик 3, промежуточный рычаг 4 и ленточную тягу 5 передается компенсационному рычагу 6, на котором укреплены сердечник 7 дифференциально-трансформаторного индикатора равновесия и катушка 8 магнитоэлектрического силового механизма.

При отклонении сердечника 7 от равновесного положения в цепи, составленной из двух включенных навстречу вторичных обмоток ярма 9, возникает сигнал переменного тока промышленной частоты. Этот сигнал поступает на вход электронного усилителя ЭУ. Усиленный и выпрямленный

сигнал поступает в линию дистанционной передачи и одновременно в последовательно соединенную с ней катушку 8 магнитоэлектрического силового механизма. Взаимодействие магнитного поля, создаваемого током в катушке 8, с полем постоянного магнита 11 создает усилие на рычаге 6, которое уравнивает измеряемое (входное) усилие.

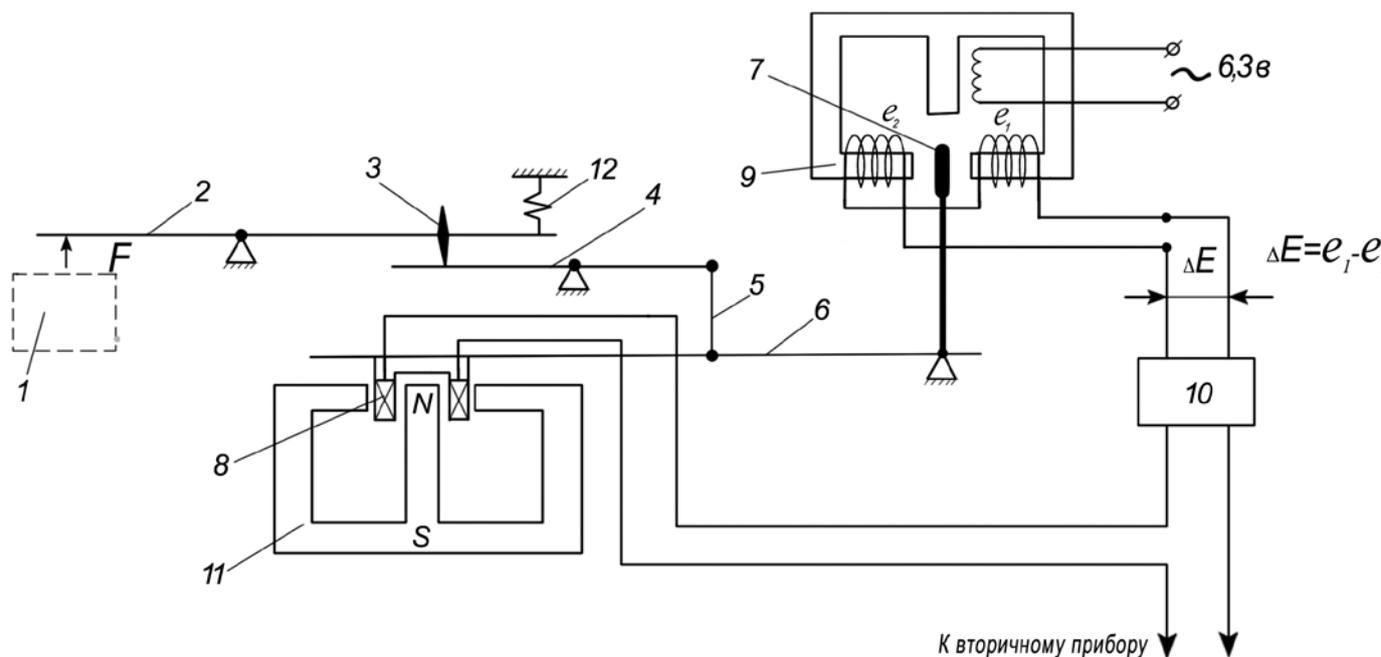


Рис.1

Нулевая точка прибора настраивается пружиной 12. Настройка на заданный диапазон осуществляется перемещением ролика 3 и подвижной ленточной тягой 5.

Выходной сигнал изменяется в пределах 0-5ма и 0-20 ма и может передавать сигнал на расстояние до 10 км.

Преобразователи, выполненные по схеме компенсации перемещений

К числу таких приборов относятся дифференциально-трансформаторные, ферродинамические (сельсинные) преобразователи.

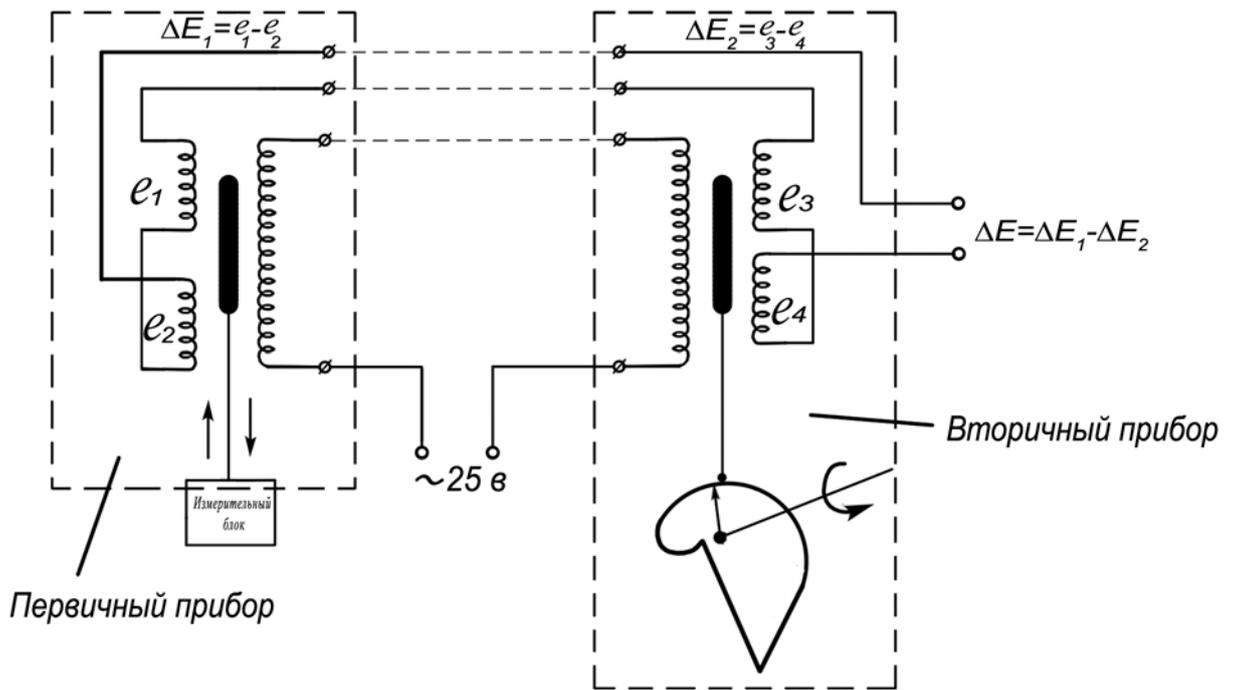


Рис.2.

В дифференциально-трансформаторных преобразователях (рис.52.) перемещение сердечника первичного прибора уравнивается известным перемещением сердечника вторичного прибора. Эти преобразователи используются при измерении давления, расхода и уровня веществ (Р, G Н и др. значений), которые могут быть преобразованы в перемещение сердечника катушки преобразователя.

Первичные обмотки выключены последовательно и питаются напряжением переменного тока от обмотки силового трансформатора электронного усилителя ЭУ. Вторичные обмотки включены навстречу одна другой с выходом на ЭУ. Внутри катушек находятся сердечники (магнитопроводы).

Если сердечники обеих катушек находятся в среднем положении, то $\Delta E_1 = e_1 - e_2 = 0$; $\Delta E_2 = e_3 - e_4 = 0$; и $\Delta E = \Delta E_1 - \Delta E_2 = 0$.

При изменении измеряемого параметра сердечник первичного прибора перемещается, в катушках возникает напряжение разбаланса и ΔE_1 не станет равным нулю, величина которого зависит от величины перемещения сердечника. С появлением ΔE_1 появляется разностной сигнал $\Delta E = \Delta E_1 - \Delta E_2$, не равный нулю. Это напряжение усиливается в ЭУ до величины, необходимой для вращения ротора РД. Ротор РД кинематически связан со стрелкой прибора и профилированным диском. При вращении профилированного диска сердечник в катушке вторичного прибора перемещается и это продолжается до тех пор пока не уравнивается ЭДС,

наводимые в катушках первичного и вторичного прибора, т.е. $\Delta E = \Delta E_1 - \Delta E_2 = 0$. При этом ротор РД остановится и наступит равновесие в системе.

Преобразователи электрической дискретно - цифровой ветви (частотные)

Наибольшее распространение получили струнные преобразователи, которые представляют собой электрически изолированную металлическую струну 1, расположенную между магнитными наконечниками 2 постоянного магнита. Один конец струны жестко закреплен, а второй конец связан с подвижным рычагом 3.

Измеряемый параметр, преобразованный в пропорциональное усилие F , воспринимается рычагом 3 и связанной с ней струной 1. Если по струне пропустить ток, то вследствие взаимодействия тока с магнитным полем постоянного магнита возникают поперечные колебания струны, частота которых зависит от натяжения струны под действием усилия F .

Собственная частота поперечных колебаний струны преобразуется усилительным устройством 4 в частоту переменного тока, который является выходным сигналом преобразователя.

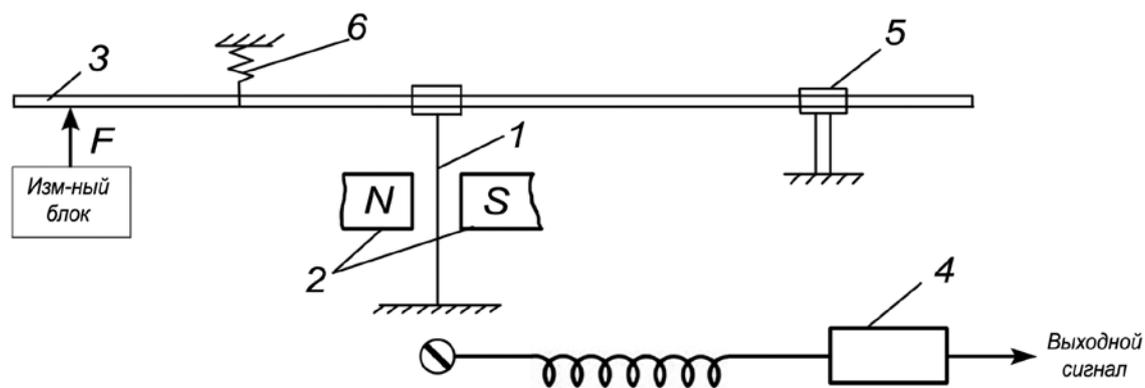


Рис.3.

Собственная частота колебаний струны f_0 в зависимости от усилия F можно записать

$$f_0 = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{F}{\rho * S}},$$

где l – длина;

S – поперечное сечение струны;

ρ – плотность материала струны.

Струны выполняются из вольфрамовой проволоки $d=0.05\text{мм}$ и длиной 20мм . Настройка преобразователя производится изменением длины рычага 3. Начальное значение выходного сигнала 1500гц устанавливается при помощи пружины 6. Дальность передачи сигнала 10км .

2-вопрос. Преобразователи пневматической ветви

В пневматических преобразователях основным элементом является преобразователь типа сопло-заслонка (рис.54.).

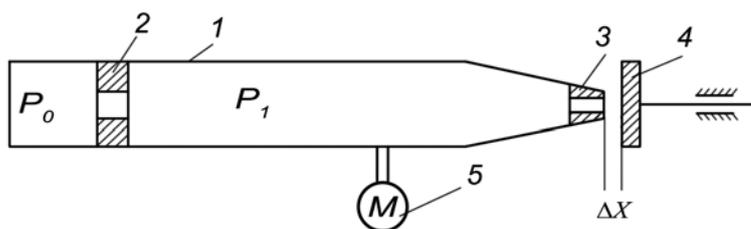


Рис.4.

- 1 - трубка;
- 2 - дроссель постоянного сечения;
- 3,4 - сопло, заслонка;
- 5 – манометр.

Если изменить зазор Δx между соплом 3 и заслонкой 4, то давление P_1 в междроссельном пространстве изменится. Зависимость Δx от P_1 приведена на рис. 55.

Притом при изменении Δx на $0,08\text{мм}$ давление на выходе (P_1) изменится от $0,01 - 0,11\text{ КПа}$ ($0,1-1,1\text{ кгс/см}^2$).

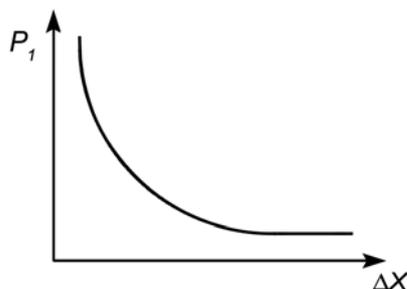


Рис.5.

Измеряемый параметр, преобразованный в пропорциональное усилие F (рис.56.), перемещает рычаг 1, при этом происходит перемещение заслонки 2 относительно сопла 3. Изменится расстояние Δx .

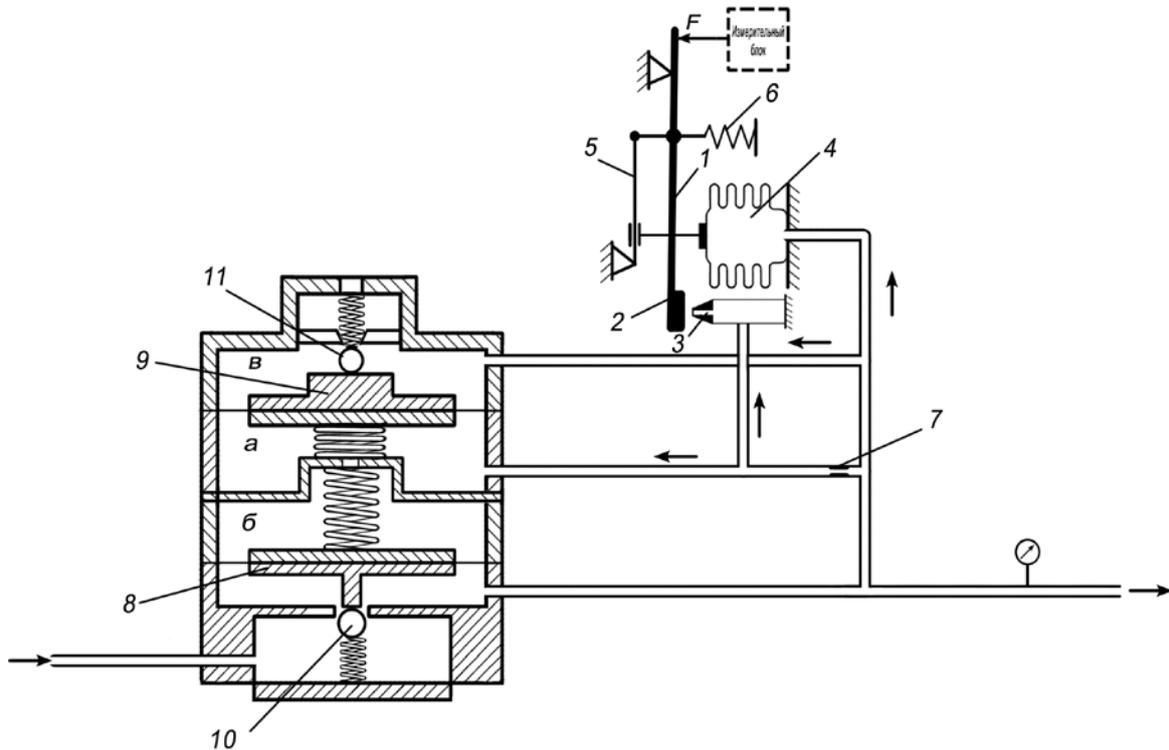


Рис.6.

1, 5 - рычаги; 2, 3 - заслонка, сопло; 4 - сильфон; 6 - пружина; 7 - постоянный дроссель; 8, 9 - мембраны; 10 - впускной клапан; 11 - выпускной клапан;

Изменение зазора между соплом и заслонкой вызывает изменение давления на линии сопла (в камере «а»), прогиб мембраны 8 и 9 и положения клапанов 10 и 11, что вызывает изменение давлений в камерах «б» и «в». Давление в камерах «б» и «в» изменяется до тех пор пока заслонка 2 под действием сильфона обратной связи 4 не займет такое положение относительно сопла, когда усилие на сильфоне обратной связи не станет равным усилию F измерительного блока. Настройка преобразователя на заданный диапазон измерения производится перемещением сильфона вдоль рычага 5. Точная установка начального значения выходного сигнала осуществляется при помощи пружины 6. Предельное расстояние передачи пневматического сигнала - 300м.

При создании комбинированных электропневматических систем автоматического контроля, регулирования и управления применяют электропневматические преобразователи для преобразования электрических сигналов постоянного тока в пневматический выходной сигнал и пневмо-электрические преобразователи для преобразования пневматических сигналов в электрический выходной сигнал.

Электропневматические преобразователи

Рассмотрим в качестве примера устройство малогабаритного электропневматического преобразователя типа ЭПП-М. Этот преобразователь предназначен для пропорционального преобразования непрерывного электрического сигнала постоянного тока $0—5$ мА в унифицированный пневматический сигнал $0,2—1$ кгс/см² ($0,02—0,1$ МПа).

Принципиальная схема электропневматического преобразователя типа ЭПП-М изображена на рис.7. Входным устройством служит магнитоэлектрический силовой механизм, состоящий из магнитопровода 2, постоянного магнита 1 и рамки 3, укрепленной на рычаге 4 с точкой опоры 5. Индикатор рассогласования состоит из сопла 6 и шарика 7, контакт которого с соплом осуществляется по острой кромке. Устройство обратной связи 8 представляет собой силовой элемент типа сопло-шарик. Сопло имеет развитую цилиндрическую часть, и поэтому шарик работает как поршень.

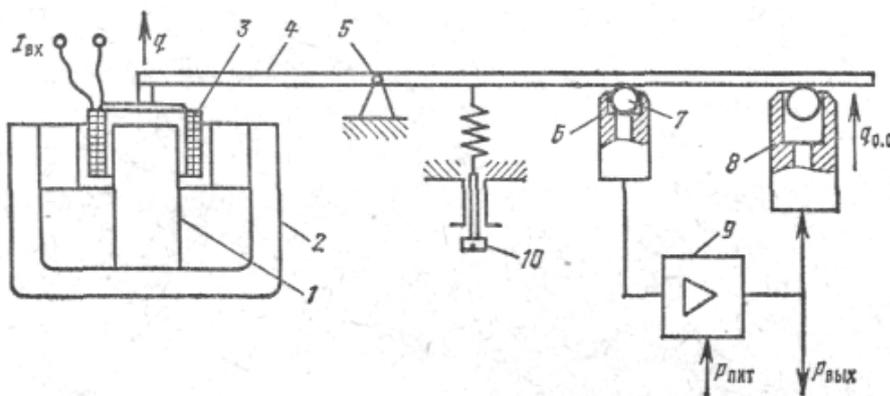


Рис.7.

Перемещение силового элемента обратной связи вдоль рычага обеспечивает перестройку диапазона преобразователя на $\pm 50\%$. Начало диапазона преобразования при нулевом входном сигнале устанавливается с помощью пружины-корректора нуля 10. Класс точности преобразователя ЭПП-М 0,6.

Пневмоэлектрические преобразователи

Пневмоэлектрические преобразователи для непрерывных входных и выходных сигналов могут быть выполнены как преобразователи прямого действия и как преобразователи компенсационного типа, использующие дополнительный источник энергии. Преобразователи прямого действия обладают меньшей точностью по сравнению с преобразователями компенсационного типа, однако стоимость преобразователей компенсационного типа выше, чем прямого действия.

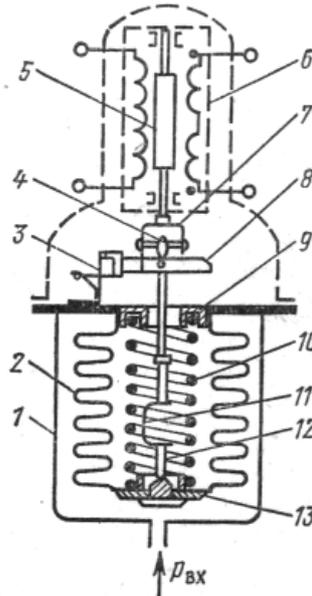


Рис.8.

На рис. 58. приведена схема устройства пневмоэлектрического преобразователя прямого действия типа ППЭ-6. Он предназначен для пропорционального преобразования непрерывного пневматического сигнала 0,2—1 кгс/см² (0,02—0,1 МПа) в электрический сигнал.

Преобразователь состоит из двух основных элементов: измерительного блока 1, воспринимающего входной пневматический сигнал $p_{вх}$, и дифференциально-трансформаторного передающего преобразователя 6, преобразующего входное давление $p_{вх}$ в электрический выходной сигнал. В измерительном блоке в качестве упругого чувствительного элемента используется сильфон 2, снабженный винтовой пружиной 10. Пружина нижним концом закреплена во втулке 13, а верхним - во втулке 9, которая одновременно служит для центрирования и регулирования пружины.

С дном сильфона связан шток 12, верхний конец которого соединен с рычагом 8. Осью рычага является упругий шарнир 3. При повороте рычага перемещается ролик 4, который закреплен на скобе 7, соединенной со штоком сердечника 5 дифференциально-трансформаторного

преобразователя. Для уменьшения температурной погрешности шток сильфона снабжен биметаллическим компенсатором 11. Для удобства наладки преобразователя предусмотрена возможность регулировки длины штоком сильфона и сердечника.

Пневматический сигнал измерительной информации $p_{вх}$ первичного прибора подводится к "пневмоэлектрическому преобразователю через штуцер в герметически закрытый кожухом измерительный блок 1. Под действием давления сильфон сжимается, что вызывает пропорциональное перемещение штоков, а следовательно, и сердечника дифференциально-трансформаторного преобразователя.

Основная погрешность преобразователя ППЭ-6, выраженная в процентах от максимального хода сердечника, не превышает ± 1 %. Максимальное значение хода сердечника составляет 5 мм.

3-вопрос. Нормирующие измерительные преобразователи

Нормирующие измерительные преобразователи предназначены для преобразования выходного сигнала первичных преобразователей (стандартных термоэлектрических термометров и термометров сопротивления) и выходного сигнала переменного тока измерительных устройств (дифманометров, манометров и других приборов) в унифицированный сигнал постоянного тока. Нормирующие преобразователи, применяемые для преобразования выходного сигнала первичных преобразователей, называют также промежуточными.

Преобразователи для работы в комплекте с термоэлектрическими термометрами.

На рис.59. показана упрощенная схема нормирующего преобразователя ПТ-ТП-68 для линейного преобразования термо-э.д.с термометра $E(t, t_0)$ в сигнал постоянного тока $0—5$ мА при сопротивлении внешней нагрузки $R_n = 2,5$ кОм. Преобразователь состоит из корректирующего моста МК, усилителя с токовым выходом $I_{вых}$, устройства обратной связи, состоящего из усилителя обратной связи УОС и резистора $R_{о.с}$. Резисторы корректирующего моста МК R_1 , R_2 и R_3 выполнены из манганина, а резистор R_m , который обычно располагают в непосредственной близости от свободных концов термоэлектродных проводов - из меди.

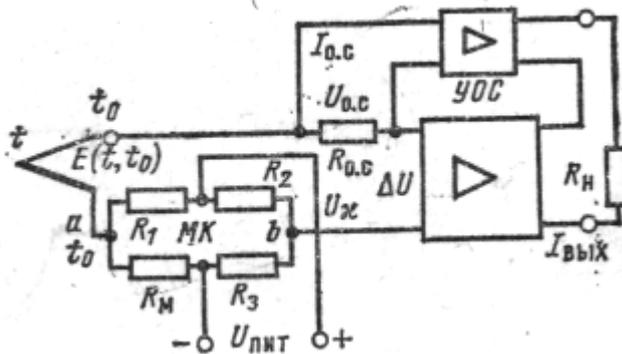


Рис.9.

Преобразователь типа ПТ-ТП-68 выполнен по статической автокомпенсационной схеме. Входной сигнал термоэлектрического термометра, скорректированный напряжением $U_{ав}$, снимаемым с вершин моста ab [$U_x = E(t, t_0) + U_{ав}$] сравнивается с напряжением обратной связи $U_{о.с.}$. Некомпенсированный сигнал $\Delta U = U_x - U_{о.с.}$ усиливается усилителем с токовым выходом. Выходной ток $I_{вых}$ поступает во внешнюю цепь R_n и подается в усилитель УОС устройства обратной связи. Токи на выходе и входе усилителя устройства обратной связи строго пропорциональны между собой. Выходной ток усилителя обратной связи $I_{о.с.}$ создает на резисторе $R_{о.с.}$ сигнал обратной связи

$$U_{о.с.} = I_{о.с.} R_{о.с.} = k_{о.с.} R_{о.с.} I_{вых}$$

где $k_{о.с.}$ - коэффициент передачи УОС.

Преобразователи для работы в комплекте с термометрами сопротивления. Упрощенная схема нормирующего преобразователя для линейного преобразования сопротивления термометра R_T в унифицированный сигнал постоянного тока 0—5 мА представлена на рис. 60.

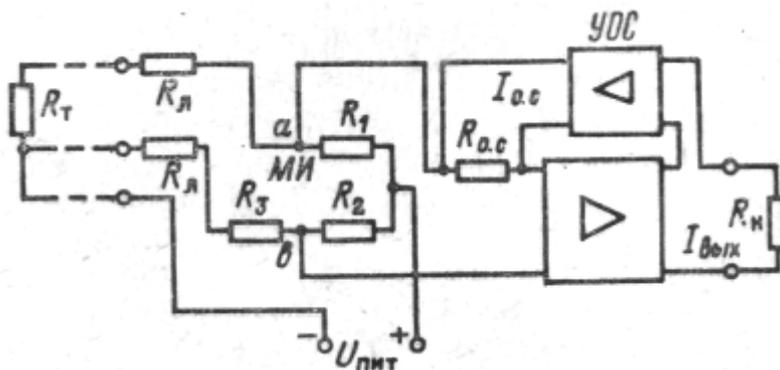


Рис.10.

Преобразователь, выполненный по статической автокомпенсационной схеме, состоит из измерительного моста МИ, усилителя с токовым выходом $I_{\text{вых}}$, устройства отрицательной обратной связи, включающего усилитель УОС и резистор $R_{\text{о.с}}$. Измерительный мост, работающий в неравновесном режиме, предназначен для преобразования изменения сопротивления термометра R_T в напряжение постоянного тока U_M , снимаемое с вершин ab . Питание схемы моста осуществляется от стабилизированного источника. Балластные резисторы плеч моста R_1 , R_2 и R_3 выполнены из манганина. Термометр сопротивления R_t присоединен к измерительному мосту по трехпроводной схеме.

Заключение

Государственной системы приборов (ГСП) структурно состоит из электрической, пневматической и гидравлической ветвей, которые связаны между собой через соответствующие преобразователи. ГСП предусматривает преобразование различных измеряемых параметров в единую форму информации, удобную для передачи на расстояние. Унификацией входных и выходных сигналов достигается взаимозаменяемость приборов и обеспечивается совместная работа первичных преобразователей с различными приборами.

Системы дистанционной передачи могут служить для самых разнообразных целей: измерения на расстоянии различных параметров, передачи команд управления и т.д. Ознакомление с устройствами для передачи на пульт управления результатов измерения важное практическое значение для инженерно-технического работника.

Контрольные вопросы:

1. Какую систему применяют во взрыва- и пожароопасных производствах для дистанционной передачи ?
2. Что является носителем информации в пневматических системах ?
3. Что является носителем информации в гидравлических системах?
4. На какие передачи подразделяются дистанционные передачи зависимости от вида используемой энергии?

Тестовые задания:

1. Для измерения на расстоянии параметров, передачи команд управления могут служить системы _____

2. Датчик преобразует показания первичного преобразователя в сигнал, удобный для _____
3. В _____ системах используется энергия сжатого воздуха
4. В _____ системах в качестве носителя информации используется давление жидкости
5. Электрические преобразователи аналоговой ветви выполняются по схеме _____ компенсации или компенсации _____
6. В пневматических преобразователях основным элементом является преобразователь типа _____

Рекомендуемая литература

1. Камразе А.И., Фитерман М.Я. Контрольно-измерительные приборы и автоматика. – Л.: Химия, 1988, 224 с.
2. Петров И.К. Технологические измерения и приборы в пищевой промышленности.- М: Агропромиздат 1995.
3. Полоцкий Л.М., Лапшенков Г.М. Автоматизация химических производств; учебное пособие для Вузов.-М.: Химия, 1982. 295с., ил.
5. Юнусов И.И. Методы и приборы технологического измерения. Конспект лекций.- ТХТИ, 2010 г.

Название лекции: Методы измерения уровня

План:

1. Основные понятия об измерении уровня
2. Средства визуального измерения уровня
3. Поплавковые уровнемеры
4. Гидростатические уровнемеры
5. Радиоизотопные и электрические уровнемеры

Технология обучения лекционного материала

<i>Количество студентов:</i>	<i>Время – 80 мин</i>
<i>Форма учебного занятия</i>	Визуальная лекция, вопрос-ответ, мозговой шторм
<i>План лекционного занятия</i>	<ol style="list-style-type: none">1. Основные понятия об измерении уровня2. Средства визуального измерения уровня3. Поплавковые уровнемеры4. Гидростатические уровнемеры5. Радиоизотопные и электрические уровнемеры
Цель учебного занятия: Формирование у студентов необходимых знаний и навыков по измерительным преобразователям уровня, ознакомление предназначением уровнемеров, способами измерения уровня жидкостей и твердых сыпучих материалов	
Педагогические задачи: <ul style="list-style-type: none">• Преподаватель объясняет основные понятия об измерении уровня, средствах и методах измерения уровня жидкостей и твердых сыпучих материалов	Результаты педагогической деятельности: <p>В результате освоения лекционного материала студенты приобретают необходимые знания об измерении уровня, способами измерения уровня жидкостей и твердых сыпучих материалов</p>
Метод и техника обучения	Визуальная лекция, опрос, изложение, мозговой шторм
Средства обучения	Конспекты лекций, проектор, раздаточные материалы, схемы

	различных уровней
Форма обучения	Коллективная, работа в группе
Условие обучения	Проектор, оснащенная компьютером аудитория
Оценка и мониторинг	Задаются контрольные вопросы и тестовые задания для самостоятельного изучения, подготовка слайдов для домашнего задания

Технологическая карта лекционного занятия

Поэтапное время	Действие	
	Преподавателя	Студента
1-этап. Введение (5 мин.)	1.1. Ознакомить с темой лекции, объявляет цель занятия и ожидаемый результат	Слушает и пишет
2-этап Основной (60 мин.)	<p>2.1. Проводит оперативный опрос для определения готовности студентов к занятию:</p> <ul style="list-style-type: none"> - в чем заключается измерения уровня различных материалов? - какой самый простой прибор для измерения уровня жидкостей? - какой уровнемер встречается каждодневно в быту? <p>2.2. Преподаватель продолжает излагать лекционный материал с использованием лекционных материалов и организует занятия в форме визуальной лекции:</p> <p>1. Основные понятия об</p>	<p>1. Последовательно получает ответы на вопросы</p> <p>2. Думает и записывает</p> <p>Задаёт вопросы и записывает основные моменты.</p> <p>Старается ответить письменно на каждый вопрос.</p> <p>Изучает виды уровнемеров, приводит примеры.</p>

	<p>измерении уровня</p> <p>2. Средства визуального измерения уровня</p> <p>3. Поплавковые уровнемеры</p> <p>4. Гидростатические уровнемеры</p> <p>5. Радиоизотопные и электрические уровнемеры</p> <p>2.3. Уделяет внимание студентов на основные понятия лекционного материала и записывать основные моменты</p>	
<p>3-этап.</p> <p>Заключительный (15 мин)</p>	<p>Заканчивает изложение материала. Уделяет внимание студентов на основные вопросы.</p> <p>Приводит примеры поплавковых уровнемеров</p>	<p>Получают домашнее задание по самостоятельному изучению приборов для измерения уровня сыпучих твердых материалов</p>

Оценка опорных слов по таксономии Блума

<i>№</i>	<i>Тема (разделы и модули)</i>	<i>Опорные слова</i>	<i>сообразен</i>	<i>знание</i>	<i>понимание</i>	<i>применени</i>	<i>анализ</i>	<i>Синтез</i>	<i>Оценка</i>	<i>Отношени</i>
	<i>Модуль №4</i> <i>Примеры электрических уровнемеров</i>	<i>Конденсатор</i>	*	*	*					
		<i>емкость</i>	*	*	*	*	*	*		
		<i>диэлектрическая проницаемость</i>	*	*	*					
		<i>электрод</i>	*	*	*	*				

		<i>емкостной преобразователь</i>	*	*	*					
		<i>диэлектрическая свойства</i>	*	*	*	*				
		<i>емкостной уровнемер</i>	*	*	*					

Дидактические средства, применяемые при проведении занятия:

мультимедийный проектор, компьютерная техника, схема емкостного уровнемера

1-вопрос. Основные понятия об измерении уровня

Измерение уровня жидкостей играет важную роль при автоматизации технологических процессов во многих отраслях промышленности. Эти измерения особенно важны в тех случаях, когда поддержание некоторого постоянного уровня, например уровня воды в барабане парогенератора, уровня жидкости в резервуарах, аппаратах и других устройствах, связано с условиями безопасной работы оборудования. Технические средства, применяемые для измерения уровня жидкости, называются ***уровнемерами***.

Приборы, предназначенные для сигнализации предельных уровней жидкости, называются ***сигнализаторами уровня***. Уровнемеры также имеют широкое применение в различных отраслях промышленности для измерения по уровню количества жидкости, находящейся в резервуарах, баках и других устройствах.

Уровнемеры, предназначенные для измерения уровня жидкости с целью поддержания его постоянным, имеют двустороннюю шкалу. Шкалы и диаграммная бумага этих уровнемеров градуируются в сантиметрах или метрах, а приборов, применяемых для измерения уровня воды в барабане парогенераторов, — в миллиметрах.

Уровнемеры, служащие для измерения по уровню количества жидкости в резервуарах, баках и других устройствах, имеют одностороннюю шкалу. Шкалы и диаграммная бумага этих уровнемеров градуируются в сантиметрах и метрах, а иногда в процентах.

Уровнемеры, применяемые для измерения уровня жидкости с целью поддержания его постоянным в определенных пределах, снабжают устройством для сигнализации предельных отклонений уровня от заданного значения.

У сигнализаторов уровня жидкости контактное устройство срабатывает при некотором заданном значении уровня для данного объекта.

В зависимости от требований, предъявляемых к автоматизации технологических процессов, применяют различные методы измерения уровня жидкости. Если нет необходимости в дистанционной передаче показаний, уровень жидкости с достаточной точностью и надежностью можно измерять с помощью указательных стекол или показывающими дифманометрами-уровнемерами. Наиболее распространенными уровнемерами являются указательные стекла, поплавковые, гидростатические, электрические, радиоизотопные и ультразвуковые уровнемеры.

2-вопрос. Указательные стекла

Работа указательных стекол для жидкостей основана на принципе сообщающихся сосудов. Они соединяются с объектом нижним концом (для открытых сосудов) и двумя концами (для сосудов, работающих при избыточном давлении). Они дополнительно снабжаются краниками для отключения его от системы и продувки. Применяются указательные стекла до 30 кгс/см^2 и до 300°C .

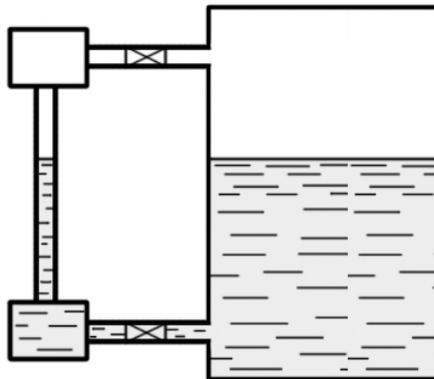


Рис.1.

3-вопрос. Поплавковые уровнемеры

В поплавковом уровнемере за уровнем жидкости следит поплавок, перемещение которого передается на показывающее устройство или преобразователь для преобразования перемещения или усилия в выходной сигнал. Возможны два принципа построения поплавковых уровнемеров. В первом случае противодействующая сила, равная подъемной силе поплавка (по закону Архимеда $F = \rho s x g$, где ρ - плотность жидкости; s - площадь поперечного сечения поплавка; x - высота погружения; g - ускорение силы тяжести), создается силой тяжести поплавка G , т.е. $G = F = \text{const}$.

Собственно уровень погружения поплавка

$$X = \frac{G}{sg\rho},$$

т.е. поплавок повторяет изменение уровня жидкости.

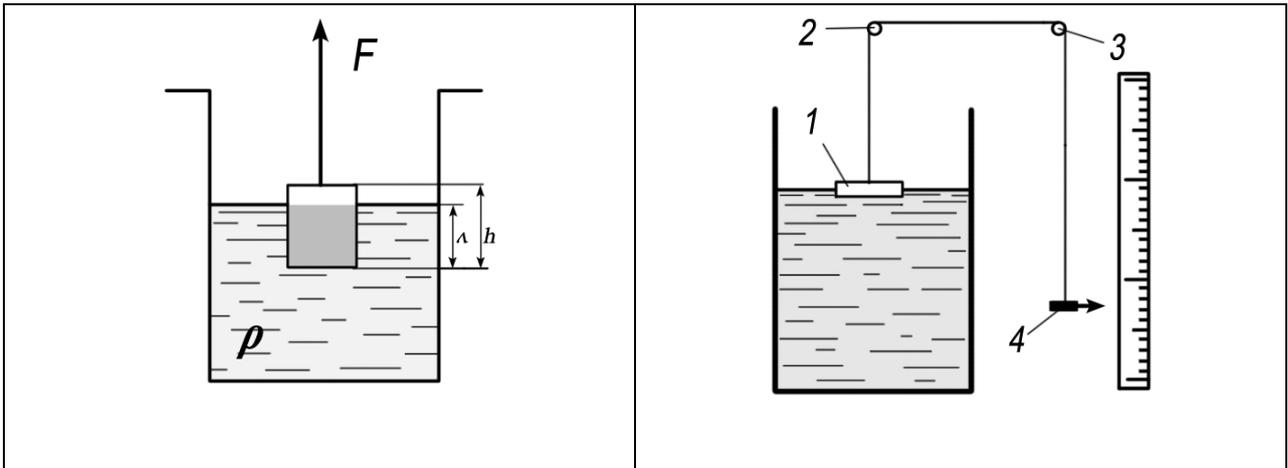


Рис. 2.

Во втором случае противодействующая сила создается пружиной и изменяется при перемещении поплавка.

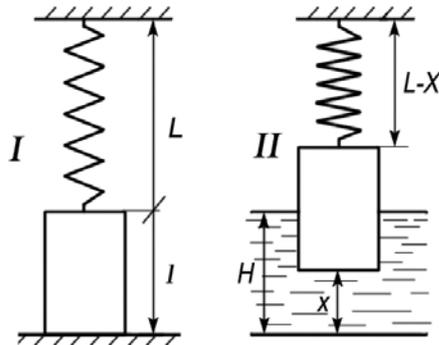


Рис.3.

Простейшая схема уровнемера (рис.2.) с поплавком постоянного погружения (плавающим) состоит из поплавка 1, подвешенного на гибком тросе перекинутом через ролики 2 и 3. На другом конце троса подвешен груз 4 со стрелкой, указывающей уровень по шкале. Недостатком этого уровнемера является перевернутая шкала. Выпускаются поплавковые уровнемеры этого типа с сельсинным преобразователем.

В уровнемерах с цилиндрическим поплавком (буйком) переменного погружения (рис.3.) условия равновесия могут быть записаны как в первом I-случае

$$Slpg = LZ,$$

где Z - жесткость пружины.

А во втором II-случае

$$S\rho g - (H - x) s\rho_1 g = (L-x) Z.$$

Вычитая, получим:

$$(H-x) s\rho_1 g = LZ - (L-x) Z.$$

Откуда

$$x = \frac{H}{1 + \frac{Z}{s\rho_1 g}}.$$

Из этого уравнения следует, что перемещение поплавка пропорционально изменению уровня жидкости. С увеличением жесткости пружины (Z) относительное перемещение поплавка снижается.

Уровнемер буйковый пневматический УБ-П

В этих приборах чувствительным элементом является погруженный в жидкость поплавок, плотность которого больше, чем плотность жидкости. Принцип действие этого прибора основан на изменении выталкивающей (архимедовой) силы, действующей на поплавок, в зависимости от изменения уровня.

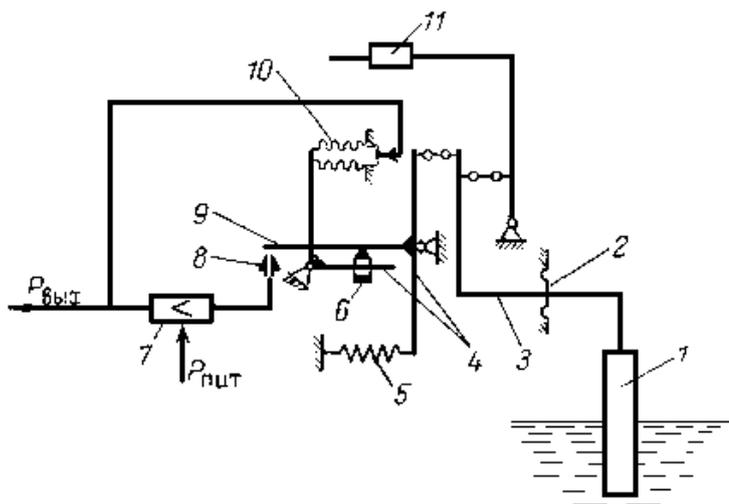


Рис.4. Уровнемер буйковый УБ-П

Уравномер состоит из измерительного устройства и унифицированного пневмосилового преобразователя. Чувствительным элементом измерительного устройства является стальной цилиндрический поплавок (бук) 1, помещённый внутри аппарата, в котором измеряется уровень. При изменении уровня бук, подвешенный к рычагу 3 через мембрану 2, отделяющую полость рабочего давления от измерительной части прибора, передает усилие через систему рычагов 4 на заслонку 9, перемещающуюся относительно сопла 8. Сигнал, возникающий в линии сопла 8, управляет при помощи усилителя 7 давлением, поступающим в сильфон отрицательной обратной связи 10. Одновременно это же давление направляется в выходную линию прибора. Дополнительный груз 11 служит для уравнивания системы. Изменение диапазона измерения прибора производится перемещением подвижной опоры 6. Начальное значение устанавливают корректором нуля 5.

Прибор питается сжатым воздухом давлением 0,14 МПа. Расход воздуха питания 3 л/мин. Выходной сигнал 0,02-0,1 МПа. Предельное расстояние передачи выходного сигнала 300 м. Плотность контролируемой среды 0,45—2,5 г/см³. Верхние пределы измерений уровня 0,02—16 м. Классы точности 1,0; 1,5.

Уровнемер буйковый электрический УБ-Э предназначен для тех же целей, что и уровнемер УП-Б. Прибор состоит из аналогичного измерительного устройства и электросилового преобразователя с усилителем. Электросилового преобразователя выполнен в виде передаточного механизма и силового устройства обратной связи с индикатором рассогласования. При изменении уровня перемещается погруженный в жидкость бук. При этом усилие, возникающее в измерительном устройстве, передается на электросилового преобразователя, в котором создается момент, вызывающий незначительное перемещение через рычажную систему передаточного механизма плунжера индикатора рассогласования. Сигнал с последнего при помощи усилителя преобразуется в унифицированный аналоговый сигнал постоянного тока.

Питание прибора от сети переменного тока напряжением 220 В. Выходной сигнал 0—5; 0-20 мА. Плотность контролируемой среды 0,6—2,5 г/см³. Верхние пределы измерений уровня 0,02—16 м. Классы точности 1,0; 1,5.

В этих приборах измерение уровня сводится к определению давления, создаваемого столбом жидкости, т.е.

$$P = \rho gH; \quad (\text{при } \rho = \text{const})$$

Существуют гидростатические уровнемеры: пьезометрические и дифманометрические.

Пьезометрические уровнемеры применяются для измерения уровня агрессивных сред и особо вязких жидкостей.

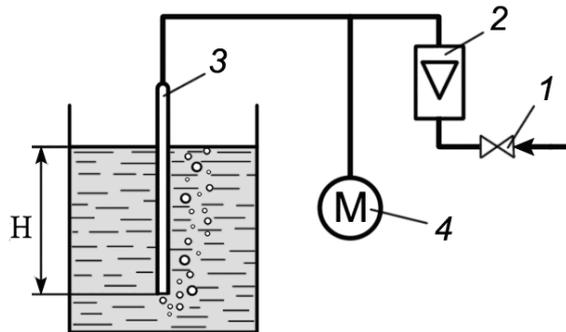


Рис.5.

В измерительный комплект этого уровнемера входят:

- 1 – регулируемый дроссель;
- 2 – ротаметр;
- 3 – пьезометрическая трубка;
- 4 – манометр (вторичный прибор)

С начала подачи воздуха давление в системе будет повышаться до тех пор пока не станет равным давлению, создаваемого столбом жидкости H , т.е., ρgH . В момент выравнивания давления из трубки 3 начинает выходить воздух, расход которого регулируют так, чтобы она побулькивала 60-100 пузырьков в минуту. Расход устанавливается регулирующим дросселем 1. Таким образом, шкала прибора 4, которая измеряет давление в пьезометрической трубке может быть проградуирована в единицах уровня. Другим видом гидростатических уровнемеров может быть дифманометр любой системы.

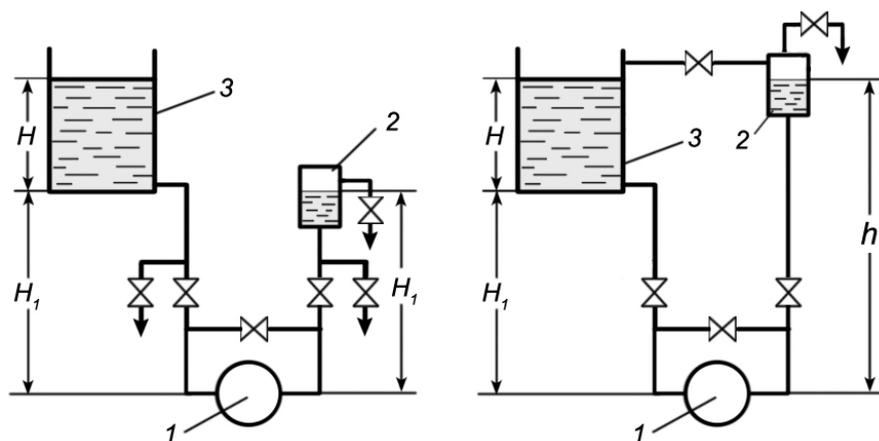


Рис.6.

Высота столба жидкости в колене уравнильного сосуда (рис.6) постоянна, а в другом колене дифманометра меняется с изменением уровня в резервуаре, т.е. каждому значению уровня соответствует определенный перепад давления. В первом случае, если аппарат находится под атмосферным давлением, то уравнильный сосуд устанавливается на уровне дна аппарата и тогда измеряемый перепад давления будет:

$$\Delta P = \rho g(H - H_1) + P_{\text{атм}} = P_{\text{атм}} - \rho gH = \rho gH$$

А когда аппарат находится под давлением

$$P_{\text{изб}} + \rho gh - [P_{\text{изб}} + \rho g(H + H_1)] = \Delta P \quad \text{или} \quad \Delta P = f(H)$$

5-вопрос. Электрические уровнемеры

Наибольшее распространение получили емкостные уровнемеры основанные на изменении емкости и омические.

В емкостных уровнемерах используются диэлектрические свойства контролируемых сред, а в омических - свойство контролируемой среды проводит электрический ток.

Емкостной уровнемер. Различают цилиндрические (I) и призматические (II) емкостные преобразователи. Емкость датчика будет равна сумме емкости двух участков. Погруженный участок с диэлектрической проницаемостью $\epsilon_{\text{ж}}$ и не погруженный участок с диэлектрической проницаемостью $\epsilon_{\text{ср}}$ (для воздуха равной единице).

Для цилиндрического емкостного преобразователя емкость

$$E = C_h + C_{H-h} = 0,24 \frac{E_{жк} \cdot h + E_{ср} (H - h)}{\lg \frac{D}{d}} n\Phi$$

Для плоского емкостного преобразователя

$$C = C_h + C_{H-h} = \frac{0,088 b}{a} [E_{жк} \cdot h + E_{ср} (H - h)] n\Phi$$

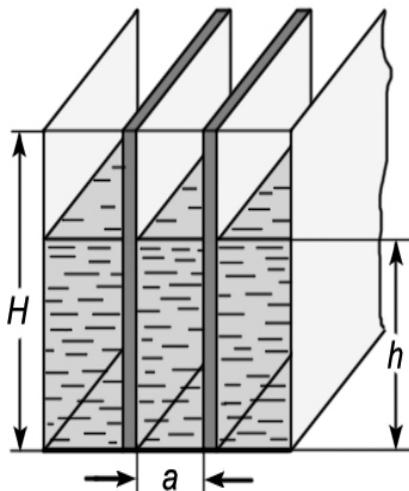


Рис.7.

т.е. $C=f(h)$. Измерение электрической емкости обычно производится с помощью резонансных схем (в сигнализаторах уровня) и мостовых схем (в измерителях уровня)

Омические уровнемеры используются в основном как сигнализаторы. Принцип действия омических сигнализаторов основан на замыкании электрической цепи источника питания через контролируемую среду, представляющую собой участок электрической цепи, обладающий определенным омическим сопротивлением.

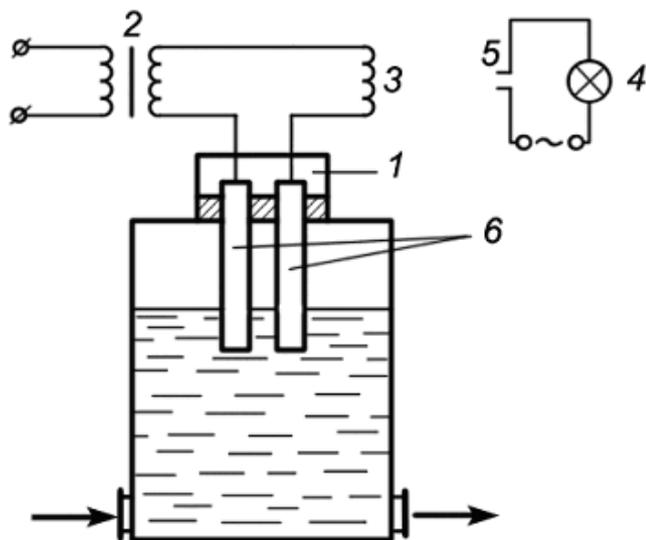


Рис.8.

Сигнализатор состоит из двух узлов: преобразователя и блока питания. Преобразователь включает в себя два изолированных друг от друга электрода 6, которые подключены в цепь (питания) вторичной обмотки понижающего трансформатора 2, блока питания. В эту цепь подключено также реле 3. При достижении определенного уровня электроды замкнутся и через цепь протечет ток и сработает реле 3. Замкнутся его контакты 5 и сгорит лампочка 4, оповещая о превышении уровня в аппарате допустимого значения.

Радиоизотопные уровнемеры

Измерение уровня основано на погашении γ -лучей при их прохождении через слой вещества. Возможны следующие три схемы радиоизотопных уровнемеров (рис.9.):

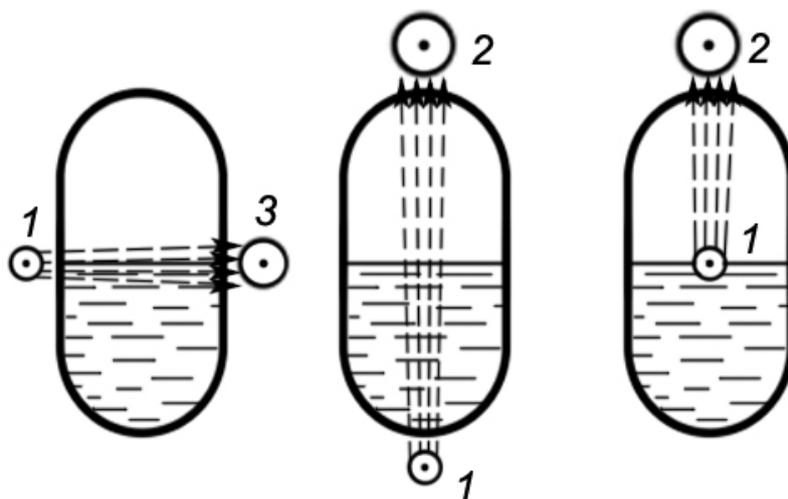


Рис. 9.

С изменением уровня интенсивность лучей, поступающих на приемник, меняется. Применяются в основном в тех случаях, когда невозможно использовать другие методы измерения уровня.

Ультразвуковые уровнемеры

Ультразвуковые уровнемеры позволяют измерять уровень при отсутствии контакта с измеряемой средой и в труднодоступных местах. В ультразвуковых уровнемерах обычно используется принцип отражения звуковых волн от границы раздела жидкости и газа. Уровень жидкости в резервуаре определяется по времени запаздывания отраженного сигнала относительно последнего. Постоянное напряжение пропорциональное времени запаздывания отраженного сигнала, получаемое в измерителе времени, подается на вторичный прибор.

Заключение

Как мы знаем, для ведения технологических процессов большое значение имеет контроль за уровнем жидкостей и твердых сыпучих материалов в производственных аппаратах. Зная площадь любой емкости, по величине уровня можно определить количества вещества в ней. Часто по условиям технологического процесса нет необходимости в измерении уровня по всей высоте аппарата. В таких случаях применяем узкопредельные, но более точные уровнемеры. Такими являются уровнемеры, используемые только для сигнализации предельных значений уровня. Поэтому студентам необходимо знать, в каких случаях применять контактные и в каких бесконтактные уровнемеры, обладать навыками выбора уровнемеров в зависимости от ведения технологического процесса.

Контрольные вопросы:

1. На чем основан принцип действия поплавковых уровнемеров?
2. Какие приборы используются для местного измерения уровня в аппаратах?
3. На каком принципе основано действие гидростатических уровнемеров?
4. В каких уровнемерах используются диэлектрические свойства контролируемых сред?

Тестовые задания:

1. Приборы, предназначенные для сигнализации предельных уровней жидкости, называются _____

2. Различают следующие виды уровнемеров: указательные стекла,

3. В _____ уровнемерах за уровнем жидкости следит поплавков, перемещение которого передается на показывающее устройство или преобразователь для преобразования перемещения или усилия в выходной сигнал.

4. В _____ чувствительным элементом является погруженный в жидкость поплавков, плотность которого больше, чем плотность жидкости.

5. Работа _____ основана на принципе сообщающихся сосудов.

6. В _____ измерение уровня сводится к определению давления, создаваемого столбом жидкости

Рекомендуемая литература

1. Камразе А.И., Фитерман М.Я. Контрольно-измерительные приборы и автоматика. – Л.: Химия, 1988, 224 с.

2. Петров И.К. Технологические измерения и приборы в пищевой промышленности.- М: Агропромиздат 1995.

3. Полоцкий Л.М., Лапшенков Г.М. Автоматизация химических производств; учебное пособие для Вузов.-М.: Химия, 1982. 295с., ил

4. Юнусов И.И. Методы и приборы технологического измерения. Конспект лекций.- ТХТИ, 2010 г.

Название лекции: Методы измерения расхода и количества

План:

1. Основные понятия о расходе и количестве веществ
2. Методы измерения расхода
3. Методы измерения количества вещества

Технология обучения лекционного материала

<i>Количество студентов:</i>	<i>Время – 80 мин</i>
<i>Форма учебного занятия</i>	Визуальная лекция, вопрос-ответ, метод Кластера
<i>План лекционного занятия</i>	1. Основные понятия о расходе и количестве веществ 2. Методы измерения расхода 3. Методы измерения количества

	вещества
Цель учебного занятия: Формирование у студентов необходимых знаний и навыков по измерительным преобразователям расхода и количества вещества, ознакомление способами измерения расхода и количества жидкостей и газов.	
Педагогические задачи: <ul style="list-style-type: none"> Преподаватель объясняет основные понятия об измерении уровня, средствах и методах измерения уровня жидкостей и твердых сыпучих материалов 	Результаты педагогической деятельности: В результате освоения лекционного материала студенты приобретают необходимые знания о расходе и количестве, способами измерения расхода жидкостей и газов
Метод и техника обучения	Визуальная лекция, опрос, изложение, метод Кластера
Средства обучения	Конспекты лекций, проектор, раздаточные материалы, схемы различных расходомеров
Форма обучения	Коллективная, работа в группе
Условие обучение	Проектор, оснащенная компьютером аудитория
Оценка и мониторинг	Задаются контрольные вопросы и тестовые задания для самостоятельного изучения, подготовка слайдов для домашнего задания

Технологическая карта лекционного занятия

Поэтапное время	Действие	
	Преподавателя	Студента
1-этап. Введение (5 мин.)	1.1. Ознакомить с темой лекции, объявляет цель занятия и ожидаемый результат	Слушает и пишет
2-этап Основной (60 мин.)	2.1. Проводит оперативный опрос для определения готовности студентов к	1. Последовательно получает ответы на

	<p><i>занятию:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - в чем отличается расход вещества от количества ? - Какие единицы измерения приняты для объемного и массового расхода? - какой прибор применяется в вашем доме для измерения расхода газа, холодной или горячей воды? <p>2.2. Преподаватель продолжает излагать лекционный материал с использованием лекционных материалов и организует занятия в форме визуальной лекции:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Основные понятия о расходе и количестве веществ 2. Методы измерения расхода. Расходомеры постоянного и переменного перепада давлений., расходомеры переменного уровня. 3. Методы измерения количества. Счетчики. <p>2.3. Уделяет внимание студентов на основные понятия лекционного материала и записывать основные моменты</p>	<p>вопросы</p> <p>2. Думает и записывает</p> <p>Задаёт вопросы и записывает основные моменты.</p> <p>Старается ответить письменно на каждый вопрос.</p> <p>Изучает виды уровнемеров, приводить примеры.</p>
<p>3-этап. Заключительный (15 мин)</p>	<p>Заканчивает изложение материала. Уделяет внимание студентов на основные вопросы.</p> <p>Приводит примеры поплавковых уровнемеров</p>	<p>Получают домашнее задание по самостоятельному изучению приборов для измерения уровня сыпучих твердых материалов</p>

Оценка опорных слов по таксономии Блума

№	Тема (разделы и модули)	Опорные слова	сообразен	знание	понимание	применени	анализ	Синтез	Оценка	Отношени
	Модуль №4	Расход	*	*	*					
	Примеры расхода переменного и постоянного перепада давлений	Сужающее устройство	*	*	*	*	*	*		
		Гидравлическое сопротивление	*	*	*					
		поплавок	*	*	*	*				
		Перепад давлений	*	*	*					
		Кольцевое сечение	*	*	*	*				
		ротаметр	*	*	*					

Дидактические средства, применяемые при проведении занятия:

мультимедийный проектор, компьютерная техника, схема ротаметра и сужающих устройств

1-вопрос. Основные понятия о расходе и количестве веществ

Для контроля и управления производственными процессами большое значение имеет измерение расхода и количества различных веществ: газов, жидкостей, пульп и суспензий. **Расход вещества** – это его количество, протекающее через сечение трубопровода в единицу времени.

Количество измеряют в единицах объема (m^3 , cm^3) или массы (т, кг, гр). Соответственно может измеряться объемный расход (m^3/c , $m^3/ч$, cm^3/c) или массовый расход (кг/с, кг/ч, гр/с).

Количество вещества измеряют счётчиками количества, а расход - расходомерами.

В химической и пищевой промышленности наиболее часто применяют расходомеры следующих типов: переменного перепада давления, постоянного перепада давления, переменного уровня и электромагнитные.

2-вопрос. Методы измерения расхода

Расходомеры переменного перепада давления

Измерение расхода этим методом основано на зависимости перепада давления от расхода вещества, образующегося в сужающем устройстве в результате частичного перехода потенциальной энергии потока в кинетическую.

В измерительной технике в качестве сужающих устройств используются нормальные диафрагмы и сопла.

Диафрагма представляет собой тонкий диск A , установленный в трубопроводе, так что его отверстие диаметром d было концентрично внутренним стенкам трубопровода.

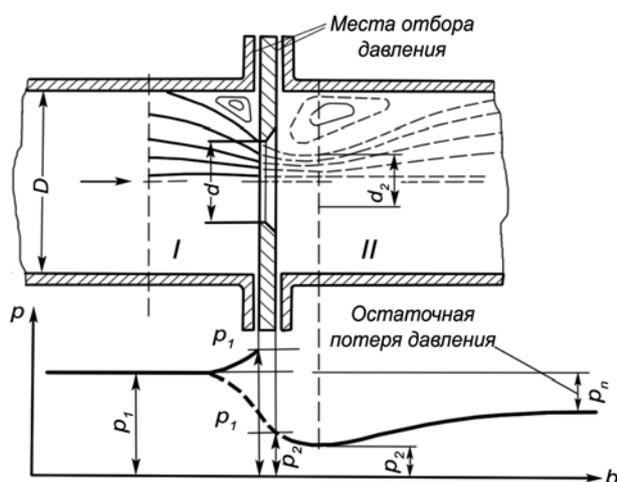


Рис.64

Сужение потока начинается до диафрагмы, затем на некотором расстоянии за ней, благодаря действию сил инерции, поток сужается до минимального сечения, а далее постепенно расширяется до полного сечения трубопровода. Давление струи около стенки трубопровода несколько возрастает из-за подпора перед диафрагмой и понижается до минимума за диафрагмой в наиболее узком сечении струи. Далее по мере расширения струи давление потока около стенки снова повышается, но не достигает прежнего значения. Потеря части давления P_{II} объясняется потерей энергии на трение и завихрение. Изменение на оси трубопровода совпадает с давлением около стенки за исключением в зоне диафрагмы (пунктирная линия). Разность давлений $P_1^1 - P_2^1$ является перепадом, зависящим от расхода среды, протекающего через трубопровод.

Уравнение расхода для несжимаемых жидкостей в объемных и массовых единицах будет соответственно иметь вид:

$$G_{об} = \alpha S_0 \sqrt{\frac{2(P_1^1 - P_2^1)}{\rho}} \text{ м}^3/\text{с};$$

$$G_{мас} = \alpha S_0 \sqrt{2\rho(P_1^1 - P_2^1)} \text{ кг/с};$$

где α - коэффициент расхода (зависит от поперечного сечения s_0 , s_1 и скоростей v , v_1);

S_0 - площадь поперечного сечения отверстия диафрагмы;

ρ - плотность жидкости.

Коэффициент расхода α учитывает неравномерное распределение скоростей по сечению потока, обусловленное вязкостью жидкости и трением о стенки трубопровода, измерение давления не в центре потока, а у стенок трубопровода и применение сечения s_0 , вместо неопределенного наименьшего сечения струи s_2 , в уравнении расхода.

Для газов и паров уравнение расхода имеет вид:

$$G_{об} = \alpha \varepsilon S_0 \sqrt{\frac{2(P_1^1 - P_2^1)}{\rho}} \text{ м}^3/\text{с};$$

$$G_{мас} = \alpha \varepsilon S_0 \sqrt{2\rho(P_1^1 - P_2^1)} \text{ кг/с};$$

ε - поправочный множитель на расширение измеряемой среды (коэффициент расширения);

ρ - плотность среды перед диафрагмой.

Характер потока и распределение давления одинаковы во всех типах сужающих устройств. В соплах потери возникают только за соплом, поэтому остаточная потеря давления P_{II} меньше чем в диафрагме. Еще меньше потеря давления P_{II} в сопле Вентури, профиль которого близок к сечению потока, проходящего через сужение.

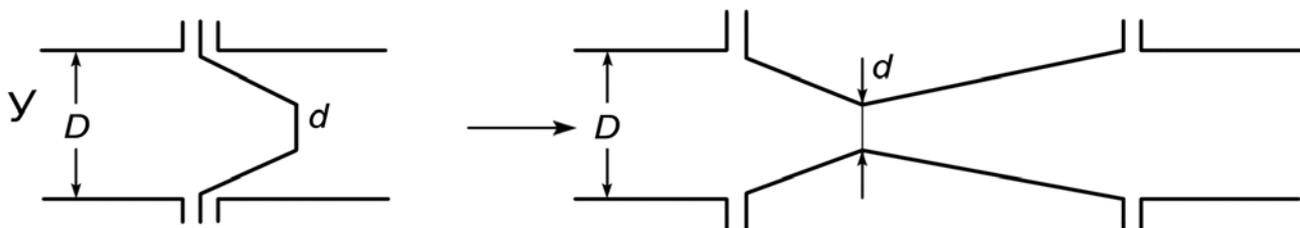


Рис.65.

Теория и основные уравнения метода переменного перепада одинаковы для всех видов сужающих устройств. Различны лишь некоторые коэффициенты в этих уравнениях. Эти сужающие устройства устанавливаются в трубопроводах с диаметром $D > 50\text{мм}$.

Для измерения расхода по этому методу применяются дифманометры, которые связаны сужающим устройством двумя соединительными трубками диаметром 8; 10; 12мм. В зависимости от рода измеряемой среды, ее свойств и характеристик в измерительный комплект вводятся дополнительные устройства. Например, при измерении расхода пара используются конденсационные сосуды, а при измерении агрессивных сред - разделительные сосуды. И, кроме того, в зависимости от того, где устанавливается дифманометр - выше или ниже трубопровода устанавливаются газосборники (когда дифманометр установлен выше) и отстойники (в обоих случаях).

Расходомеры переменного уровня

Принцип действия этих расходомеров основан на измерении высоты уровня жидкости в сосуде при свободном истечении ее через отверстие в боковой стенке сосуда. Применяются для измерения расхода особо активных веществ (агрессивных), пульсирующих потоков и жидкостей, смещенных с газом, притом при атмосферном давлении. Этот расходомер представляет собой прямоугольный корпус 2 с двумя штуцерами для подвода и отвода измеряемой жидкости. Внутри он разделен перегородкой с щелью. Уровень переливающей жидкости измеряется обычно пьезометрическим методом. В сосуд перед сливной щелью погружена в защитном чехле пьезометрическая трубка 1, через которую непрерывно продувается воздух.

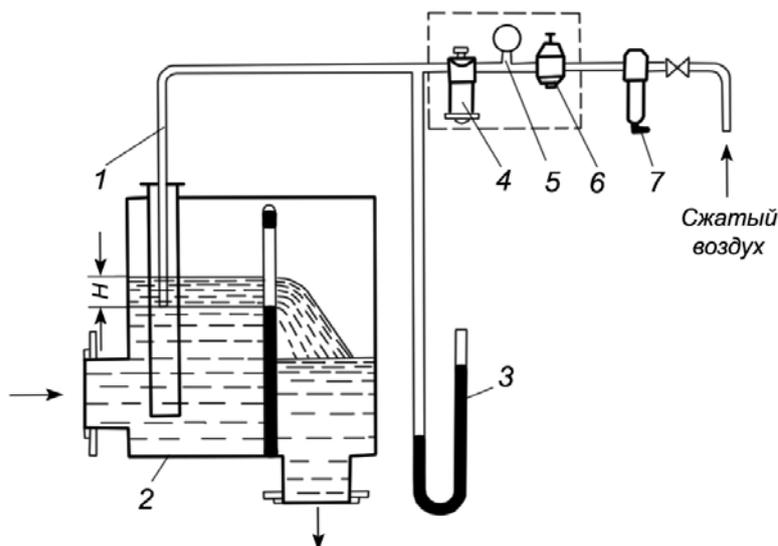


Рис.66.

Количество подаваемого в пьезометрическую трубку воздуха контролируется контрольным стаканчиком 4, а давление поддерживается посредством редуктора 6 и очищается фильтром 7.

Уровень переливающей жидкости изменяется с изменением расхода жидкости ($Q=kh$, где k – коэффициент пропорциональности; H – уровень переливающей жидкости). Давление в пьезометрической трубке однозначно связано с плотностью и высотой столба жидкости перед щелью, а следовательно и с массовым расходом. Величина гидростатического давления измеряется с помощью пьезометрической трубки и дифманометра 3.

Расходомеры постоянного перепада давления.

Действие расходомеров постоянного перепада давления основано на зависимости вертикального перемещения тела, находящегося в потоке измеряемой среды, и одновременного изменения проходного сечения от расхода среды, при этом тело (чувствительный элемент) уравновешено в потоке среды таким образом, что перепад давления на чувствительном элементе остаётся постоянным.

Наибольшее распространение среди расходомеров постоянного перепада давления получили ротаметры. В простейшем виде ротаметр представляет собой вертикально расположенную конусную стеклянную трубку, внутри которой находится поплавок. На верхнем ободке поплавка имеются бороздки, которые обеспечивают вращение поплавка в потоке измеряемой среды и его самоцентрирование. Изменение расхода нарушает равновесие поплавка и вызывает перемещение поплавка до тех пор, пока разность давлений до и после поплавка не будет его уравновешивать.

Для конкретного поплавка и измеряемой среды эта разность давлений имеет одно и то же значение. Положение поплавка, при котором будет выполняться условие равновесия, зависит от расхода и проходного сечения (кольцевого зазора между поплавком и трубкой) ротаметра. По положению поплавка судят о расходе через ротаметр.

Принцип действия ротаметра постоянного перепада давления основан на изменении проходного зазора (сечения) конусной стеклянной ротаметрической трубки 2 (рис. 8.1, а) в результате перемещения поплавка 1, находящегося во взвешенном состоянии под действием разности сил гидродинамического потока среды и силы тяжести поплавка.

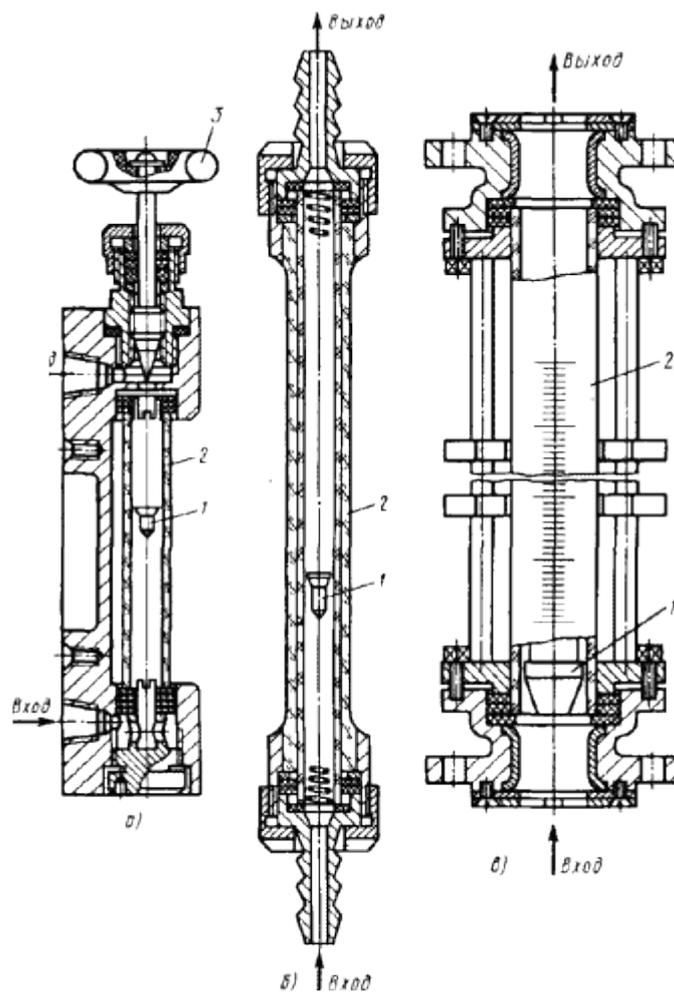


Рис. 8.1. Типы ротаметров:
 а — РС-3а, б — РС-3; в — РС-5: 1 — поплавок, 2 —
 стеклянная трубка, 3 — регулировочный вентиль.

Для создания определенной динамики вращательного движения поплавок 1 имеет специальную косую нарезку в верхней части, что обеспечивает центрирование поплавка, который при этом не касается стенок измерительной трубки. Шкала на трубке имеет 100 делений, относительно которых по градуировочной характеристике определяется истинный расход контролируемого газа или жидкости. Так если при градуировке ротаметра типа РМ-1 поплавок находится на отметке 60 делений (отсчет берется по верхней плоскости поплавка), то расход воздуха составляет 1,8 м³/ч. Для изменения расходной характеристики ротаметра прибегают к замене массы поплавка: чем больше масса поплавка, тем больший расход может измерить ротаметр. Для этих целей вытачивают поплавки из стали, алюминия, фторопласта и эбонита. Градуировочная характеристика ротаметра определяется органами Госстандарта для конкретного газа (жидкости). При использовании прибора в других средах необходимо вносить поправку на плотность газа (жидкости).

К преимуществам ротаметров следует отнести простоту конструкции, возможность измерения малых расходов, применимость в агрессивных средах, практически равномерную шкалу, а так же низкую стоимость, простоту конструкции и удобство монтажа. Недостатками

стеклянных ротаметров являются отсутствие записи показаний, зависимость показаний от вязкости, температуры и давления среды.

3-вопрос. Приборы для количества вещества

Счетчики. Это приборы, предназначенные для количественного определения массы или объема вещества, прошедшего через счетчик. По принципу действия они делятся на объемные и скоростные. В молочной промышленности наибольшее распространение получили объемные счетчики, принцип действия которых основан на том, что измеряемое количество молока, заполняя некоторый объем (измерительную камеру), вытесняется вращающимся рабочим органом (шестернями), соединенным со счетным механизмом. Характеризующая работа объемных счетчиков описывается уравнением $V = nV$.

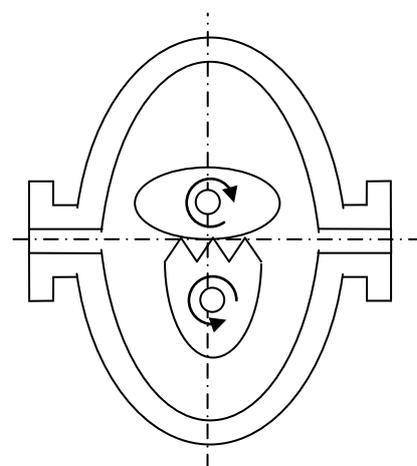


рис.1

В корпусе счетчика (рис.1) установлены две овальные шестерни, вращающиеся под давлением жидкости, поступающей во входную часть камеры. При повороте шестерни отмеренный в сердцеобразном пространстве, объем молока вытесняется из камеры. За один полный оборот овальных шестерен через счетчик вытесняется четыре объема жидкости, равных объему серпообразного пространства. Одна из шестерен соединена со счетным механизмом, а так как частота вращения шестерен зависит от количества протекающей жидкости, то счетное устройство регистрирует измеренное количество.

Заключение

Для контроля и управления производственными процессами большое значение имеет измерение расхода и количества различных веществ: газов, жидкостей, пульп и суспензий. Приборы для измерения расхода и количества широко применяются в пищевой и химической промышленности. У нас, у каждого у вас дома так же имеются различные приборы для измерения расхода природного газа, горячего и холодного водоснабжения, электрического тока. Как мы видим эти приборы применяются не только в производственных процессах, но и в каждодневном быту. Поэтому ознакомление с этими приборами и принципами их работы имеет немаловажное значение.

Контрольные вопросы:

1. Какими приборами измеряют расход и количества?
2. Какие расходомеры часто применяют в химической и пищевой промышленности?
3. В чем заключается принцип работы расходомеров переменного перепада давлений?

Тестовые вопросы:

- 1 Приборы, измеряющие количества вещества:
 - а) расходомеры
 - б) амперметры
 - в) вольтметры
 - г) счетчики
 - д) кассы
- 2 Какой прибор указывает изменение расхода методом постоянного перепада давления?
 - А) Манометр
 - В) Ротамер
 - С) Дифманометр
 - Д) Счетчик
 - Е) Индукционный
3. Какой измерительный прибор дает информацию о расходе с помощью метода переменного давления?
 - А) Дифманометр
 - В) Ротамер
 - С) Турбина
 - Д) Ускорение пропеллера
 - Е) С помощью сил давления
4. С расходомером переменного перепада давления работает
 - А) дифманометр
 - Б) манометр
 - В) термометр
 - Г) поплавков
 - Д) гаечный ключ

Рекомендуемая литература

1. Камразе А.И., Фитерман М.Я. Контрольно-измерительные приборы и автоматика. – Л.: Химия, 1988, 224 с.
2. Петров И.К. Технологические измерения и приборы в пищевой промышленности.- М: Агропромиздат 1995.
3. Полоцкий Л.М., Лапшенков Г.М. Автоматизация химических производств; учебное пособие для Вузов.-М.: Химия, 1982. 295с., ил
4. Юнусов И.И. Методы и приборы технологического измерения. Конспект лекций.- ТХТИ, 2010 г.

5. Голубятников В.А. Шувалов В.В. Автоматизация производственных процессов в химической промышленности. М.: Химия, 1986, 352 с.

Название лекции: Контроль состава и физических свойств веществ

1. Общие сведения
2. Приборы количественного и качественного анализа газов
3. Хроматография газов

Технология обучения лекционного материала

<i>Количество студентов:</i>	<i>Время – 80 мин</i>
<i>Форма учебного занятия</i>	Визуальная лекция, вопрос-ответ, метод Кластера
<i>План лекционного занятия</i>	1. Общие сведения 2. Приборы количественного и качественного анализа газов 3. Хроматография газов
<i>Цель учебного занятия:</i> Формирование у студентов необходимых знаний и навыков по измерительным средствам, предназначенных для количественного и качественного определения состава газов, различными методами определения состава газов.	
<i>Педагогические задачи:</i> <ul style="list-style-type: none"> • Преподаватель объясняет основные понятия об измерении уровня, средствах и методах измерения уровня жидкостей и твердых сыпучих материалов 	<i>Результаты педагогической деятельности:</i> В результате освоения лекционного материала студенты приобретают необходимые знания по определению качественного и количественного состава газов, способами определения состава газов
<i>Метод и техника обучения</i>	Визуальная лекция, опрос, изложение, метод Кластера
<i>Средства обучения</i>	Конспекты лекций, проектор, раздаточные материалы, схемы различных расходомеров
<i>Форма обучения</i>	Коллективная, работа в группе

<i>Условие обучения</i>	Проектор, оснащенная компьютером аудитория
<i>Оценка и мониторинг</i>	Задаются контрольные вопросы и тестовые задания для самостоятельного изучения, подготовка слайдов для домашнего задания

Технологическая карта лекционного занятия

<i>Поэтапное время</i>	<i>Действие</i>	
	Преподавателя	Студента
1-этап. Введение (5 мин.)	1.1. Ознакомить с темой лекции, объявляет цель занятия и ожидаемый результат	Слушает и пишет
2-этап Основной (60 мин.)	<p><i>2.1. Проводит оперативный опрос для определения готовности студентов к занятию:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Почему необходим автоматический контроль состава и свойств вырабатываемых продуктов ? - Какие приборы применяются в лабораторных условиях для количественного определения состава газа? - Какой физический параметр вещества используется при анализе газов масс-спектрометрами? <p>2.2. Преподаватель продолжает излагать лекционный материал с использованием лекционных материалов и организует занятия в форме визуальной лекции:</p>	<p>1. Последовательно получает ответы на вопросы</p> <p>2. Думает и записывает</p> <p>Задает вопросы и записывает основные моменты.</p> <p>Старается ответить письменно на каждый вопрос.</p> <p>Изучает виды уровнемеров, приводит примеры.</p>

	<p>1. Общие сведения</p> <p>2. Приборы количественного и качественного анализа газов</p> <p>3. Хроматография газов</p> <p>2.3. Уделяет внимание студентам на основные понятия лекционного материала и записывать основные моменты</p>	
<p>3-этап.</p> <p>Заключительный (15 мин)</p>	<p>Заканчивает изложение материала. Уделяет внимание студентам на основные вопросы.</p> <p>Приводит примеры поплавковых уровнемеров</p>	<p>Получают домашнее задание по самостоятельному изучению приборов для измерения уровня сыпучих твердых материалов</p>

Оценка опорных слов по таксономии Блума

№	Тема (разделы и модули)	Опорные слова	сообразен	знание	понимание	применени	анализ	Синтез	Оценка	Отношени
	Модуль №4 Примеры газоанализаторов	Состав газа	*	*	*					
		Реакция поглощения	*	*	*	*	*	*		
		Щелочной раствор	*	*	*					
		бюретка	*	*	*	*				
		Отбор проб	*	*	*					

		<i>Поглотительный сосуд</i>	*	*	*	*				
		<i>Химический газоанализатор</i>	*	*	*					

Дидактические средства, применяемые при проведении занятия:

мультимедийный проектор, компьютерная техника, схема ротаметра и сужающих устройств

1-вопрос: Общие сведения

Средства измерений, предназначенные для количественного определения состава газа, называются газоанализаторами и газовыми хроматографами. Эти технические средства в зависимости от их назначения подразделяются на переносные и автоматические.

Переносные газоанализаторы и хроматографы применяются в лабораторных условиях для количественного определения состава газа при выполнении исследовательских работ, а также при специальных обследованиях, испытаниях и наладке различных промышленных теплотехнических установок (парогенераторов, печей и др.). Приборы этого типа широко используются для проверки автоматических газоанализаторов.

Автоматические газоанализаторы, предназначенные для непрерывного автоматического измерения объемного процентного содержания одного определяемого компонента в газовой смеси, широко применяют в различных отраслях промышленности, в частности энергетической. Современные автоматические газоанализаторы позволяют определять содержание в газовой смеси двуокиси углерода (CO₂), кислорода (O₂), окиси углерода и водорода (CO + H₂), CO, H₂, метана (CH₄) и других газов.

Автоматические газоанализаторы широко применяют для контроля процесса горения в топочных устройствах парогенераторов, печей и других агрегатов, для анализа технологических газовых смесей, для определения содержания водорода в системах водородного охлаждения обмоток турбогенераторов и т. д.

2-вопрос: Приборы количественного и качественного анализа газов

Газоанализаторы

С помощью газоанализаторов производится количественный и качественный анализ. Первый - для количественной оценки содержания

анализируемого компонента в газовой смеси, второй - для количественного обнаружения примеси в газовой смеси.

В технологическом контроле в основном используют первые.

В зависимости от метода газового анализа газоанализаторы можно разделить на три класса: химические, физико-химические (электрохимические) и физические.

Кроме этих газоанализаторов в настоящее время более широкое применение находят масспектрометры и газовые хроматографы, с помощью которых можно производить одновременный анализ нескольких компонентов газовой смеси.

Химические газоанализаторы

Сущность химического метода заключается в том, что из газовой смеси удаляется анализируемый компонент и его содержание определяется по уменьшению объема анализируемой газовой смеси.

К химическим методам относятся:

1. Абсорбциометрический метод определения, основанный на уменьшении объема при избирательном поглощении химическими реактивами;

2. Метод, основанный на уменьшении объема при сжигании горючих компонентов газовой смеси;

3. Комбинированный метод.

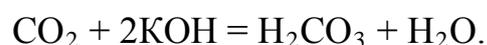
Химические газоанализаторы выпускаются в виде переносных - неавтоматических и стационарных - автоматических газоанализаторов.

Переносные химические газоанализаторы

Рассмотрим работу газоанализатора химического переносного ГХП-3М для анализа содержания CO_2 , O_2 и CO в газовых смесях. Работа его основана на поглощении анализируемых компонентов газовой смеси различными реактивами, затем на определении содержания по уменьшению объема газовой смеси.

1. Для поглощения CO_2 применяется водный раствор едкого калия (КОН) (33% КОН и 67% H_2O).

Реакция поглощения:



Для анализа CO_2 в конвертированном газе используется в качестве реактива 15-20% раствор моноэтаноламина.

2. Для поглощения O_2 в качестве реактива используют щелочной раствор пиросалловой кислоты, т.е. 13% $C_6H_3(OH)_3$, 29% KOH , 58% H_2O .

Для анализа O_2 в конвертированном газе (азоте) используют медно-аммиачный раствор.

3. Для поглощения CO применяется щелочной раствор полухлористой меди или медно-аммиачный раствор.

Прибор состоит (рис.81) из измерительной бюретки 10, помещенной в цилиндрический сосуд 11 с водой, трех стеклянных поглотительных сосудов 1, 2, 3, которые сообщаются с измерительной бюреткой посредством краников 4, 5, 6 и распределительной гребенки 7. Все баллоны для приёма реактива соединены в верхней части стеклянной трубкой 8 с резиновым мешочком 9, изолирующим растворы от атмосферы. Прибор снабжен уравнительным сосудом 13, служащим для отбора и перемещения в приборе пробы газа.

Открыв кран 14 и поднимая сосуд 13, заполняют измерительную бюретку жидкостью ($NaCl$). Далее, отключив гребенку 7 краном 14, от атмосферы соединяют грушу 15 через фильтр 16 с газоподводящей трубкой 17.

Опуская сосуд в течение 10-15 минут, проверяют герметичность прибора по положению уровней. Далее производят продувку гребенки, набирая и сбрасывая газ в атмосферу.

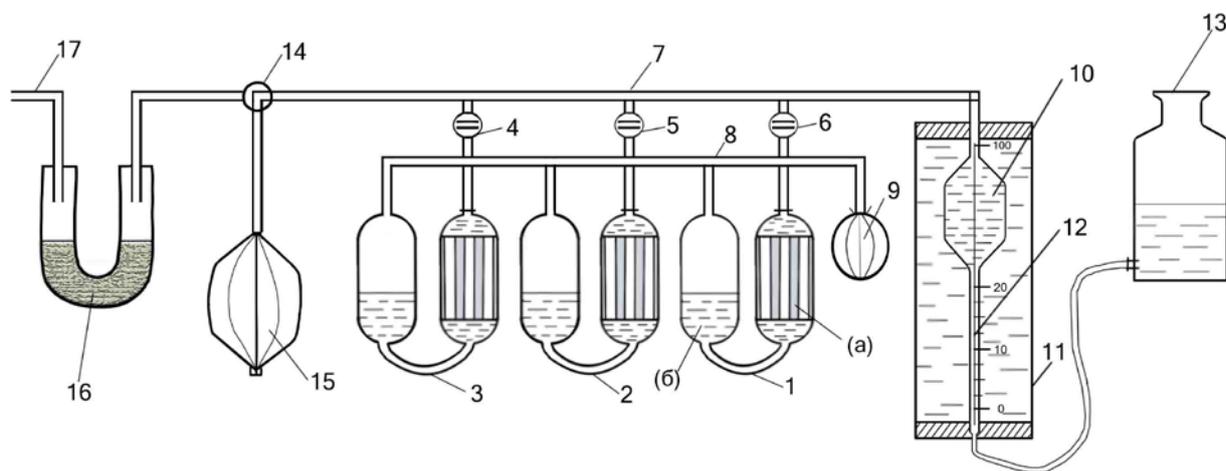


Рис. 1.

После всех этих предварительных процедур набирают в бюретку раствор, до отметки 100 мл и далее, открыв кран 14, набирают 100 мл газа, при этом газ вытесняет жидкость из бюретки.

Анализ начинают с поглощения CO_2 . Открывают кран 6 поглотительного сосуда 1 и, медленно поднимая уравнительный сосуд 19, перегоняют весь газ из бюретки в этот сосуд.

Под давлением перемещаемого газа реактив (МЭА) из баллона для поглощения газа (а) вытесняется в баллон для приёма реактива (б), оголая при этом смоченные раствором стеклянные трубки. Опуская затем сосуд 13, возвращают газ в бюретку 10, следя, чтобы реактив в поглотительном сосуде не поднялся выше контрольной (точки) отметки на капиллярной трубке. Для полного поглощения CO_2 перемещение пробы из 10 в 1 повторяют 4-5 раз. После этого подтягивают уровень реактива до контрольной отметки на капилляре поглотительного сосуда, отключают кран 6, и совмещая уровни жидкости в измерительной бюретке и уравнительном сосуде, определяют по шкале 12, нанесенной на измерительной бюретке, уменьшение объема газа за счет поглощения CO_2 . Затем производят еще одно контрольное перемещение остатка газовой смеси из бюретки 10 в сосуд 1 и обратно. Если результаты совпадут, то на этом заканчивают, если же объем опять уменьшится, то процедуру повторяют до тех пор, пока два следующих друг за другом измерения станут одинаковы.

Потом анализ газа проводят для определения O_2 и CO . Основная погрешность измерения CO_2 и O_2 в среднем $\pm 0,2\%$.

Прибор заключен в деревянный футляр с ручкой для переноски. Выпускается также переносной газоанализатор ВТИ-2, в основу работы которого положен комбинированный метод, объединяющий абсорбциометрический метод и метод отдельного сжигания горючих компонентов газовой смеси.

МАСС-СПЕКТРОМЕТРЫ

При анализе газов масс-спектрометрами используется основной физический параметр вещества – масса молекулы или атома, что дает возможность анализировать состав вещества независимо от их химических и физических свойств.

Действие масс-спектрометра основано на использовании различия траекторий или скорости полета положительных ионов анализируемого вещества, отличающихся отношением массы к заряду ($\frac{m}{e}$). Масс-спектрометрами можно быстро и точно анализировать многокомпонентные газовые смеси (определять примесь, составляющую 0,001 % к основному газу).

Для анализа достаточно ничтожно малое количество пробы вещества. Получение спектра лучистой энергии сравнительно просто, однако получение спектра материальных частиц требует более сложного и разнообразного оборудования. Для масс-спектрального анализа требуется наличие высокого вакуума (10^{-7} – 10^{-6} мм.рт.ст). В условиях высокого вакуума молекулы или атомы анализируемого вещества подвергаются ионизации, в результате которой образуются положительно заряженные ионы. Ионы, получая ускорение в электрическом поле, разделяются в магнитном поле или по времени полета, или же по изменению их энергии.

Сумма электрических зарядов движущихся ионов образует ионный ток, измерение которого (создаваемого частицами той или иной массы) позволяет судить о величине концентрации частиц в общем составе анализируемого вещества.

Основной частью масс-спектрометра является масс-анализатор, в котором происходит основной процесс анализа: ионизация, формирование ионного луча, разделение его на составляющие ионные лучи, соответствующие строго определенным массам, и последовательное раздельное соби́рание ионных лучей на коллекторе.

По конфигурации и взаимной ориентации магнитных полей и электрических полей, а также по характеру изменения этих полей во времени масс-спектрометры делятся на:

- 1) с разделением ионов в однородном магнитном поле;
- 2) с разделением ионов в неоднородном магнитном поле;
- 3) с разделением ионов по времени пролета;
- 4) радиочастотные.

Электродные кондуктометрические преобразователи.

Электродные преобразователи, применяемые для измерения электропроводности растворов, изготавливают для лабораторных исследований различных растворов и для технических измерений. Измерения в лабораторных условиях производят на переменном токе. При этом необходимо отметить, что кондуктометрический метод измерения на переменном токе остается общепринятым в повседневной лабораторной практике. Технические измерения электропроводности растворов с использованием электродных преобразователей производят, как правило, на переменном токе с частотой 50 Гц.

Устройство, размеры, а следовательно, и постоянная электродных преобразователей в существенной степени зависят от измеряемого значения электропроводности раствора. В технических измерениях наиболее распространены преобразователи с цилиндрическими коаксиальными и в меньшей степени — с плоскими электродами. Устройство преобразователей с цилиндрическими коаксиальными электродами схематично показано на рис. 2. У преобразователя, представленного на рис. 2, наружный цилиндрический электрод является одновременно и корпусом его. Второй преобразователь (рис. 3) имеет также цилиндрические коаксиальные электроды, но они расположены в стальном его корпусе, к которому приварен один электрод. Электроды преобразователей для технических измерений выполняют из нержавеющей стали марки 1Х18Н9Т. Электроды преобразователей для лабораторных исследований растворов

электролитов изготавливают из платины. Для уменьшения поляризации электродов их покрывают слоем платиновой черни. Сосуды этих преобразователей выполняют обычно из стекла. Размеры сосудов выбирают в зависимости от ожидаемого значения электропроводности исследуемого раствора.

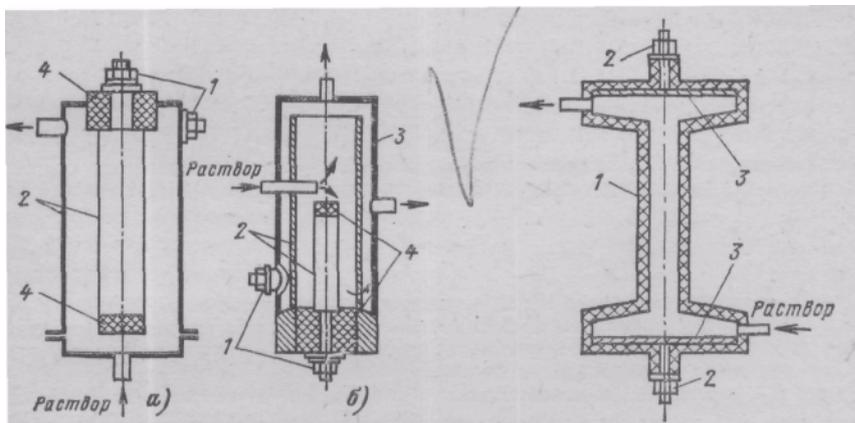


Рис.2 (а) Устройство преобразователей с цилиндрическими коаксиальными электродами.

Рис. 2. (б) Устройство преобразователя с плоскими электродами.

1 — зажимы для присоединения проводов; 1 — корпус преобразователя;
 2 — электроды; 3 — стальной корпус; 2- зажимы для присоединения проводов; 3 — электроды.
 4-изоляторы.

Для уменьшения влияния на точность измерения электропроводности растворов поляризации электродов применяют четырехэлектродные преобразователи, например, в кондуктометрических анализаторах для чистых водных растворов применяют преобразователи типов КК-2 и КК-3 с диапазоном измерений $1 \cdot 10^4$ — $1 \cdot 10^{11}$ См \cdot см $^{-1}$. Два электрода этого преобразователя являются токовыми, питаемыми напряжением переменного тока через большое ограничивающее сопротивление, а два других, расположенных между ними,— потенциальными. В этом случае напряжение, измеряемое на потенциальных электродах, однозначно определяет концентрацию контролируемого раствора и не зависит от частичной поляризации токовых электродов.

3-вопрос: Хроматография газов

Хроматография газов применяется для анализа многокомпонентных газов.

Хроматографией газов называют совокупность методик разделения сложных газовых смесей, основанных на различии в скорости движения компонентов по слою сорбента. По природе сорбента различают газоадсорбционную, газораспределительную (газожидкостную) и капиллярную хроматографию.

При газоадсорбционной хроматографии в качестве сорбентов используются пористые вещества (активированный уголь, силикагель, окись алюминия и т.п.). При этом скоростью разделения газовой смеси определяется селективность сорбента к отдельным компонентам. В газораспределительной хроматографии используются нелетучие растворители, которые наносятся на пористые твердые носители с большой поверхностью. Капиллярная хроматография является одной из разновидностью газораспределительной хроматографии. При этом на внутреннюю поверхность капилляра, откуда пропускается анализируемая газовая смесь, наносится нелетучий растворитель.

Рассмотрим принцип хроматографического разделения.

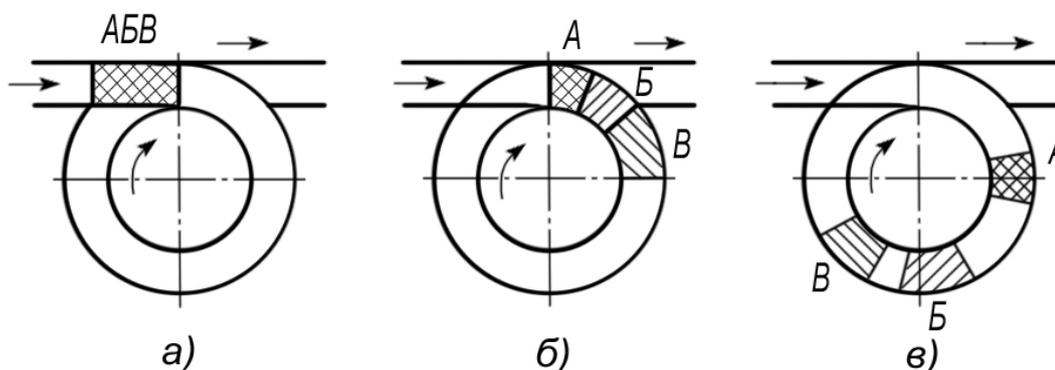


Рис.115.

Проба газа, состоящая из 3^x компонентов, перемещается газом-носителем через разделительную колонку. При этом компоненты смеси имеющие различную сорбируемость (растворимость), замедляются по разному и начинают разделяться, а через некоторое время различие в скоростях движения приведет к их полному разделению. Из разделительной колонки хроматографа будут выходить или газ-носитель, или компонент, что фиксируется детектором.

Установка для хроматографии газов состоит из следующих основных элементов: разделительной колонки с неподвижной фазой, источника для подвижной газовой фазы и устройства для фиксирования разделенных газов-детектора. Кроме этих основных элементов имеются вспомогательные

приспособления: для введения пробы, приборы для контроля и регулирования давления газа и газового потока, а также термостаты для обеспечения постоянства температуры колонки и детектора.

Блок-схема для хроматографии газов приведена на рис.3.

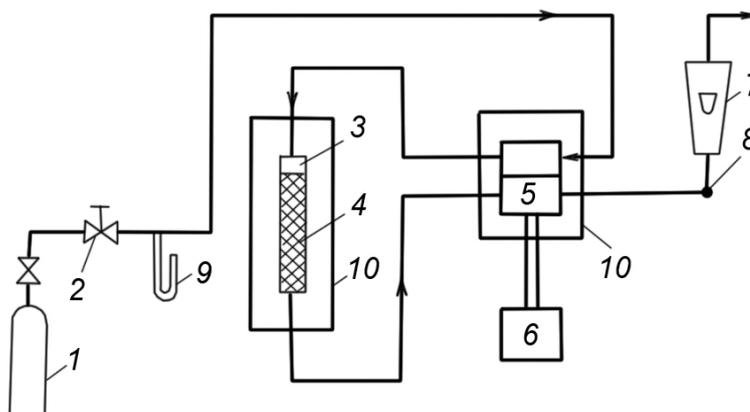


Рис.3.

- 1- газовый баллон; 2- вентиль тонкой регулировки; 3- манометр;
4- разделительная колонка; 5 – детектор; 6 – термостат; 7- ротаметр;
8- регистрирующий прибор.

Небольшая проба смеси газов при помощи специального приспособления вводится в разделительную колонку 4. Через колонку непрерывно пропускают поток инертного газа, который перемещает газообразные компоненты с различными скоростями. В результате компоненты газовой смеси покидают колонку в виде отдельных «полос», разделенных зонами газа-носителя. Состав газового потока определяется детектором 5.

Заключение

Многообразие анализируемых веществ и широкий диапазон их составов и свойств обусловили производство автоматических приборов с чрезвычайно разнообразными методами анализа. Если приборы для измерения таких параметров, как давление, уровень, температура, применяются практически во всех производствах, то анализаторы применяются для специфических задач конкретного производства.

Контрольные вопросы:

1. Что позволяют определить современные автоматические газоанализаторы?

2. Работа какого анализатора основана на поглощении анализируемых компонентов газовой смеси различными реактивами, затем на определении содержания по уменьшению объема газовой смеси?

3. Какой метод применяется для анализа многокомпонентных газов?

Тестовые задания:

1. При анализе газов масс-спектрометрами используется основной физический параметр вещества – масса _____ или _____

2. Хроматография газов применяется для анализа _____ газов

3. Электродные преобразователи, применяются для измерения _____ растворов

4. С помощью газоанализаторов производится _____ и _____ анализ

5. В зависимости от метода газового анализа газоанализаторы можно разделить на три класса: химические, _____ и _____

6. Основной частью масс-спектрометра является _____

Рекомендуемая литература:

1. Камразе А.И., Фитерман М.Я. Контрольно-измерительные приборы и автоматика. – Л.: Химия, 1988, 224 с.

2. Петров И.К. Технологические измерения и приборы в пищевой промышленности.- М: Агропромиздат 1995.

3. Полоцкий Л.М., Лапшенков Г.М. Автоматизация химических производств; учебное пособие для Вузов.-М.: Химия, 1982. 295с., ил

4. Юнусов И.И. Методы и приборы технологического измерения. Конспект лекций.- ТХТИ, 2010 г.

5. Голубятников В.А. Шувалов В.В. автоматизация производственных процессов в химической промышленности. М.: Химия, 1986, 352 с.

Название лекции: *Свойства объектов и их переходные характеристики*

План:

- 1. Основные свойства объектов регулирования**
- 2. Виды объектов**

3. Методы определения свойств объектов

Технология обучения лекционного материала

<i>Количество студентов:</i>	<i>Время – 80 мин</i>
<i>Форма учебного занятия</i>	<i>Визуальная лекция</i>
<i>План лекционного занятия</i>	<ol style="list-style-type: none">1. Основные свойства объектов регулирования2. Виды объектов3. Методы определения свойств объектов
<i>Цель учебного занятия:</i> Формирование у студентов необходимых знаний, навыков и умений по технологическим объектам управления, свойствам объектов, видам объектов по способности восстанавливать равновесное состояние при конечном изменении входных величин, методам определения свойств объектов	
<i>Педагогические задачи:</i> <ul style="list-style-type: none">• Преподаватель объясняет сущность и основные свойства объектов регулирования, видов объектов по способности восстанавливать равновесное состояние при конечном изменении входных величин, методы определения свойств объектов	<i>Результаты педагогической деятельности:</i> <p>В результате освоения лекционного материала студенты приобретают знания по свойствам объекта регулирования, анализировать нейтральных, устойчивых и неустойчивых объектов, составить структурную схему различных объектов регулирования</p>
<i>Метод и техника обучения</i>	Визуальная лекция, методы блиц-опрос, изложение, кластер
<i>Средства обучения</i>	Конспекты лекций, проектор, раздаточные материалы, органайзеры
<i>Форма обучения</i>	Коллективная, работа в группе и в паре
<i>Условие обучение</i>	Проектор, оснащенная компьютером аудитория
<i>Оценка и мониторинг</i>	Задаются контрольные вопросы для

	самостоятельного изучения, подготовка слайдов для домашнего задания
--	--

Технологическая карта лекционного занятия

<i>Поэтапное время</i>	<i>Действие</i>	
	Преподавателя	Студента
1-этап. Введение (5 мин.)	1.1. Ознакомить с темой лекции, объявляет цель занятия и ожидаемый результат	Слушает и пишет
2-этап Основной (60 мин.)	<p><i>2.1. Проводит оперативный бриф-опрос для определения готовности студентов к занятию:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - В чем проявляются динамические свойства объектов? - Для чего необходимо знать свойства объектов? - возможно ли регулировать технологические параметры без изучения динамических свойств объектов? - В чем заключается экспериментальный метод определения свойства объекта? <p>2.2. Преподаватель продолжает излагать лекционный материал с использованием лекционных материалов и организует занятия в форме вопрос-ответ.</p> <p>1. Основные свойства объектов регулирования</p>	<p>1. Последовательно получает ответы на вопросы</p> <p>2. Думает и записывает</p> <p>Задает вопросы и записывает основные моменты.</p> <p>Старается ответить письменно на каждый вопрос.</p> <p>Анализируют различные объекты, приводить примеры.</p>

	<p>2. Виды объектов</p> <p>3. Методы определения свойств объектов</p> <p>2.3. Уделяет внимание студентов на основные понятия лекционного материала и записывать основные моменты</p>	
<p>3-этап.</p> <p>Заключительный</p> <p>(15 мин)</p>	<p>Заканчивает изложение материала. Уделяет внимание студентов на основные вопросы.</p> <p>Приводит примеры изображения объектов с входными и выходными сигналами</p>	<p>Получают домашнее задание по структурной схеме объектов регулирования</p>

Оценка опорных слов по таксономии Блума

<i>№</i>	<i>Тема (разделы и модули)</i>	<i>Опорные слова</i>	<i>сообразжен</i>	<i>знание</i>	<i>понимание</i>	<i>применени</i>	<i>анализ</i>	<i>Синтез</i>	<i>Оценка</i>	<i>Отношени</i>
	<i>Модуль №4</i>	<i>Объект</i>	*	*	*					
	<i>Основные характеристики объектов регулирования по каналу $x \rightarrow y$</i>	<i>Уравнени е динамики</i>	*	*	*	*	*	*		
		<i>Переход- ные характер- истики</i>	*	*	*					
		<i>График переход- ной характер- истики</i>	*	*	*	*				
		<i>Переда- точная функция</i>	*	*	*					

		Структурная схема	*	*	*	*				
--	--	--------------------------	---	---	---	---	--	--	--	--

1-вопрос: Основные свойства объектов регулирования

Вид переходного процесса в объекте зависит от величины и формы наносимых на него регулирующих и возмущающих воздействий, а также от его динамических свойств.

Свойства объекта необходимо знать при составлении схемы автоматизации, выборе закона работы регулятора и определении оптимальных значений его настроечных параметров.

Основными свойствами объектов регулирования являются *самовыравнивание (саморегулирование), емкость и запаздывание.*

Самовыравнивание объекта характеризует его устойчивость. *Самовыравниванием называют свойство устойчивого объекта самостоятельно устанавливаться в равновесное состояние после изменения своей выходной величины.* В объектах с самовыравниванием ступенчатое изменение входной величины приводит к изменению выходной величины со скоростью, постепенно уменьшающейся до нуля, что связано с наличием внутренней отрицательной обратной связи. Количественно эта характеристика определяется степенью самовыравнивания, под которой понимают отношения изменения входной величины к изменению выходной величины по достижении объектом равновесного состояния.

Чем больше степень самовыравнивания, тем меньше отклонения выходной величины от первоначального положения.

Емкость характеризует инерционность динамических объектов – степень влияния входной величины на скорость изменения выходной величины. Под емкостью понимаем такое изменение входной величины, которое приводит к изменению его выходной величины на единицу за единичный отрезок времени:

$$C = x/dy/dt$$

Чем больше емкость, тем меньше скорость изменения выходной величины объекта и наоборот.

Запаздывание объекта выражается в том, что его выходная величина начинает изменяться не сразу после нанесения возмущения, а только через некоторый промежуток времени, называемый *временем запаздывания*.

Все реальные объекты обладают запаздыванием, так как изменение потоков вещества или тепла распространяется в объектах с конечной скоростью и требуется время для прохождения сигнала от места нанесения возмущения до места, где фиксируется изменение выходной величины. Обозначив это расстояние через L , а скорость прохождения сигнала через S , выразим время запаздывания следующим образом:

$$t=L/S$$

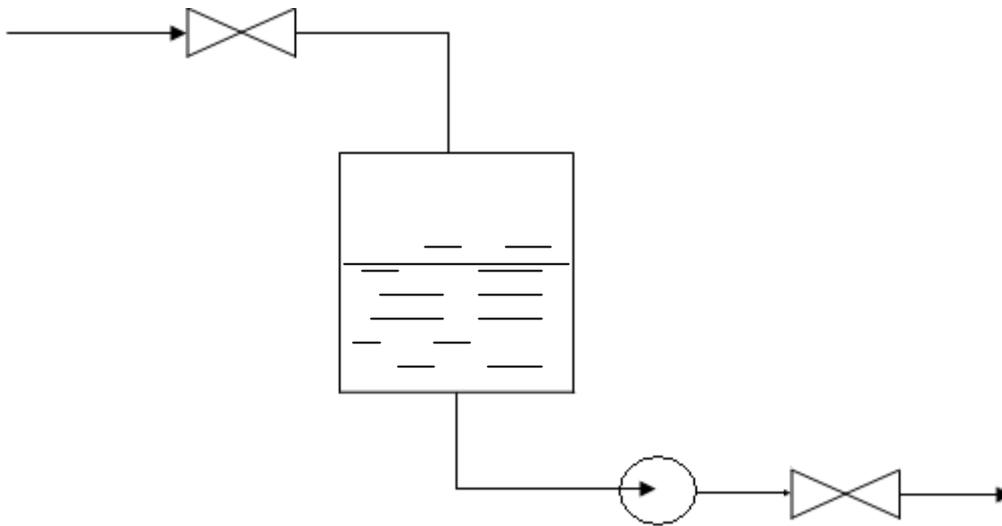
2- вопрос. Виды объектов

По способности восстанавливать равновесное состояние при конечном изменении входных величин можно подразделять объекты на *нейтральные, устойчивые и неустойчивые*.

Объекты 1-го порядка широко распространены в химической и пищевой промышленности. К ним относятся сборники жидкости, бункеры для сыпучих материалов, газовые аккумуляторы, жидкостные смесители, теплообменники смещения и т.п. Во всех этих аппаратах количество вещества или тепла заключено в одном резервуаре. Такие объекты обладают способностью аккумулировать (накапливать) проходящие через них вещество или тепло в переходном режиме. Это выражается в том, что рассогласование потоков на входе и выходе при изменении, например, нагрузки вызывает изменение количества вещества или тепла в объекте, а следовательно, и выходной величины объекта. При этом скорость изменения выходной величины объекта зависит от аккумулирующей способности или инерционных свойств объекта.

Нейтральные объекты 1-го порядка. В этих объектах входные величины влияют на выходные, а выходные не влияют на входные величины, т.е. внутренняя обратная связь отсутствует.

В качестве примера такого объекта рассмотрим резервуар, из которого насосом откачивается жидкость, причем производительность $F_{\text{расход}}$ постоянна.



Для нахождения зависимости уровня жидкости в аппарате L от входных величин $F_{\text{прих}}$ и $F_{\text{расх}}$ (в $\text{м}^3/\text{с}$) составим уравнение материального баланса аппарата:

$$F_{\text{пр}} dt = dV + F_{\text{р}} dt$$

Где V - объем жидкости в аппарате, м^3 ; t – время, с. Отсюда скорость изменения объема жидкости в аппарате:

$$dV/dt = F_{\text{приток}} - F_{\text{расход}}$$

Скорость изменения уровня жидкости L , если площадь горизонтального сечения аппарата A (в м^2) неизменна по высоте

$$dL/dt = 1/A (F_{\text{приток}} - F_{\text{расход}})$$

Скорость изменения уровня в резервуаре пропорциональна разности потоков жидкости на входе и выходе. Уровень жидкости принимает постоянные значения во времени (скорость $dL/dt = 0$) только при отсутствии рассогласования потоков $F_{пр}$ и F_p .

При расчетах систем автоматизации уравнение динамики объекта представляют в относительных величинах. Предполагая, что $F_{пр}$ является возмущением, а $F_{расход}$ – регулирующим воздействием, имеем

$$Y = L/L_0 \quad x = F_{расх} / F_0 \quad z = F_{пр} / F_0$$

Уравнение динамики:

$$AL_0 / F_0 * dy / dt = z - x$$

Отношение AL_0 / F_0 имеет размерность времени, называется временем разгона объекта и обозначается через T_e . Под этим термином понимаем время, в течение которого выходная величина объекта y , изменяясь с постоянной скоростью, достигает значения входной величины z . Время разгона T_e прямо пропорционально емкости объекта и характеризует его инерционные свойства. Уравнение динамики нейтрального объекта первого порядка в общем виде

$$T_e * dy / dt = z - x$$

Передаточная функция нейтрального объекта первого порядка:

$$W_{(p)} = 1 / T_e p$$

В динамическом отношении такой объект представляет собой интегрирующее звено.

Устойчивые объекты 1-го порядка. Если жидкость из резервуара не откачивать насосом, а отводить самотеком по трубопроводу, на котором имеется дополнительное гидравлическое сопротивление, например, вентиль, то при рассогласовании потоков на входе и выходе регулируемая величина (уровень) будет самостоятельно устанавливаться в новом равновесном состоянии.

При увеличении притока жидкости $F_{\text{пр}}$ на некоторую величину уровень L в аппарате в первый момент времени начнет изменяться. Но при повышении уровня возрастает гидростатический напор, что в свою очередь увеличит расход жидкости из аппарата $F_{\text{расход}}$.

С увеличением $F_{\text{расход}}$ величина возмущения $F = F_{\text{приток}} - F_{\text{расход}}$ и скорость изменения уровня уменьшается. Со временем расход жидкости постепенно достигнет текущего значения притока, повышение ее уровня, прекратится и наступит новое равновесное состояние объекта, но при высоком значении уровня. Аналогичным образом при ступенчатом уменьшении $F_{\text{приток}}$ уровень L начнет понижаться, что обусловит уменьшение расхода $F_{\text{расход}}$, вследствие уменьшения гидростатического напора. Со временем между расходом и притоком жидкости восстанавливается равенство, но при более низком уровне. Устойчивость объектов объясняется наличием в них отрицательной обратной связи.

Уравнение динамики устойчивого объекта первого порядка имеет вид

$$T_0 * dy / dt + y = k z$$

Устойчивые объекты 1-го порядка представляют собой апериодическое звено первого порядка, коэффициент усиления k которого равен величине, обратной коэффициенту усиления обратной связи, а постоянная времени T_0 – отношению времени разгона интегрирующего звена к коэффициенту усиления обратной связи.

Неустойчивые объекты. Если при нарушении равенства притока и расхода вещества через объект скорость изменения технологической величины постепенно увеличивается, то такой объект неустойчив. Химический реактор идеального перемешивания, в котором протекает экзотермическая реакция является примером неустойчивого объекта. Если тепло реакции будет превышать тепло, отводимое системой охлаждения, то температура в реакторе начнет повышаться, при этом возрастет степень

превращения реагентов, что в свою очередь приведет к дальнейшему повышению температуры в реакторе, скорость изменения которой будет расти. Такое поведение реактора в переходном режиме объясняется наличием в нем внутренних положительных обратных связей.

Объекты с запаздыванием. Большинство объектов химической и пищевой технологии обладают запаздыванием. Запаздывание достигает довольно больших значений (несколько десятков минут) в объектах, где протекают тепло- и массообменные процессы, и невелико (всего несколько секунд) в объектах, выходные величины которых представляют собой расход или давление жидкостей или газов. Примером такого объекта является ленточный питатель сыпучего материала. Запаздывание ленточного транспортера определяется отношением длины ленты к скорости ее движения.

3- вопрос. Методы определения свойств объектов.

Свойства объектов определяются аналитическим, экспериментальным и экспериментально-аналитическими методами.

Аналитический метод заключается в составлении математического описания объекта, при котором находят уравнения статики и динамики на основе теоретического анализа процессов, протекающих в объекте и с учетом конструкции аппарата и характеристик перерабатываемых веществ.

Этот метод применяют при проектировании новых технологических объектов, физико-химические процессы которых достаточно хорошо изучены.

Экспериментальный метод состоит в определении характеристик реального объекта путем постановки на нем специального эксперимента. Метод достаточно прост, обладает малой трудоемкостью, позволяет достаточно точно определить свойства конкретного объекта.

Экспериментально-аналитический метод заключается в составлении уравнений путем анализа явлений, происходящих в объекте, при этом численные значения коэффициентов полученных уравнений определяются экспериментально на реальном объекте.

Заключение

Правильный учет свойств объектов позволяет создавать АСР, имеющие значительно более высокие показатели качества переходного процесса.

Недооценка свойств объектов может привести к тому, что даже сложные схемы регулирования не смогут обеспечить требуемого качества переходного процесса.

Контрольные вопросы:

1. От каких факторов зависит вид переходного процесса в объекте?
2. Что характеризует устойчивость объекта?
3. Что являются основными свойствами объекта?
4. В каких объектах отсутствует внутренняя обратная связь?

Тестовые задания:

1. Самовыравнивание объекта характеризует его _____
2. Емкость характеризует _____ динамических систем – степень влияния входной величины на скорость изменения выходной
3. _____ объекта выражается в том, что его выходная величина начинает изменяться не сразу после нанесения возмущения, а только через некоторый промежуток времени
4. В _____ объектах входные величины влияют на выходные, а выходные не влияют на входные величины
5. Если при нарушении равенства притока и расхода вещества через объект скорость изменения технологической величины постепенно увеличивается, то такой объект является _____
6. Свойства объектов можно определить аналитическим _____ и _____ методами

Рекомендуемая литература:

1. Полоцкий Л.М., Лапшенков Г.И. Автоматизация химических производств. Теория, расчет и проектирование систем автоматизации.- М.:Химия, 1982, 296 с.
2. Широков Л.А. и др. Автоматизация производственных процессов и АСУТП в пищевой промышленности. М.:Агропромиздат, 1986, - 311с.
3. Кафаров В.В., Макаров В.В. Гибкие автоматизированные производственные системы в химической промышленности.- М.: Химия, 1990.

Название лекции: *Автоматические системы регулирования*

План:

1. Назначение автоматических систем регулирования
2. Способы регулирования в автоматических системах регулирования
3. Устойчивость автоматических систем регулирования

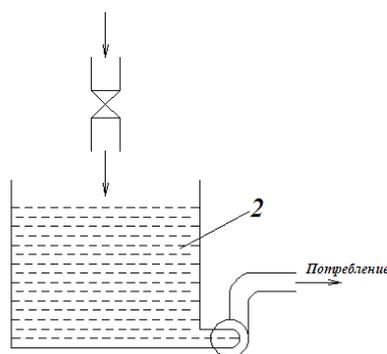
1-вопрос. Назначение автоматических систем регулирования

В технологических процессах действие возмущений приводит к отклонению фактического технологического режима от заданного (оптимального). Для компенсации возмущающих воздействий предназначаются **автоматические системы регулирования (АСР)** технологических параметров.

Назначение АСР – устранить отклонение регулируемого параметра от задания, т.е. рассогласование, вызываемое возмущениями.

Наиболее распространенным одномерным одноконтурным замкнутым является АСР, предназначенный для регулирования (поддержания на постоянном заданном значении) одного технологического параметра, реагирующие на ее отклонение от заданного значения и имеющий один замкнутый контур.

В качестве примера рассмотрим процесс регулирования уровня в емкости при произвольно изменяющемся потреблении жидкости (рис.).



Стабилизировать уровень на заданном значении можно изменением притока в зависимости от отклонения уровня от заданного значения. Пусть вначале уровень в емкости постоянный и равен заданному. Случайное уменьшение потребления вызовет отклонение уровня выше заданного. Тогда прикрываем клапан на притоке. При отклонении уровня ниже заданного значения клапан, наоборот приоткрываем.

Этот процесс регулирования состоит из пяти составляющих: во – первых, получение информации о заданном значении уровня (это значение нам заранее известно); во – вторых, получение информации о фактическом уровне (т.е. измерение уровня); в- третьих, определение величины и знака отклонения уровня от заданного; в-четвертых, установление требуемого изменения притока в зависимости от величины и знака отклонения; в-пятых, изменение притока открытием или закрытием клапана. В этом примере процесс управления был неавтоматическим, в нем принимал участие человек. В АСР процесс управления осуществляется автоматически. В АСР процесс управления осуществляется автоматически. Так, регулировать уровень в емкости автоматически можно, например, с помощью АСР, показанной на рис. ниже.

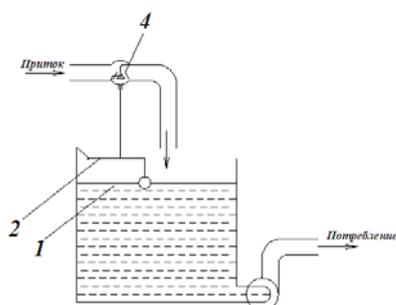


Рис. Автоматическое регулирование уровня в емкости.

1-поплавок; 2 – рычаг; 3 – рычаг; 4 – клапан.

Поплавок 1 в этой системе перемещается вместе с уровнем, а клапан 4 изменяет расход на притоке. Поплавок связан с клапаном через поворотный рычаг 2 и прикрепленный к нему шток.

В такой АСР любое отклонение уровня от заданного, вызванное колебаниями потребления, приведет к перемещению поплавка и связанного с ним клапан. При отклонении уровня выше заданного клапан будет прикрываться, а при отклонении ниже заданного, наоборот приоткрывается. В этой системе все указанные составляющие процесса регулирования выполняются автоматически: при отклонении уровня от заданного значения поплавок отклоняет рычаг, а перемещение штока изменяет степень открытия клапана и приводит к требуемому изменению потока.

В АСР процесс управления выполняют технические устройства. Устройство, для получения информации называется измерительным прибором. Устройство, которое определяет отклонение измеренного значения от заданного, называется **сумматором**. Сумматор производит алгебраическое суммирование – вычитание измеренного параметра от заданного. Устройство, вырабатывающее необходимое воздействие на объект – **регулятором**. Для передачи этого воздействия на объект служит **регулирующий орган**. Обычно для перемещения регулирующего органа

применяется **исполнительный механизм**. Все эти устройства, а также объект управления являются **элементами АСР**. В промышленных системах некоторые из перечисленных устройств бывают конструктивно совмещены, например, сумматор может быть частью регулятора, а исполнительный механизм объединен с регулирующим органом.

Элементы АСР связаны между собой таким образом, что воздействует друг на друга: измерительное устройство воздействует через сумматор на регулятор, регулятор – на регулирующий орган, регулирующий орган – на объект регулирования. Эти воздействия передаются от одного элемента к другому посредством **сигналов**.

Физическая природа сигналов может быть различной: электрической, пневматической, механической.

Передача воздействия от одного элемента к другому всегда происходит в одном направлении: от предыдущего к последующему. Общим свойством сигналов является их направленность. Каждый элемент АСР имеет свои **входные** и **выходные сигналы**. Выходной сигнал элемента является его реакцией на входной сигнал и он зависит от входного сигнала. Например, для регулирующего органа АСР уровня в емкости входной сигнал - степень открытия клапана, в выходной – расход жидкости через него. Для самой емкости с жидкостью как объекта регулирования входными сигналами являются расходы на притоке и потреблении, выходной сигнал – уровень жидкости в емкости.

Состояние объекта в любой момент времени характеризуется его выходными сигналами. Управлять объектом – значить управлять его выходными сигналами, в частности стабилизировать их. Стабилизированные сигналы объекта называются регулируемыми параметрами. В пищевой и химической технологии типичными регулируемыми параметрами являются уровень, температура, расход, давление, концентрация, плотность.

2-вопрос. Способы регулирования в АСР

Процесс регулирования в АСР может осуществляться двумя способами или их комбинацией. Рассмотрим первый способ. Если бы можно было управляющим воздействием скомпенсировать все возмущения, действующие на объект, то его регулируемый параметр вообще не отклонялся бы от задания, т.е. не было бы рассогласования. Эта идея компенсации возмущений на входе объекта лежит на основе способа *регулирования по возмущению*. АСР, реализующая данный способ называется *АСР по возмущению*.

В АСР по возмущению регулирующий параметр изменяется в зависимости от возмущения таким образом, что регулирующее воздействие компенсирует возмущающее воздействие на объект. Таким способом, например, можно стабилизировать уровень в емкости. Для этого расход жидкости на притоке необходимо поддерживать равным расходу на

потреблении. Тогда возмущающее воздействие колебаний потребления будет устраняться и уровень не измениться.

В промышленности АСР по возмущению обычно не применяется, так как в таких АСР нет контроля за рассогласованием и поэтому оно может бесконтрольно увеличиваться под воздействием неучтенных возмущений. Например, отклонение уровня в емкости от заданного значения с течением времени может увеличиться вследствие неточного измерения расхода, испарения жидкости с поверхности и т.п.

Второй способ регулирования заключается в том, что регулируемый параметр объекта изменяют в зависимости от отклонения регулируемого параметра от задания. Регулирующий параметр при этом способе зависит только от рассогласования. Зависимость выбирается такая, чтобы при любом рассогласовании, вызванном возмущающим воздействием, регулирующее воздействие всегда стремилось уменьшить рассогласование. Этот способ называется *регулированием по отклонению*.

Сигналы в АСР по отклонению проходят по замкнутому контуру: от сумматора С через регулятор Р, исполнительный механизм ИМ и регулирующий орган РО на вход объекта – в прямом направлении, а с выхода объекта через измерительное устройство И – в обратном. Такая связь объекта с регулятором называется *обратной*. Регулирование по отклонению осуществляется по обратной связи, АСР с обратной связью является *замкнутой*.

Одновременное применение способов регулирования АСР по отклонению и по возмущению называется *комбинированной АСР*. Она отличается от АСР по отклонению тем, что в регулятор кроме сигнала рассогласования вводится измеренное значение возмущения.

В комбинированной АСР основные возмущения компенсируются регулирующим воздействием на входе объекта. Рассогласование же возникает под действием оставшихся, не основных возмущений, а также ошибок измерения и неточной компенсации основных возмущений. В комбинированной АСР рассогласование будет меньше, чем в АСР по отклонению. Поэтому комбинированные АСР обеспечивают большую точность регулирования, но зато они более сложны.

Контрольные вопросы

1. Что характеризует устойчивость объекта?
2. Возможно ли управлять современными производственными процессами без широкого внедрения методов и средств автоматизации и управления?

3. Что такое автоматическое устройство?

4. Какие преимущества у современных устройств автоматике?

Рекомендуемая литература

2. Полоцкий Л.М., Лапшенков Г.И. Автоматизация химических производств. Теория, расчет и проектирование систем автоматизации. -М.: Химия, 1982. -296 с.

3. Петров И.К. Технологические измерения и приборы в пищевой промышленности. – М.: Агропромиздат, 1995.

Лекция 12

Простейшие способы переработки информации по управлению. Законы регулирования.

План:

12.1 Закон регулирования

12.2 Автоматические регуляторы

12.3 Классификация регуляторов

- **Позиционные регуляторы**
- **Интегральные регуляторы**
- **Пропорциональные регуляторы**
- **Пропорционально-интегральные регуляторы**
- **Дифференциальные регуляторы**

Закон регулирования

12.2 Автоматические регуляторы

Всякая САР состоит из двух взаимодействующих между собой частей: *объекта регулирования и регулятора.*

Автоматические регуляторы (АР) представляют собой большую группу автоматических управляющих устройств, которые вырабатывают регулирующее воздействие в САР, если регулируемая величина отклонится от заданного значения.

Регуляторы в основном состоят из элементов, выполняющих определенные функции как, измерительного элемента (датчик) 1, устройство сравнения 2, задающего устройства 3, управляющего устройства 4, исполнительного механизма 5 и регулирующего органа 6 (рис.12.1).

Датчик производит непрерывное измерение текущего значения регулируемой величины $Y_{\text{вых}}$ в объект управления (ОУ), который испытывает возмущающие воздействия f и преобразует эту величину в сигнал y_1 (например, электрический или пневматический).

Задающее устройство выдает сигнал y_0 , соответствующий заданному значению регулируемой величины. Устройство сравнения сравнивает сигналы от датчика и задатчика и в случае их различия (если заданное значение регулируемой величины в данный момент не равно текущему) выдает сигнал рассогласования (разбаланс) \square на управляющее устройство.

Управляющее устройство преобразует, а в случае необходимости усиливает этот сигнал, и с помощью исполнительного механизма и регулирующего органа осуществляет управляющее воздействие \square на объект управления, изменяя входную величину ($X_{\text{зад}}$) так, чтобы выходная величина $Y_{\text{вых}}$ приняла первоначальное значения.

Рис. 12.1 Структурная схема регулятора.

1-датчик; 2-устройства сравнения; 3-задатчик; 4- управляющее устройство; 5- исполнительный механизм; 6-регулирующий орган.

Все элементы регулятора (кроме задающего устройства) образуют замкнутую цепь воздействий, в которой соблюдается принцип детектирования (сигнал от выхода к входу проходит в одном направлении).

12.3 Классификация регуляторов

Автоматические регуляторы классифицируются по разным признакам. Например:

- по виду регулируемого параметра: регуляторы давления, расход, уровня, температуры и так далее;
- по роду действия: регуляторы прерывистые и не прерывистые;
- по способу действия: регуляторы косвенного и прямого действия.

Эти виды классификации регуляторов не являются определяющими, так как не характеризуют их свойства. Основной признак, по которому классифицируются регуляторы независимо от принадлежности к одной из перечисленных выше групп, является характеристика действия, то есть зависимость между изменением регулируемой величины и перемещением регулирующего органа.

По характеристике действия регуляторы подразделяются на следующие:

- позиционные (Пз) регуляторы;
- интегральные (И) регуляторы;
- пропорциональные (П) регуляторы;
- пропорционально-интегральные (ПИ) регуляторы;
- дифференциальные (Д) регуляторы (пропорционально-дифференциальные (ПД), пропорционально-интегрально-дифференциальные (ПИД) регуляторы).

Входной величиной регулятора является сигнал, пропорциональный разности между заданным и текущим значениями управляемой (регулируемой) величиной; выходной – положение регулирующего органа.

Позиционные регуляторы

Автоматические регуляторы (АР), у которых регулирующий орган может занимать ограниченное число определенных положений, называются **позиционным**. Позиционные (Пз) регуляторы относятся к группе регуляторов прерывистого действия. Чаще всего применяется двух- или трехпозиционные регуляторы.

У двухпозиционных регуляторов, в зависимости от знака отклонения управляемой величины, регулирующий орган либо полностью открыт, либо полностью закрыт. У двухпозиционных регуляторов, кроме двух крайних, регулирующий орган имеет еще одно (среднее) положение, что способствует более плавному изменению управляемой величины и сокращению числа срабатываний регулирующего органа в единицу времени.

Принцип действия Пз регулятора следующий. Например, в объекте управления – бак 1 по трубе 2 подается жидкость, а по трубе 10 она расходуется потребителем (рис.12.2а).

Чувствительный элемент регулятора – поплавок 6 измеряет уровень в баке; текущее значение уровня определяется положением штока 5 и жестко с ним соединенного рычага – контакта 7, который через пружину 11 соединен с источником питания напряжением U . Заданные значения верхнего и нижнего уровней, определяются положением передвижных упоров – контактов 8 и 9, устанавливаемых вручную.

При подъеме уровня выше заданного контакта 7 замкнется с контактом 8 и под напряжением окажется обмотка **Б** тягового электромагнита, благодаря чему сердечник 4 мгновенно переместится вверх, что приведет к закрытию регулирующего органа 3 (клапана). При понижении уровня ниже

заданного контакт 7 замкнется с контактом 9, под напряжением окажется обмотка А тягового электромагнита, якорь 4 переместится вниз, что приведет к открытию регулирующего органа. Приведенная схема является примером двухпозиционного регулирования.

Интегральные регуляторы

Автоматические регуляторы, у которых одному и тому же значению регулируемой величины могут соответствовать различные положения регулирующего органа, называется **интегральными**, или **астатическими** (*astatos* – неустойчивый, беспокойный).

Скорость перемещения регулирующего органа этих регуляторов, тем больше, чем больше отклонение регулируемой величины от заданного значения.

Рассмотрим принцип работы регулятора на примере принципиальной схемы гидравлического И- регулятора косвенного действия (рис.12.3). При изменении давления **p** в трубопроводе изменяется давление на сильфон 1, дно которого перемещается, что ведет к повороту рычага ABC относительно точки A и перемещению поршней золотника 2 вверх или вниз. Когда **p** больше заданного, тогда дно сильфона переместится вниз, рычаг ABC повернется по часовой стрелке, поршни золотника отпустятся также вниз и масло под давлением начнет поступать из камеры **e** цилиндра золотникового устройства в полость **m** цилиндра исполнительного механизма 7. Поршень исполнительного механизма (ИМ), связанный штоком с регулирующим органом (шибер) 6, начнет перемещаться вверх, увеличивая степень открытия шибера; это поведет к снижению давления **p**. В результате снижения давления сильфон 1 разжимается, возвращая рычаг ABC в исходном положении, поршни золотника перекрывают доступ масла в цилиндр ИМ, регулирующее действие прекращается.

Во время перемещения поршня ИМ вверх масло из полости **n** цилиндра вытесняется по трубке через камеру **d** цилиндра золотникового устройства и срабатывается на слив 5. Слившееся масло очищается и вновь подается в камеру **e** специальной насосной установкой.

Рис. 12.3 Принципиальная схема И–регулятора косвенного действия:

- 1-сильфон; 2-золотник; 3-подача масла под давлением;
- 4,9-вентили; 5-слив масла; 6-регулирующий орган;
- 7-испольнительный механизм; 8-задатчик.

Если предположить, что давление **p** стало ниже заданного, то дно сильфона 1 переместится вверх, рычаг ABC повернется против часовой стрелки, переместив поршни золотника вверх, и масло через полость **e** будет поступать в полость **n** цилиндра ИМ. Это поведет к закрытию шибера и

увеличению давления p . При этом масло из полости цилиндра ИМ через полость f цилиндра золотникового устройства поступает на слив.

Заданное значение регулируемой величины устанавливается с помощью задатчика 8. Когда усилия, развиваемые сильфоном и пружиной задатчика, равны рычаг АВС находится в нейтральном положении и масло из камеры e не поступает в цилиндр ИМ.

В И- регуляторах отсутствует обратная связь, они просты по устройству. Важнейшей их особенностью является то, что независимо от величины нагрузки регулируемого объекта они приводят регулируемую величину к заданному значению. И- регуляторы имеют некоторые недостатки, обусловленными их динамическими свойствами. Малое отклонение регулируемой величины от заданного значения, И- регулятор продолжает перемещать регулирующий орган вплоть до положения полного открытия или закрытия. Перемена направления движения РО наступает лишь тогда, когда регулируемая величина проходит заданное значение.

Закон регулирования предусматривает воздействие регулятора со скоростью, пропорционально отклонению регулируемой величины, и описывается уравнением

Здесь S_0 – специально рассчитываемый настроечный параметр регулятора. Знак минус означает, что при положительном отклонении регулируемой величины РО перемещается в сторону закрытия, а при отрицательном отклонении (уменьшения против заданного значения) – в сторону открытия.

Уравнение регулятора в интегральной форме:

Передаточная функция регулятора имеет вид

На рис 12.4,а показана статическая характеристика И-регулятора. Когда регулируемая величина y ниже заданного значения, регулирующий орган \square находится в крайнем нижнем положении. Как только регулируемая величина достигнет заданного значения, РО начнет перемещаться в сторону открытия и может остановиться в любой точке вертикального отрезка характеристик.

Начиная с момента t_0 , когда регулируемая величина y скачкообразно изменилась, РО перемещается с постоянной скоростью, изменяя приток (рис.12.4, б).

Рис. 12.4 Характеристики И – регулятора:
а- статическая; б- кривая разгона; в- переходный процесс.

В результате действия регулятора регулируемая величина y приходит к заданному значению через некоторое время t_p называемое **временем регулирования**; причем переходный процесс является колебательным, затухающим (рис.12.4, в).

И– регулятор применяется только в системах самовыравниванием, в противном случае система будет неустойчивой.

Рис. 12.5 Принципиальная схема (а) и динамическая характеристика (б) И– регулятора прямого действия:

1-трубопровод; 2-груз; 3-рычаг; 4-мембрана; 5-шток; 6-регулирующий орган; 7-корпус; 8-импульсная линия; 9-вентиль.

На рис.12.5,а показано схема И- регулятора прямого действия. На трубопроводе 1 с помощью фланцевых и болтовых соединений укреплен корпус регулятор 7. Если регулируемая величина – давления p после регулятора – будет изменяться, изменение давления через импульсную линию 8 и вентиль 9 будет передаваться на мембрану 4 ИМ, связанную с РО 6 с помощью штока 5. В точке m имеется шарнир, соединяющий шток с рычагом 3, на котором укреплен груз 2, являющийся задающим устройством. Регулируемое давление p зависит от притока среды, т.е. от степени открытия РО 6. Когда p равно заданному значению, усилия, развиваемые мембраной 4 и грузом 2, равны, и шток 5 неподвижен. При увеличении или уменьшении давления по сравнению с заданным шток и РО 6 будет перемещаться соответственно вниз или вверх. Скорость перемещения пропорциональна отклонению фактической величины регулируемого давления от заданной.

Как видно из графика (рис 12.5,б) при изменении нагрузки x объекта в момент t_0 начинает изменяться регулируемая величина y и перемещаться регулирующий орган. Изменение перемещения регулирующего органа происходит в момент перемены знака регулируемой величины (точки t_1, t_2).

Пропорциональные регуляторы

Автоматические регуляторы, у которых отклонение регулируемой величины от заданного значения вызывает перемещение регулирующего органа на величину, пропорциональную величине этого отклонения, называются **пропорциональными**, или **статическому** (*statos* -стоящий). Каждому значению регулируемого параметра соответствует одно определенное положение регулирующего органа. Эта пропорциональная зависимость достигается за счет действия жесткой обратной связи, поэтому П- регуляторы называются также регуляторами с жесткой обратной связью. Скорость перемещения регулирующего органа таких регуляторов

пропорционально скорости изменения регулируемой величины. П-регуляторы как и интегральные, могут быть косвенного и прямого действия.

Схема П- регулятора (рис.12.6) отличается от схемы И- регулятора тем, что рычаг ABC не имеет шарнира в точке А, а с помощью штока 8 соединен с поршнем ИМ 7. Это соединение и образуют жесткую обратную связь.

В результате возмущающего воздействия, которое приводит к возрастанию давления p в трубопроводе, точка С переместится в положение C' , а точка В – в положение B' и рычаг займет положение $AB'C'$. При этом поршни золотника 2 сместятся вниз и масло начнет поступать в полость m цилиндра исполнительного механизма, перемещая поршень ИМ, а в месте с ним и регулирующей орган 6 вверх. Вместе с поршнем изменяется положение А в положение A' (вверх) переместится левый конец рычага ABC, точка B' возвратится в положение В, а поршни золотника 2 возвратятся в исходное положение, перекрыв доступ масла в исполнительный механизм. На этом процесс регулирования закончится.

Рис. 12.6 Принципиальная схема П- регулятора косвенного действия: 1-сильфон; 2-золотник; 3-вход масла под давлением; 4-вентиль; 5-слив масла; 6-регулирующий орган; 7-испольнительный механизм; 8-шток; 9-датчик.

Измерительный узел (сильфон 1) и механизм обратной связи воздействуют на РО практически одновременно. Поэтому перемещение РО надо рассматривать как результат действия измерительной системы, уменьшенный на какую-то величину обратной связью.

Быстродействие П - регулятора, чем И- регулятора, сравнительно быстро стабилизирует процесс и приводит систему в равновесное состояние.

Простейший статический регулятор представляет собой усилительное звено и описывается уравнением

Здесь S_1 –настроечный параметр (коэффициент усиления) П -регулятора.

Передаточная функция П - регулятора.

;

Рис. 12.7 Характеристики П- регулятора:
а- статические; б- кривая разгона; в- переходные процессы;
1-статическая ошибка невелика; 2-статическая ошибка несколько больше; 3-статическая ошибка большая.

Статические и динамические характеристики П- регулятора изображено в рис. 12.7. Из семейства статических характеристик (рис. 12.7,а), видно, что РО начинает перемещаться только при достижении регулируемой величиной

нижнего предела пропорциональности. Предположим, что регулируемая величина соответствует 50% шкалы регулятора, а предел пропорциональности настроен на 40% ($\square=40\%$). Регулирующий орган занимает среднее положение ($\square=50\%$ хода). Этому положению соответствует точка А на характеристике. Если теперь регулируемая величина начнет возрастать, то регулирующий орган станет перемещаться в сторону закрытия.

Кривая разгона П- регулятора (рис. 12.7,б) аналогична усилительному звену. Если в момент времени t_0 регулируемая величина y скачкообразно изменится (например, возрастет), регулирующий орган также скачкообразно переместится (\square) в сторону закрытия.

На характеристики переходных процессов в автоматической системе с П- регулятором в сильной степени влияют установленные пределы пропорциональности. С увеличением коэффициента усиления S_1 , или, что то же, с уменьшением предела пропорциональности \square переходный процесс протекает в виде медленно затухающих колебаний, а статическая ошибка $Y_{ст}$ невелика (рис. 12.7,в кривая 1). При оптимальном для данного объекта коэффициенте усиления S_1 переходный процесс быстро затухает, однако статическая ошибка $Y_{ст}$ несколько возрастает (рис. 12.7,в кривая 2). Если коэффициент усиления S_1 слишком мал (\square велик), то переходный процесс может стать аperiodическим с большой статической ошибкой (рис. 12.7,в кривая 2).

Величина статической ошибки зависит как от настройки регулятора, так и от характеристики и режима работы объекта. Настройка регулятора на необходимую величину \square (рис.12.6) производится путем изменения соотношения плеч ВС и АВ рычага АВС. Чем меньше АВ, тем больше \square

Пропорциональные регуляторы могут применяться для управления процессами, протекающими в объектах, как обладающих, так и не обладающих самовыравниванием. При этом нужно иметь в виду, что изменения нагрузки должны быть невелики, чтобы статическая ошибка оставалась в допустимых пределах.

Рис. 12.8 Принципиальная схема (а) и динамическая характеристика (б) П- регулятора прямого действия:

1-трубопровод; 2-мембрана; 3-винт; 4-пружина; 5-шток;
6-регулирующий орган; 7-импульсная линия; 8-корпус.

На рис. 12.8 показано схема П - регулятора прямого действия. В отличие от И - регулятора, у П- регулятора прямого действия усилие, развиваемое мембраной, уравнивается не грузом, а пружиной 4; чем больше отклонение давления p от заданного значения, тем сильнее прогибается мембрана, но тем плотнее сжимается пружина, противодействуя прогибу; этим и достигается пропорциональность между регулируемой величиной и перемещением РО.

При увеличении нагрузки Q объекта в момент времени t_0 регулируемая величина Y возрастает, но, благодаря перемещению регулирующего органа в сторону закрытия, через некоторое время t_p она стабилизируется (рис. 12.8,б). Однако в силу статической ошибки ее величина будет отличаться от заданного значения на $Y_{уст.}$

Пропорционально-интегральные регуляторы

Сравнение П- регуляторов и И- регуляторов показывает, что первые обладают преимуществом по динамическим свойствам и обеспечивают лучший переходный процесс регулирования; преимущество вторых – отсутствие статической ошибки, т.е. лучшие статические свойства.

ПИ – регулятор совмещает оба П и И- регуляторы. Таким образом, аналогично И- регулятору изодромный (от греческого *isos* - равный, подобный; *dromos* - бегущий) регулятор поддерживает постоянное значение регулируемой величины вне зависимости от нагрузки объектов, а при отклонении ее от заданного значения в начальный момент времени переместит регулирующий орган на величину, пропорциональную величине отклонения (как П- регулятор), затем продолжит перемещение регулирующего органа до исчезновения статической ошибки, т.е. приведет регулируемую величину к заданному значению.

ПИ-регулятора является регулятором косвенного действия. Принципиальная схема ПИ-регулятора гидравлического типа приведена на рис. 12.9.

В первоначальный период регулятор работает как пропорциональный. С увеличением регулируемой величины (давление p) поршень исполнительного механизма 7 и регулирующий орган 6 начнут перемещаться вверх. Поршень ИМ 7 соединением с точкой А рычага АВС не жестко (как у П регулятора), а через устройства изодрома, который состоит из цилиндра 9, заполненного маслом, поршня 8, жестко соединенного штоком с поршнем 7, игольчатого вентиля 12, установленного на линии перелива масла из полостей g и h и пружины 10, противодействующей перемещению точки А.

При сравнительно быстром перемещении поршня ИМ 7 цилиндр 9 и поршень 8 также перемещаются вверх, как одно целое, т.к. проходное сечение дросселя 12 невелико и масло не успевает перетечь из полости g в полость h . Точка А рычага АВС перемещается вверх, пружина 10 сжимается, а поршни золотникового устройства возвращается в исходное положение, прекращая подачу масла в цилиндр ИМ. Регулятор сработал как пропорциональный, но его действие на этом не закончилось. Сила пружины 10, приложенная к цилиндру 9 в точке А, заставит последний перемещаться вниз относительно неподвижного поршня 8; при этом масло из полости g начнет перетекать, через вентиль 12 в полость h . Точка А начнет опускаться вниз, точка В также опустится вниз и это приведет к дополнительному срабатыванию ИМ, т.е. к дополнительному перемещению РО вверх.

Действие регулятора прекратится, когда пружина 10 израсходует всю свою энергию, т.е. при достижении регулируемой величиной заданного значения. Естественно, что быстродействие изодромной составляющей регулятора будет зависеть от степени открытия вентиля 12.

Рис. 12.9 Принципиальная схема ПИ-регулятора косвенного действия:
1-сильфон; 2-золотник; 3-вход масла под давлением; 4-вентиль;
5-слив масла; 6-регулирующий орган; 7-исполнительный механизм;
8-поршень; 9-цилиндр; 10-пружина; 11-задатчик; 12-
игольчатый вентиль.

ПИ - регуляторы могут применять в тех случаях, когда необходима высокая точность регулирования, для объектов любой емкости как при наличии, так и при отсутствии самовыравнивания, при больших, но плавных изменениях нагрузки.

ПИ – регулятор действует быстрее, чем И- регуляторы, но медленнее, чем П- регуляторы.

Уравнение ПИ – регулятора имеет вид:

Передаточная функция ПИ-регулятора имеет вид: .

Рис. 12.10 Характеристики ПИ-регулятора:

а- статическая; б- кривая разгона; в- кривые переходных процессов;
г-кривые вынужденные переходных процессов для ПИ- и И - регуляторов: 1-
5 точки, характеризующие положение регулирующего органа; 6-10
– кривые переходных процессов.

Статическая характеристика ПИ-регулятора показана на рис. 12.10. Пусть регулятор настроен так, что при изменении регулируемой величины y , составляющей от 20 до 80% шкалы, регулирующий орган перемещается из одного крайнего положения в другое ($\square=60\%$), и пусть система находится в начале в равновесном состоянии при $Y=50\%$ и $\square=50\%$ (точки 1 и 2). Предположим, что регулируемая величина скачкообразно возросла до 60% шкалы (точка 3). Тогда вследствие воздействия пропорциональной составляющей регулятора положение регулирующего органа быстро изменится и достигнет примерно 68% своего хода (точка 4). Затем начнет медленно действовать узел изодрома, который возвратит регулируемую величину к заданному значению (точка 5); действие регулятора прекратится при новом положении регулирующего органа (точка 5'), соответствующего примерно 73% хода. Поскольку в процессе работы регулятора предел пропорциональности не меняется, можно сделать вывод, что изодром как бы перемещает статическую характеристику параллельно самой себе (пунктирная линия).

Как видно из кривой разгона ПИ- регулятора (рис. 12.10,б), при скачкообразном возмущающем воздействии (резкое уменьшение регулируемой величины) в момент t_0 регулирующий орган быстро перемещается на величину $\square\square$ под действием пропорциональной составляющей. Затем он будет продолжать перемещаться в том же направлении с постоянной скоростью (линии АВ) под действием изодромной составляющей. Если в схеме регулятора (см. рис. 12.9) дроссель изодрома 12 закрыт (T_i), то регулятор работает как пропорциональный и его характеристикой является пунктирная линия АС на рис. 12.10,б. Чем больше открыт дроссель изодрома, т.е. чем меньше время изодрома T_i , тем больше скорость перемещения регулирующего органа, т.е. тем круче линия АВ.

На рис 12.10,в изображены кривые вынужденных переходных процессов при различной настройке коэффициента усиления S_1 и времени T_i регулятора. Кривая 6 соответствует переходному процессу при слишком большом S_1 или при слишком малом T_i . Время переходного процесса велико, колебания затухают медленно. Кривая 7 представляет оптимальной переходный процесс. Кривая 8 соответствует процессу при слишком малом коэффициенте усиления или слишком большом времени изодрома. Процесс аperiodический, протекает медленно, регулируемая величина медленно возвращается к заданному значению.

Дифференциальные регуляторы

Дифференциальные регуляторы бывают двух видов ПД-пропорционально-дифференциальные и ПИД-пропорционально-интегрально-дифференциальные.

Такие регуляторы целесообразно применять в тех случаях, когда нагрузка объектов регулирования изменяется часто и быстро, а запаздывания велики. Уравнение ПИД- регулятора имеет вид: .

Здесь S_2 – параметр настройки регулятора, учитывающий скорость изменения регулируемой величины по времени.

Передаточная функция ПИД- регулятора имеет вид: .

Дифференциальные регуляторы называются *регуляторами с предварением*. Сущность предварения (без учета запаздывания) заключается в следующем.

Пусть регулируемый параметр y изменяется по экспоненте 1 (рис. 12.11,а). Первая производная от параметра (кривая 2) представляет собой тангенс угла наклона к касательной к соответствующей точке экспоненты 1 и имеет максимальное значение в начальный момент, когда параметр только начинает изменяться, а в момент t_1 , когда изменение прекращается, равно нулю.

Рис. 12.11. Характеристики регулятора с предварением:
а- переходный процесс (1) и его производная (2);
б, в- варианты перемещения регулирующего органа;
I-для П регулятора; II-для Д регулятора.

Эффект предварения можно определить так. Если регулируемая величина y (рис.12.11,б) изменит свое значение на величину A , то выходной сигнал регулятора \square подаваемый на регулирующий орган, будет иметь характер, соответствующий сплошной кривой. Для сравнения пунктиром показано действие П- регулятора. В процессе регулирования в регуляторах с предварением происходит как бы изменение пределов пропорциональности. Причем вначале это отклонение резкое, а затем оно приходит к настроечному значению.

При непрерывном изменении регулируемой величины y , начиная с момента времени t_0 (рис.12.11,в), регулирующий орган П- регулятора будет перемещаться согласно пунктирной прямой I, а у Д-регулятора– согласно сплошной линии II. Регулятор как бы предваряет ожидаемое отклонение параметра. Время предварения $t_{\text{п}}$ определяет относительную величину дополнительного сигнала по производной (оно связано с настроечным параметром) и настраивается обычно в пределах от 0,1 до 1 мин.

Действие регулятора с предварением рассматривается на примере регулирования температуры в объекте управления, где в качестве теплоносителя используется горячий газ (рис. 12.12,а).

Рис. 12.12 Принципиальная схема регулятора с предварением (а) и график переходных процессов ПИ и ПИД регуляторов(б): ОР-объект регулирования; 1-3 – термопара; r - реостат задатчика; ЭУ- усилитель; РД- реверсивный двигатель; РО- регулирующий орган.

Устройство, осуществляющее действие с предварением, состоит из трех термопар 1, 2, 3, которые являются чувствительным элементом регулятора. Термопары 1 и 2 включены последовательно (их термо-ЭДС складываются), а термопара 3 включена встречно (ее термо-ЭДС вычитается из суммы двух первых). Масса горячего спая термопары 3 значительно больше массы спаев каждой из первых двух. В состоянии теплового равновесия все три спая имеют одинаковую температуру и развивают равную ТЭДС. Общая ТЭДС такой батареи будет равна ТЭДС одной из термопар 1 или 2.

Если регулируемая температура t в объекте управления начнет изменяться с определенной скоростью, то ТЭДС первых двух термопар с одинаковой скоростью будут отражать эти изменения, а изменение ТЭДС термопары 3 будет отставать от первой и второй тем больше, чем больше различие масс горячих спаев термопар 1 и 2, с одной стороны, и термопары 3 – с другой, а также, чем больше скорость изменения температуры.

Таким образом, термопара 1 вырабатывает сигнал, пропорциональный самой регулируемой величине (температуре t), а термопары 2 и 3 – сигнал, пропорциональный скорости ее изменения (\dot{t}).

Результирующая ТЭДС всех трех термопар u сравнивается с падением напряжения u_0 на сопротивлении r задатчика, которое пропорционально заданному значению регулируемой величины. Термобатарея из трех термопар и источник питания u_3 задатчика включены встречно. При нарушении температурного режима в объекте на вход электронного усилителя ЭУ поступает сигнал $\Delta u = u_0 - u$, причем в первый момент величина сигнала значительна и реверсивный двигатель РД интенсивно перемещает РО, резко изменяя подачу теплоносителя, а затем, когда сигнал Δu достигнув максимума, начнет уменьшаться, реверсивный двигатель начнет плавно перемещать РО в другую сторону, уменьшая подачу теплоносителя и приводя параметр к заданному значению.

На рис. 12.12,б показан график переходных процессов для ПИ и ПИД законов регулирования.

Контрольные вопросы:

Тестовые вопросы:

1. Как законы регулирования правильно написаны?

- а) П
- б) П; И; Д; ПИ; ПД; ПИД
- в) П; И; Д; ПИ; ИД; ПД; ПИД
- г) П; И.
- д) ПИ; ПД; ПИД

2. Позиционные регуляторы чаще всего бывают:

- а) 2-х и 3-х позиционное
- б) 4- и 5- позиционное
- в) 6- и 8- позиционное
- г) нет правильного ответа
- д) безпозиционное

3. Пропорциональный закон регулирования можно записать уравнением:

а/ $\mu = \frac{1}{T_u} \int \Delta y dt$

б/ $\mu = T_d \frac{dy}{d\tau}$

с/ $\mu = K \Delta y$

д/ $\mu = K \Delta y + \frac{1}{T_u} \int \Delta y dt$

$$e/ \mu = K \Delta y + \frac{dy}{d\tau} + \frac{1}{T_u} \int \Delta y d\tau$$

4. Интегральный закон регулирования можно записать уравнением:

$$a/ \mu = \frac{1}{T_u} \int \Delta y d\tau$$

$$б/ \mu = T_d \frac{dy}{d\tau}$$

$$c/ \mu = K \Delta y$$

$$d/ \mu = K \Delta y + \frac{1}{T_u} \int \Delta y d\tau$$

$$e/ \mu = K \Delta y + \frac{dy}{d\tau} + \frac{1}{T_u} \int \Delta y d\tau$$

5. Пропорционально-интегральный закон регулирования можно записать уравнением:

$$a/ \mu = \frac{1}{T_u} \int \Delta y d\tau$$

$$б/ \mu = T_d \frac{dy}{d\tau}$$

$$c/ \mu = K \Delta y$$

$$d/ \mu = K \Delta y + \frac{1}{T_u} \int \Delta y d\tau$$

$$e/ \mu = K \Delta y + \frac{dy}{d\tau} + \frac{1}{T_u} \int \Delta y d\tau$$

6. Пропорционально-интегрально-дифференциальный закон регулирования можно записать уравнением:

$$a/ \mu = \frac{1}{T_u} \int \Delta y d\tau$$

$$б/ \mu = T_d \frac{dy}{d\tau}$$

$$c/ \mu = K \Delta y$$

$$d/ \mu = K \Delta y + \frac{1}{T_u} \int \Delta y d\tau$$

$$e/ \mu = K \Delta y + \frac{dy}{d\tau} + \frac{1}{T_u} \int \Delta y d\tau$$

Лекция 13

Технические средства автоматического регулирования.

13.1 Автоматические регуляторы

13.2 Принципы автоматического регулирования

13.1 Автоматические регуляторы.

Всякая САР состоит из двух взаимодействующих между собой частей: *объекта регулирования и регулятора.*

Автоматические регуляторы (АР) представляют собой большую группу автоматических управляющих устройств, которые вырабатывают регулирующее воздействие в САР, если регулируемая величина отклонится от заданного значения.

Регуляторы в основном состоят из элементов, выполняющих определенные функции как, измерительного элемента (датчик) 1, устройство сравнения 2, задающего устройства 3, управляющего устройства 4, исполнительного механизма 5 и регулирующего органа 6 (рис.12.1).

Датчик производит непрерывное измерение текущего значения регулируемой величины $Y_{\text{вых}}$ в объект управления (ОУ), который испытывает возмущающие воздействия f и преобразует эту величину в сигнал u_1 (например, электрический или пневматический).

Задающее устройство выдает сигнал u_0 , соответствующий заданному значению регулируемой величины. Устройство сравнения сравнивает сигналы от датчика и задатчика и в случае их различия (если заданное значение регулируемой величины в данный момент не равно текущему) выдает сигнал рассогласования (разбаланс) \square на управляющее устройство.

Управляющее устройство преобразует, а в случае необходимости усиливает этот сигнал, и с помощью исполнительного механизма и регулирующего органа осуществляет управляющее воздействие \square на объект управления, изменяя входную величину ($X_{\text{зад}}$) так, чтобы выходная величина $Y_{\text{вых}}$ приняла первоначальное значения.

Рис. 12.1 Структурная схема регулятора.

1-датчик; 2-устройства сравнения; 3-задатчик; 4- управляющее устройство; 5- исполнительный механизм; 6-регулирующий орган.

Все элементы регулятора (кроме задающего устройства) образуют замкнутую цепь воздействий, в которой соблюдается принцип детек-

тирования (сигнал от выхода к входу проходит в одном направлении).

13.2 Принципы автоматического регулирования

По принципу управления САУ можно разбить на три группы:

1. С регулированием по внешнему воздействию — принцип Понселе (применяется в незамкнутых САУ).
2. С регулированием по отклонению — принцип Ползунова-Уатта (применяется в замкнутых САУ).
3. С комбинированным регулированием. В этом случае САУ содержит замкнутый и разомкнутый контуры регулирования.

Принцип управления по внешнему возмущению

В структуре обязательны датчики возмущения. Система описывается передаточной функцией разомкнутой системы.

Достоинства:

- Можно добиться полной инвариантности к определенным возмущениям.
- Не возникает проблема устойчивости системы, т.к. нет ОС.

Недостатки:

- Большое количество возмущений требует соответствующего количества компенсационных каналов.
- Изменения параметров регулируемого объекта приводят к появлению ошибок в управлении.
- Можно применять только к тем объектам, чьи характеристики четко известны.

Принцип управления по отклонению

Система описывается передаточной функцией разомкнутой системы и уравнением замыкания: $x(t) = g(t) - y(t) W_{oc}(p)$. Алгоритм работы системы заключен в стремлении свести ошибку $x(t)$ к нулю.

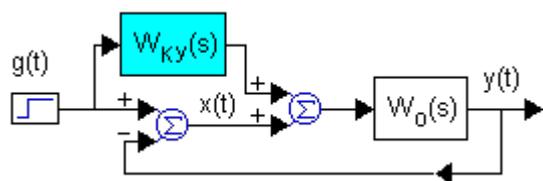
Достоинства:

- ООС приводит к уменьшению ошибки не зависимо от факторов ее вызвавших (изменений параметров регулируемого объекта или внешних условий).

Недостатки:

- В системах с ОС возникает проблема устойчивости.
- В системах принципиально невозможно добиться абсолютной инвариантности к возмущениям. Стремление добиться частичной инвариантности (не 1-ыми ОС) приводит к усложнению системы и ухудшению устойчивости.

Комбинированное управление



Комбинированное управление заключено в сочетании двух принципов управления по отклонению и внешнему возмущению. Т.е. сигнал управления на объект формируется

двумя каналами. Первый канал чувствителен к отклонению регулируемой величины от задания. Второй формирует управляющее воздействие непосредственно из задающего или возмущающего сигнала.

Достоинства:

- Наличие ООС делает систему менее чувствительной к изменению параметров регулируемого объекта.
- Добавление канала(ов), чувствительного к заданию или к возмущению, не влияет на устойчивость контура ОС.

Недостатки:

- Каналы, чувствительные к заданию или к возмущению, обычно содержат дифференцирующие звенья. Их практическая реализация затруднена.
- Не все объекты допускают форсирование.

Контрольные вопросы:

1. Принципы автоматического регулирования
2. Достоинства и недостатки комбинированного регулирования
3. Принципы регулирования по возмущению

Тестовые вопросы:

1. Если время задержки информации $T_{им} = 1$ с, $T_{об} = 100$ с, $T_{д} = 1$ с, T соединительных линий $= 2$ с; то за основу принимается математическая модель

- а) исполнительного механизма

- б) соединительных линий
- в) объекта управления
- г) датчика
- д) управляющего

2. Если время задержки информации $T_{им} = 1000$ с, $T_{об} = 1$ с, $T_{д} = 1$ с, $T_{соединительных\ линий} = 2$ с; то за основу принимается математическая модель

- а) исполнительного механизма
- б) соединительных линий
- в) объекта управления
- г) датчика
- д) управляющего

3. Если время задержки информации $T_{им} = 1$ с, $T_{об} = 1$ с, $T_{д} = 100$ с, $T_{соединительных\ линий} = 2$ с; то за основу принимается математическая модель

- а) исполнительного механизма
- б) соединительных линий
- в) объекта управления
- г) датчика
- д) управляющего

4. Если время задержки информации $T_{им} = 100$ с, $T_{об} = 1$ с, $T_{д} = 100$ с, $T_{соединительных\ линий} = 2$ с; то за основу принимается математическая модель

- а) исполнительного механизма и датчика
- б) соединительных линий
- в) объекта управления и датчика
- г) датчика
- д) управляющего

5. Если время задержки информации $T_{им} = 1$ с, $T_{об} = 1$ с, $T_{д} = 1$ с, $T_{соединительных\ линий} = 200$ с; то за основу принимается математическая модель

- а) исполнительного механизма
- б) соединительных линий
- в) объекта управления
- г) датчика
- д) управляющего

6. Если время задержки информации $T_{им} = 1$ с, $T_{об} = 100$ с, $T_{д} = 1$ с, $T_{соединительных\ линий} = 2$ с; то за основу принимается математическая модель

- а) исполнительного механизма
- б) соединительных линий
- в) объекта управления

- г) датчика
- д) управляющего

7. Если время задержки информации $T_{им} = 100$ с, $T_{об} = 100$ с, $T_{д} = 1$ с, $T_{соединительных\ линий} = 2$ с; то за основу принимается математическая модель

- а) исполнительного механизма
- б) соединительных линий и исполнительного механизма
- в) объекта управления и исполнительного механизма
- г) датчика
- д) управляющего

8. Если время задержки информации $T_{им} = 1$ с, $T_{об} = 100$ с, $T_{д} = 100$ с, $T_{соединительных\ линий} = 2$ с; то за основу принимается математическая модель

- а) исполнительного механизма и датчика
- б) соединительных линий и датчика
- в) объекта управления и датчика
- г) датчика
- д) управляющего

9. Если время задержки информации $T_{им} = 100$ с, $T_{об} = 100$ с, $T_{д} = 100$ с, $T_{соединительных\ линий} = 2$ с; то за основу принимается математическая модель

- а) исполнительного механизма и датчика
- б) соединительных линий, исполнительного механизма и датчика
- в) объекта управления, исполнительного механизма и датчика
- г) датчика, исполнительного механизма
- д) управляющего

Лекция 14

Исполнительные механизмы (Регулирующие органы, электрические и пневматические исполнительные механизмы)

ПЛАН:

14.1 Назначение исполнительных механизмов

14.2 Виды исполнительных механизмов

14.1 Исполнительные механизмы

Электрические однооборотные исполнительные механизмы предназначены для перемещения регулирующих органов в системах автоматического регулирования технологическими процессами.

Исполнительные механизмы позволяют:

- автоматическое, дистанционное или ручное управление рабочим органом;
- автоматический или дистанционный останов рабочего органа в любом промежуточном положении;
- позиционирование рабочего органа в любом промежуточном положении;
- формирование информационного сигнала о конечных и промежуточных положениях рабочего органа.

Исполнительные механизмы предназначены для перемещения регулирующих органов в системах автоматического регулирования технологическими процессами в соответствии с командными сигналами автоматических регулирующих и управляющих устройств. Их наличие необходимо в любой автоматизированной деятельности.

14.2 Виды исполнительных механизмов

- **Механические**
- **Гидравлические**
- **Пневматические (мембранные)**
- **Электрические**
 - ✓ **Соленоидные клапана**
 - ✓ **Однооборотные**
 - ✓ **Многооборотные**

Компенсаторы и компенсационные устройства

Теплообменное оборудование и подогреватели

Гидрогеологическое и измерительное оборудование

Исполнительные механизмы и приборная продукция

Тестовые вопросы: