

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего профессионального образования  
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**Методические указания по выполнению лабораторных работ  
по дисциплине**

***Современные средства автоматизации***

**студентов направлений**

**15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств**

**Всех форм обучения**

Невинномысск 2024

Лабораторный практикум предназначен для студентов всех форм обучения. В практикуме содержатся основы теории, описание опытных установок, порядок проведения лабораторных работ и обработки экспериментальных данных, перечень контрольных вопросов для самоподготовки по указанным дисциплинам и список рекомендуемой литературы.

**СОДЕРЖАНИЕ**

1. Лабораторная работа № 1. Изучение принципа управления тепловыми процессами .....	4
2. Лабораторная работа № 2. Составление заказной ведомости спецификации на выбранные средства автоматизации.....	13
3. Лабораторная работа № 3. Управление тепло-массообменными процессами.....	17
4. Лабораторная работа № 4 Изучение системы управления давлением воздуха в ресивере .....	27
5. Лабораторная работа № 5. Изучение принципа измерения и регулирования температуры. ....	41
6. Лабораторная работа № 6. Изучение системы управления уровнем жидкости в емкости .....	61

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

**ИЗУЧЕНИЕ ПРИНЦИПА УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОВЫМИ ПРОЦЕССАМИ**

**Цель и содержание:** Изучение принципов управления тепловыми процессами, выбор средств автоматизации технологических процессов и производств, ознакомление с объектом контроля, средствами автоматизации и управления процессом.

**Теоретическое обоснование**

Тепловыми называются процессы, скорость которых определяется скоростью переноса теплоты (теплообмена).

Теплообмен – самопроизвольный необратимый процесс переноса теплоты от более нагретых тел (или участков тел) к менее нагретым.

Перенос тепла от жидкого (газообразного) теплоносителя к стенке и в обратном направлении называется теплоотдачей.

Теплопередача – теплообмен между двумя теплоносителями через разделяющую их твердую стенку.

Теплоноситель – движущаяся среда (газ, пар, жидкость), используемая для переноса теплоты.

В процессах теплопередачи участвует не менее двух сред (веществ) с различными температурами. Среда с более высокой температурой, отдающая при теплообмене теплоту, называется горячим теплоносителем, среда с более низкой температурой, воспринимающая теплоту, называется холодным теплоносителем (хладагентом).

В качестве теплоносителей наибольшее распространение получили:

- насыщенный или перегретый водяной пар (глухой или острый);
- вода;
- минеральные масла;
- дымовые (топочные) газы, а также технологические (полученные в ходе реализации технологии) газы;
- расплавы солей и жидкие металлы, а в качестве хладагентов:

- аммиак;
- хладоны (фреоны);
- рассол хлорида кальция и натрия;
- воздух (в том числе увлажненный);
- жидкий азот и некоторые другие вещества.

Выбор теплоносителя или хладагента определяется их назначением, температурами процесса, стоимостью. В качестве высокотемпературных теплоносителей используют топочные газы (до 1000 °С), перегретую воду (более 300 °С); минеральные масла (250...300 °С); высококипящие органические жидкости (до 400 °С); расплавы солей; жидкие металлы.

Теплопередача между средами может происходить в установившихся (стационарных) и не установившихся (нестационарных) условиях.

При установившемся (стационарном) процессе поле температур в аппарате не изменяется во времени. При не установившемся (нестационарном) процессе температуры изменяются во времени.

Установившиеся процессы имеют место в непрерывно-действующих аппаратах; не установившиеся процессы протекают в аппаратах периодического действия, а также при пуске и остановке аппаратов непрерывного действия и изменении режима их работы.

Теплообменники (теплообменные аппараты) предназначены для проведения процессов теплообмена при нагревании или охлаждении технологической среды с целью ее обработки или утилизации теплоты.

Теплообменники характеризуются разнообразием конструкций, которое объясняется различным назначением аппаратов и условиями проведения процесса.

По назначению теплообменники подразделяют на нагреватели, в том числе испарители, и охладители, в том числе конденсаторы. В первых теплообмен не сопровождается фазовым переходом, во вторых: при нагревании жидкость переходит в пар, а при охлаждении – пар переходит в жидкость.

Кожухотрубчатые (кожухотрубные) теплообменники наиболее широко

распространены в химических производствах.

Кожухотрубчатый вертикальный одноходовой теплообменник с неподвижными трубными решетками (рисунок 1.1) состоит из цилиндрического корпуса, который с двух сторон ограничен приваренными к нему трубными решетками с закрепленными в них греющими трубами. Для ввода и вывода теплоносителей корпус и днища имеют патрубки. Один поток теплоносителя, например жидкость, направляется в трубное пространство, проходит по трубкам и выходит из теплообменника через патрубок в верхнем днище. Другой поток теплоносителя, например пар, вводится в межтрубное пространство теплообменника, омывает снаружи греющие трубы и выводится из корпуса теплообменника через патрубок.

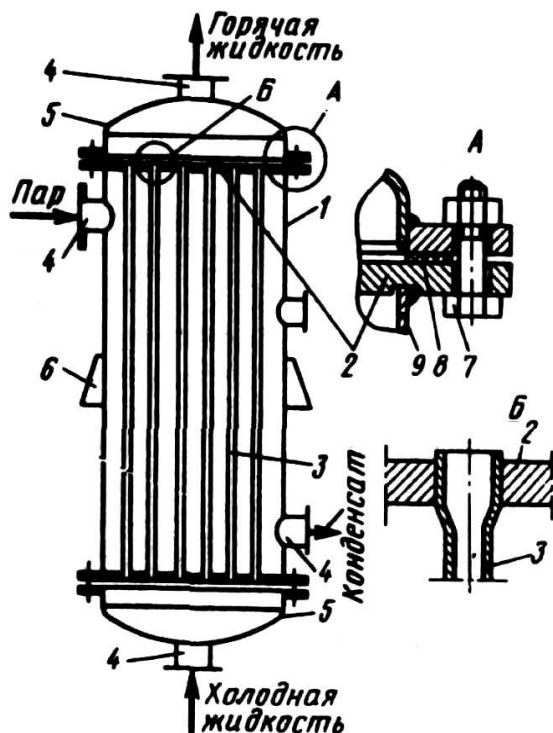


Рисунок 1.1 – Схема вертикального одно-ходового кожухотрубчатого теплообменника с неподвижными трубными решетками и размещение труб в трубной решетке: 1 – корпус; 2 – трубная решетка; 3 – греющая труба; 4 – патрубок; 5 – днища; 6 – опорная лапа; 7 – болт; 8 – прокладка; 9 – обечайка

Теплообмен между теплоносителями осуществляется через стенки труб.

Тепловые объекты регулирования обладают, как правило, значительной инерционностью и запаздыванием. Кроме того, датчики температуры, применяемые в промышленных условиях (манометрические термометры, термопары и термометры сопротивления), также обладают гораздо большей инерционностью, чем датчики расхода, давления и уровня. Особенно ухудшаются динамические ха-

рактеристики этих датчиков в случае использования защитных чехлов при контроле температуры агрессивных сред. Поэтому САР температуры обладают большой инерционностью, а переходные процессы в них отличаются большой продолжительностью. Для регулирования теплообменных процессов обычно применяют ПИ-регуляторы.

Задача управления теплообменными процессами в теплообменнике заключается в регулировании величины теплового потока, передаваемого от теплоносителя (пара) к нагреваемому веществу (метиловый спирт) через стенку трубы. Из возможных способов изменения теплового потока наибольшее распространение получил метод регулирования расхода теплоносителя в зависимости от изменения температуры выходящего из теплообменника нагреваемого потока.

Теплообменники как объекты регулирования температуры обладают большими запаздываниями, поэтому следует уделять особое внимание выбору места установки датчика и закона регулирования. Для уменьшения транспортных запаздываний датчик температуры необходимо помещать как можно ближе к теплообменнику. Для устранения запаздывания значительный эффект может дать применение регуляторов с предварением и исполнительных механизмов с позиционерами.

Использование двухконтурных САР значительно улучшает качество регулирования конечной температуры продукта, если вспомогательной регулируемой величиной выбрать параметр, изменение которого будет сильным возмущением для процесса теплообмена. Часто в качестве вспомогательного параметра выбирают расход теплоносителя.

Если для качественного управления процессом теплообмена допустимо изменение или стабилизация расхода продукта, то, в зависимости от возможных возмущающих воздействий, может быть принят такой вариант схемы регулирования, когда стабилизирующие регуляторы расхода теплоносителя и расхода продукта ликвидируют возмущения до поступления их в систему.

## **Аппаратура, оборудование и материалы**

Экспериментальная установка, представленная на рисунок 1.2, включает в себя объект управления, средства автоматизации (необходимо подобрать).

## **Методика и порядок выполнения работы**

Основные принципы управления процессами нагревания необходимо рассмотреть на примере поверхностного кожухотрубчатого теплообменника, в который подают нагреваемый продукт (таблица 1.1, варианты 1-8) и теплоноситель или охлаждаемый продукт (таблицы 1.2, 1.3 варианты 9-20) и хладагент.

По данной теме необходимо провести анализ возможных управляющих и возмущающих воздействий; определить, что является показателем эффективности процесса нагревания (охлаждения) и что является целью управления.

При анализе возмущающих воздействий следует обратить особое внимание на возмущения, которые являются неустраняемыми, обосновать все выбранные параметры контроля и управления и на их основании построить функциональную схему автоматизации (ФСА) развёрнутым способом.

Исходя из условий взрыво- и пожаробезопасности производства необходимо обосновать выбранную систему передачи сигнала на расстояние (электрическая или пневматическая).

При проработке вопросов, связанных с АСУТП, на основании рассмотренных особенностей технологического процесса должны быть сформулированы задачи управления, обоснованы цели и критерии оптимального управления технологическим процессом, даны их обоснования.

Схема теплообменного аппарата к выполнению задания приведена на рисунке 1.2.



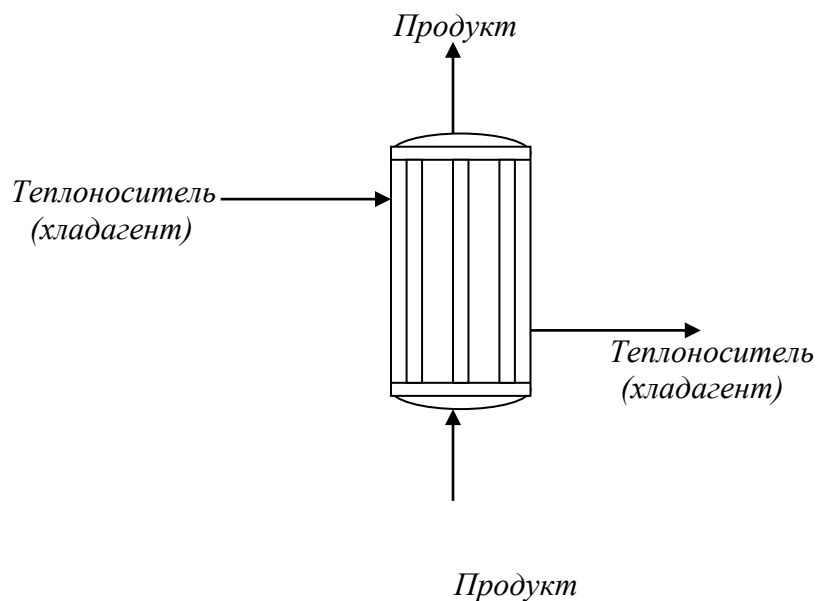


Рисунок 1.2 – Схема процесса нагрева (охлаждения).

Таблица 1.1 – Нагрев жидкости греющим паром

№ Варианта	Жидкость	Производительность, кг/ч	Температура жидкости, К		Греющий пар	
			начальная	конечная	давление, Па	степень сухости, %
1	2	3	4	5	6	7
1	Вода	15000	309	359	$40 \cdot 10^4$	0,97
2	Уксусная кислота, 100%	20000	298	383	$35 \cdot 10^4$	0,96
3	Метиловый спирт, 100%	30000	288	328	$20 \cdot 10^4$	0,97
4	Бутиловый спирт	23000	343	388	$30 \cdot 10^4$	0,95
5	Четырёххлористый углерод	10000	314	332	$16 \cdot 10^4$	0,96
6	Толуол	21000	383	430	$19 \cdot 10^4$	0,95
7	Бензол	28800	353	398	$19 \cdot 10^4$	0,98
8	Ацетон	9000	284	304	$17 \cdot 10^4$	0,95

Таблица 1.2 – Охлаждение жидкости водой

№ Варианта	Жидкость	Производительность, кг/ч	Температура жидкости, К		Температура охлаждающей воды, К	
			начальная	конечная	начальная	конечная
9	Толуол	21000	383	318	293	308
10	Бутиловый спирт	18000	390	318	295	315
11	Бензол	15000	353	318	295	310
12	Уксусная кислота, 100%	29000	391	323	294	314
13	Метиловый спирт, 100%	15000	338	293	308	289
14	Ацетон	18000	395	315	294	312
15	Четырёххлористый углерод	12000	365	321	293	310

Таблица 1.3 – Охлаждение газа водой

№ варианта	Газ	Производительность, м <sup>3</sup> /ч	Давление газа, Па	Температура газа, К		Температура воды, К	
				начальная	конечная	начальная	конечная
1	2	3	4	5	6	7	8
16	Воздух	1700	19·10 <sup>4</sup>	343	293	288	298
17	Аммиак	400	116·10 <sup>4</sup>	368	303	298	300
18	Двуокись углерода	9400	59·10 <sup>4</sup>	353	303	288	298
19	Воздух	8400	23·10 <sup>4</sup>	363	298	288	302
20	Азот	2800	25·10 <sup>4</sup>	333	293	289	303

### Содержание отчета, форма и правила оформления отчета по лабораторной работе

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Функциональная схема, ее описание.
4. Обоснование параметров контроля, сигнализации, управления.
5. Разработка схемы автоматизации.

## 6. Выводы.

Отчет может быть представлен в рукописном или на формате А4 в машинописном вариантах.

### **Вопросы для защиты работы**

1. Сформулируйте понятие возмущающего воздействия.
2. Перечислите возможные возмущающие воздействия для процесса теплообмена.
3. Обоснуйте, какие параметры необходимо контролировать?
4. Обоснуйте, изменение значений каких параметров необходимо сигнализировать?
5. Какие параметры необходимо использовать для внесения управляющих воздействий?
6. Какие функции выполняет система управления?

К защите допускается студент, выполнивший лабораторную работу в установленном объеме и оформивший отчет согласно требованиям. Защита проводится по теме лабораторной работы.

### **Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме**

Рекомендуемая литература.

Основная литература:

1. Шишмарев, В.Ю. Средства измерений: учеб.пособие/ В.Ю. Шишмарев; 3-е изд., стер. М.: Академия, 2009. 320 с.
2. Раннев, Г.Г. Методы и средства измерений: учебник/ Г.Г. Раннев: М.: Академия, 2009. 323 с.
3. Малафеев С. И., Малафеева А.А. Основы автоматизации и системы автоматического управления: учебник. – М: Академия, 2010.– Раннев, Г.Г. Методы и средства измерений: учебник/ Г.Г. Раннев: М.: Академия, 2009. 323 с.

## Дополнительная литература:

4. Бородин, И.Ф. Автоматизация технологических процессов / И.Ф. Бородин, Ю.А. Судник; М.: Колосс, 2004. 344 с.
5. Соснин, О.М. Основы автоматизации технологических процессов и производств: учеб.пособие / О.М. Сосин; М.: Академия, 2007 356 с.

## Интернет-ресурсы:

6. Николайчук, О.И. Современные средства автоматизации, практические решения: учеб.пособие / О.И. Николайчук; М.: СОЛОМОН–ПРЕСС, 2009. 256 с. – Режим доступа: [e/lanbook.com](http://e/lanbook.com).
7. Дубов, Г.М. Методы и средства измерений, испытаний и контроля: учеб.пособие / Г.М. Глухов; изд. КузГТУ, 2011. 224 с. – Режим доступа: [e/lanbook.com](http://e/lanbook.com).

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

**СОСТАВЛЕНИЕ ЗАКАЗНОЙ ВЕДОМОСТИ СПЕЦИФИКАЦИИ НА  
ВЫБРАННЫЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ**

**Цель и содержание:** Выбор средств автоматизации технологических процессов и производств, использование современных методов и средств автоматизации

**Аппаратура, оборудование и материалы**

Экспериментальная установка, представленная на рисунок 2.2 (лабораторная работа № 1), включает в себя объект управления, средства автоматизации (необходимо подобрать).

**Методика и порядок выполнения работы**

Лабораторная работа проводится по результатам лабораторной работы № 1.

На основании разработанной функциональной схемы автоматизации для управления тепловыми процессами выбранные средства автоматизации, соответствующие изображённым условным обозначениям на схеме, а также подлежащие контролю, регулированию и сигнализации параметры технологического процесса, их номинальные значения, измеряемую среду и место отбора импульса необходимо занести в спецификацию (таблица 2.1). Параметры рекомендуется заносить в таблицу в следующем порядке: температура, давление (разрежение, вакуум), расход (количество), уровень, влажность, плотность, вязкость, концентрация и т.д.

Выбранные средства автоматизации следует обосновать.

Примечания:

1. Для вариантов 1 – 10 (приведены в лабораторной работе № 1) в таблицу 2.1 занести средства автоматизации для контроля и регулирования температуры; для вариантов 11-20 – средства автоматизации для контроля расхода и давления.

2. При составлении спецификации особое внимание обратить на виды входных и выходных сигналов

Таблица 2.1

Заказная спецификация приборов и средств автоматизации						
СКФУ НТИ 40		Производство аммиака.			Лист	Листов
Позиция	Наименование параметра, среда, место отбора импульса	Предельное значение параметра	Место установки	Наименование и характеристика	Тип, модель	Завод-изготовитель
1	2	3	4	5	6	7
1-1	Температура, парогазовая смесь, выход из печи	850 <sup>0</sup> С	На трубопроводе	Термоэлектрический преобразователь, выходной сигнал 4 - 20 мА, 12Х18Н10Т, КТМС кабель, Lухal 203., предел измерения 0 - 1100°С.	ТХАУ-205	НПП Элемер, п.Менделеево

### Содержание отчета, форма и правила оформления отчета по лабораторной работе

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Заказная спецификация.
4. Обоснование выбранных средств автоматизации.

Выводы.

Отчет может быть представлен в рукописном или на формате А4 в машинописном вариантах.

### Вопросы для защиты работы

1. Перечислите контрольно-измерительную и регулирующую аппаратуру, дать ей характеристику: назначение, преобразования, диапазон измерения.

2. Обоснуйте средства автоматизации для контроля и регулирования температуры.
3. Обоснуйте средства автоматизации для контроля и регулирования давления, расхода.
4. Объясните какой метод для измерения расхода выбран и почему.
5. Из каких соображений выбраны система управления или МПК?

К защите допускается студент, выполнивший лабораторную работу в установленном объеме и оформивший отчет согласно требованиям. Защита проводится по теме лабораторной работы.

### **Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме**

Рекомендуемая литература.

Основная литература:

1. Шишмарев, В.Ю. Средства измерений: учеб.пособие/ В.Ю. Шишмарев; 3-е изд., стер. М.: Академия, 2009. 320 с.
2. Раннев, Г.Г. Методы и средства измерений: учебник/ Г.Г. Раннев: М.: Академия, 2009. 323 с.
3. Малафеев С. И., Малафеева А.А. Основы автоматизации и системы автоматического управления: учебник. – М: Академия, 2010.– Раннев, Г.Г. Методы и средства измерений: учебник/ Г.Г. Раннев: М.: Академия, 2009. 323 с.

Дополнительная литература:

4. Бородин, И.Ф. Автоматизация технологических процессов / И.Ф. Бородин, Ю.А. Судник; М.: Колосс, 2004. 344 с.
5. Соснин, О.М. Основы автоматизации технологических процессов и производств: учеб.пособие / О.М. Соснин; М.: Академия, 2007 356 с.

Интернет-ресурсы:

6. Николайчук, О.И. Современные средства автоматизации, практические решения: учеб.пособие / О.И. Николайчук; М.: СОЛОМОН–ПРЕСС, 2009. 256 с. – Режим доступа: [e/lanbook.com](http://e/lanbook.com).
7. Дубов, Г.М. Методы и средства измерений, испытаний и контроля: учеб.пособие / Г.М. Глухов; изд. КузГТУ, 2011. 224 с. – Режим доступа: [e/lanbook.com](http://e/lanbook.com).



**УПРАВЛЕНИЕ ТЕПЛО - МАССООБМЕННЫМИ ПРОЦЕССАМИ**

**Цель и содержание:** Изучение принципов управления тепло - массообменными процессами, выбор средств автоматизации технологических процессов и производств, ознакомление с объектом контроля, средствами автоматизации и управления процессом.

**Теоретическое обоснование**

Сушкой называется процесс удаления влаги из влажных материалов путем её испарения и отвода образовавшихся паров. Сушка применяется для удаления влаги из твердых, пастообразных и жидких продуктов.

Рабочий орган *барабанной сушилки* – медленно вращающийся на роликах, установленный под небольшим углом к горизонту барабан. Сушилка конвективная и используется для сушки зернистых материалов.

Внутри барабана установлены специальные лопасти, которые, вращаясь с барабаном, обеспечивают равномерное перемешивание материала и его перемещение вдоль барабана.

Сушилки бывают прямоточными или противоточными. В прямоточной сушилке (рисунок 3.1) топочные газы или горячий воздух и материал подаются в верхней части барабана, а отводятся в нижней. Отработавший воздух очищают от уноса мелких частиц в циклоне.

В *распылительных сушильных* установках (рисунок 3.2), предназначенных для конвективной сушки жидких и текучих пластичных материалов, достигают значительного увеличения поверхности испарения, распыляя их на мельчайшие капельки.

Предварительно подогретый в калорифере воздух подается сверху в корпус сушилки, где с помощью специальных устройств распыляется материал. Образовавшиеся из капель сухие частицы падают вниз под действием силы тяжести, чему в значительной мере способствует движущийся сверху вниз горячий воздух.

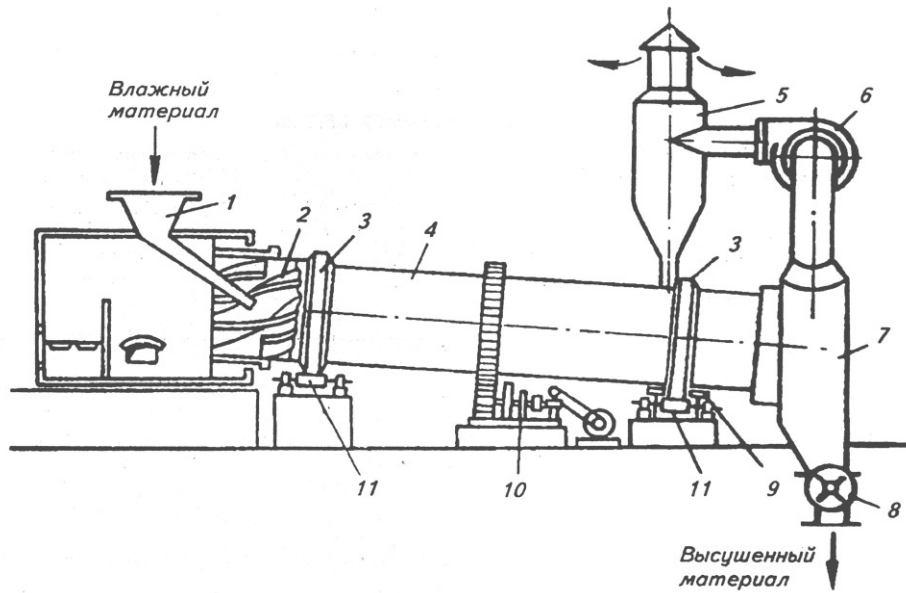


Рисунок 3.2 – Схема барабанной проточной сушилки: 1 – загрузочное устройство; 2 – перемешивающие лопасти; 3 – опорный бандаж; 4 – барабан; 5 – циклон; 6 – вентилятор; 7 – разгрузочное устройство; 8 – шлюзовый затвор; 9 – нижняя опора; 10 – зубчатая передача; 11 – опорные ролики

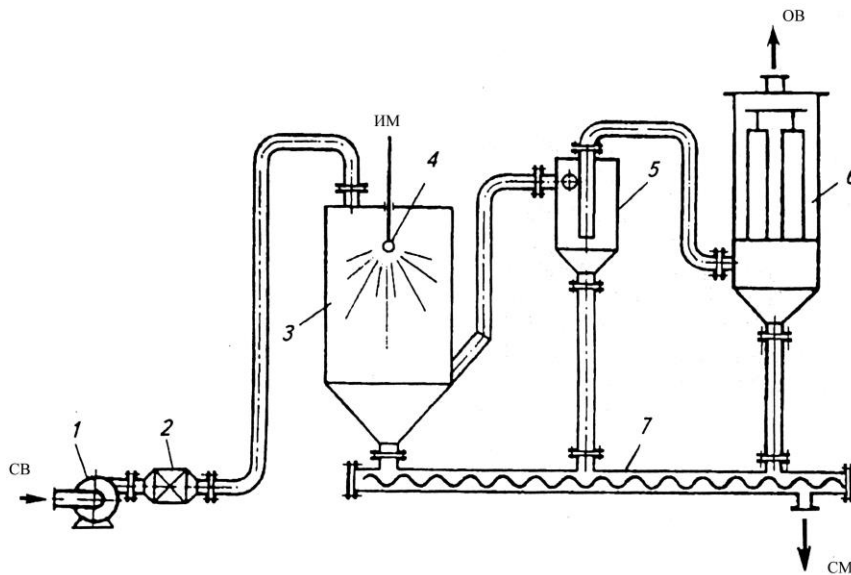


Рисунок 3.3 – Схема распылительной сушильной установки: 1 – вентилятор; 2 - калорифер; 3 – корпус; 4 – разбрызгивающее устройство; 5 – циклон; 6 – рукавный фильтр; 7 – шнековый транспортер сухого продукта

Сухой материал собирается в нижней части корпуса сушилки и затем удаляется с помощью транспортирующего шнека. Отработавший воздух выходит из нижней части сушилки и подается вначале в циклон, где отделяются бо-

лее крупные частицы, а затем переходит в рукавный фильтр для окончательной очистки.

Высокую скорость сушки обеспечивают непрерывные пневматические сушилки с кипящим (псевдооживленным) слоем (рисунок 3.4).

*Кипящий слой* образуется при продувке воздуха через слой зернистого материала со скоростью, близкой к скорости витания частиц. В этом слое частицы интенсивно перемешиваются и со всех сторон обдуваются воздухом.

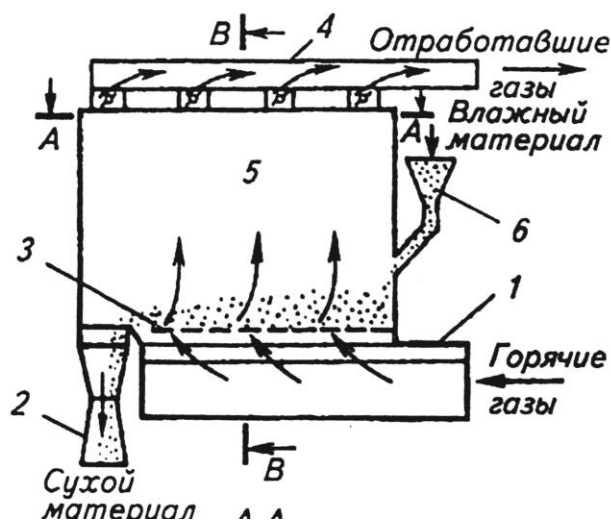


Рисунок 3.4 – Схема сушилки с псевдооживленным слоем: 1 – распределитель горячих газов; 2 – разгрузочное устройство; 3 – распределительное устройство; 4 – коллектор отработавших газов; 5 – рабочая полость сушилки; 6 – загрузочное устройство

#### *Пневматические сушилки*

В пневматических сушилках материал сушится во взвешенном состоянии. Зернистый или кристаллический материал подается через питатель (рисунок 3.5) в вертикальную трубу 6 длиной 10—20 м., в которую вентилятором 3 снизу нагнетается воздух, нагретый в подогревателе 2. Материал увлекается потоком воздуха, движущимся со скоростью —40 м/сек, и выбрасывается уже высушенным в сборник-амортизатор 8. В циклоне 5 высушенный материал отделяется от воздуха и удаляется через разгрузочное устройство 4. Воздух проходит фильтр 7 и выводится в атмосферу. Продолжительность пребывания материала в сушилке составляет всего несколько секунд; процесс протекает непрерывно.

Достоинства пневматических сушилок: 1) весьма развитая удельная поверхность соприкосновения материала и сушильного агента и, следовательно, быстрая интенсивная сушка, 2) возможность сушки материала при высоких температурах вследствие кратковременности пребывания его в сушилке, 3) простота и компактность установки.

Недостатки: 1) трудность регулирования процесса, 2) опасность взрыва при сушке горючих пылящих материалов, 3) большой расход энергии.

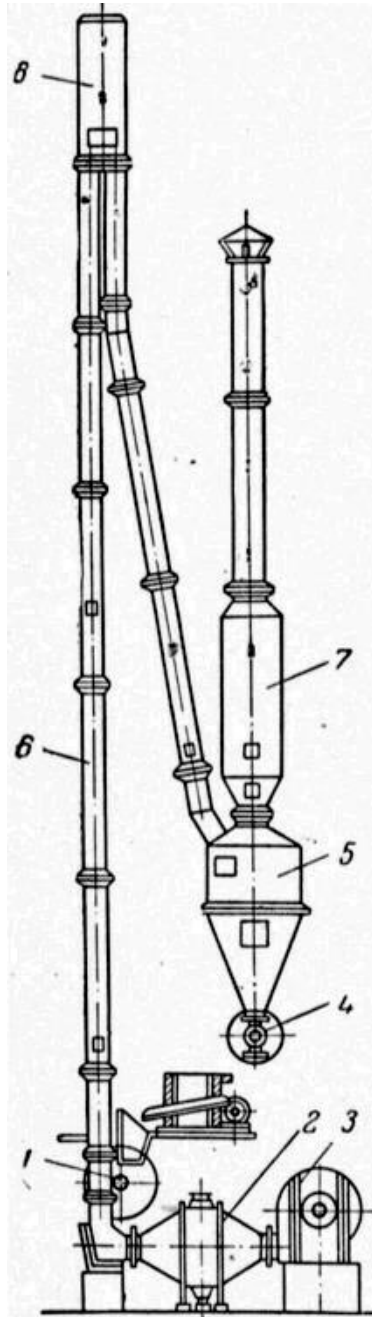


Рисунок 3.5 – Пневматическая труба-сушилка

## Аппаратура, оборудование и материалы

Экспериментальная установка, представленная на рисунок 3.1, включает в себя объект управления, средства автоматизации (необходимо подобрать).

### Методика и порядок выполнения работы

В качестве объекта управления при автоматизации процесса сушки выбрать (в зависимости от варианта) барабанную сушилку, пневматическую трубу-сушилку, сушилку с кипящим слоем, распылительную сушилку. Варианты для выполнения задания приведены в таблицах 3.1, 3.2, 3.3, 3.4. Схема барабанной сушилки приведена на рисунке 3.1.

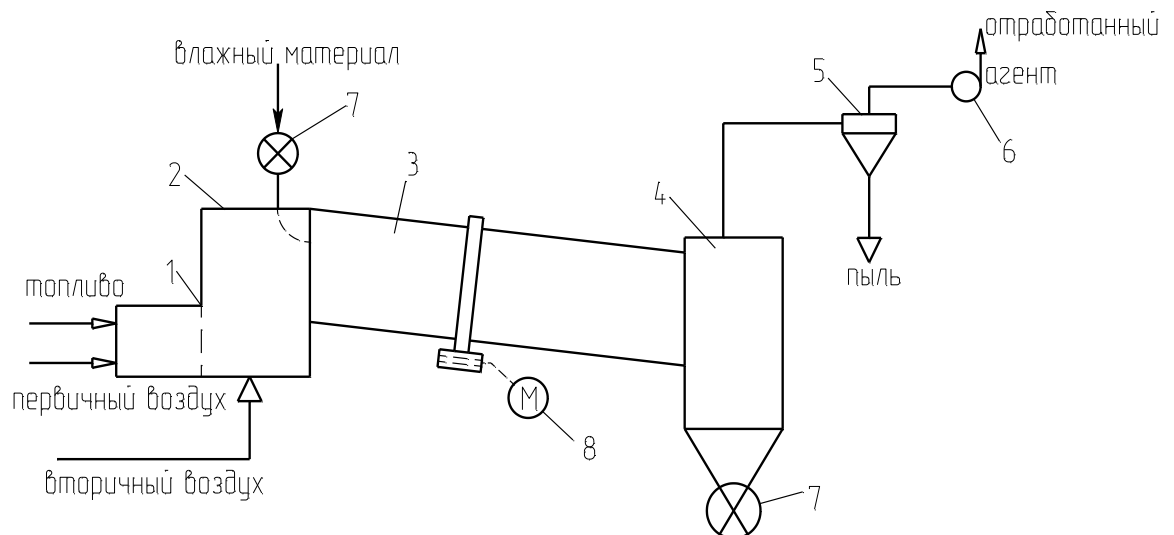


Рисунок 3.1 – Схема сушильной установки:

1 – топка; 2 – смесительная камера; 3 – барабан; 4 – бункер; 5 – циклон; 6 – вентилятор; 7 – автоматический дозатор; 8 – электродвигатель барабана.

При выполнении задания необходимо выбрать и обосновать параметры контроля и управления, выполнить ФСА в соответствии с рекомендациями, приведёнными в лабораторной работе № 1. Обосновать выбранную систему передачи сигнала на расстояние (электрическая или пневматическая).

При автоматизации распылительной сушилки необходимо учесть, что дисперсность распыла в струйных сушилках определяется, в основном, соотношением расходов сушильного агента и суспензии.

При выборе температуры сушильного агента (для всех видов сушилок) необходимо учесть температуру спекания материала.

На основании разработанной функциональной схемы автоматизации для управления тепло-массообменными процессами выбранные средства автоматизации, соответствующие изображённым условным обозначениям на схеме, а также подлежащие контролю, регулированию и сигнализации параметры технологического процесса, их номинальные значения, измеряемую среду и место отбора импульса необходимо занести в спецификацию, приведенную в таблице 2.1 (лабораторная работа № 2).

Таблица 3.1 – Основные параметры сушки материалов в сушилках кипящего слоя

№ варианта	Высушиваемый материал	G, кг/с	Начальная влажность, $\omega_1$ , %	Конечная влажность, $\omega_2$ , %	Температура сушильного агента, °C	
					на входе	на выходе
1	2	3	4	5	6	7
1	Каменный уголь	28	12	20	800-1000	80-120
2	Хлористый калий	21	8	0,48	670-720	160
3	Хлористый калий	15	9	0,2	670-720	160
4	Хлористый натрий	1,3	3	0,03	400-500	100-110
5	Доломит	12,5	2	0,02	400	100-120
6	Известняк	35	3	0,04	800-1000	80-120
7	Сульфат аммония	2,2	4	0,2	110-130	55-65
8	Сульфат аммония	5,6	2	0,2	110-130	55-65
9	Песок	2,2	9	0,5	800-1000	100-120
10	Активированный уголь	0,06	28	0,02	170	130

Таблица 3.2 – Основные параметры сушки материалов в пневматических трубках – сушилках

№ варианта	Высушиваемый материал	G, кг/с	Начальная влажность, $\omega_1$ , %	Конечная влажность, $\omega_2$ , %	Температура сушильного агента, °C	
					на входе	на выходе
1	2	3	4	5	6	7
11	Хлористый	24	5,5	0,6	600-	120-150

	натрий				750	
12	Хлористый калий	6,9	10	0,5	750-8000	110-120
13	Каменный уголь	34	16	6	700-1000	80-110
14	Песок	2,2	9	0,5	800-1000	120
15	Глина	4	18	0,7	300-350	100-120
16	Сульфат аммония	2,2	3	0,1	180	80
17	Известняк	2	4	0,05	800-1000	110
18	Доломит	4,2	3	0,04	350-400	100-120
19	Бура	0,06	40	0,5	90	50
20	Салициловая кислота	0,11	14,5	0,9	90	50

Таблица 3.3 – Основные параметры сушки материалов в распылительных сушилках

№ варианта	Высушиваемый материал	G, кг/с	Начальная влажность, $\omega_1$ , %	Конечная влажность, $\omega_2$ , %	Температура сушильного агента, °C	
					на входе	на выходе
21	Сульфат натрия	0,83	72	2	120	72
22	Хлористый калий	0,4	70	10	150-160	73-78
23	Хлористый натрий	0,75	80	0,5	150-160	73-78
24	Керамическая суспензия	1,3	45	8	500-750	100-150
25	Двойной суперфосфат	3,4	40	3	500-550	120-130
26	Каолин	0,08	83	4	200	60
27	Аммофос	2,3	50	1	600-650	110-115
28	Керамическая суспензия	1,4	42	7	500-750	100-150
29	Триполифосфат калия	0,42	50	5	400-700	100-200

Таблица 3.4 – Основные параметры сушки материалов в барабанных сушилках

№ варианта	Высушиваемый материал	G, кг/с	Начальная влажность, $\omega_1$ , %	Конечная влажность, $\omega_2$ , %	Температура сушильного агента, °C	
					на входе	на выходе
1	2	3	4	5	6	7

30	Гранулированный суперфосфат	7	15	3	550-650	120
31	Двойной суперфосфат	7	16	2,8	500-600	120
32	Каменный уголь	23	18	7	800-1000	70-90
33	Апатитовый концентрат	37	13	1	1000	110
34	Фосфоритная мука	8,5	15	1,8	600-860	130-170
35	Доломит	6	4	0,05	400	110-120
36	Марганцевая руда	0,17	15	2	120	60
37	Флотационный калчедан	10	10	2,9	750-800	100-110
38	Аммиачная селитра	1,4	2,5	0,5	100-200	80

Сушильный агент:

в вариантах 7,8,10,16,19,20,21-23,26,36,38 – воздух, нагретый в калорифере;

в остальных случаях – смесь дымовых газов с воздухом.

### **Содержание отчета, форма и правила оформления отчета по лабораторной работе**

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Функциональная схема, ее описание.
4. Обоснование параметров контроля, сигнализации, управления.
5. Разработка схемы автоматизации.
6. Выводы.

Отчет может быть представлен в рукописном или на формате А4 в машинописном вариантах.



### Вопросы для защиты работы

1. Охарактеризуйте возмущающего воздействия, оказывающие влияние на объект управления.
2. Перечислите возможные возмущающие воздействия для процесса теплообмена.
3. Обоснуйте, изменение значений каких параметров необходимо сигнализировать?
4. Какие параметры необходимо использовать для внесения управляющих воздействий?
5. Какие функции выполняет система управления?

К защите допускается студент, выполнивший лабораторную работу в установленном объеме и оформивший отчет согласно требованиям. Защита проводится по теме лабораторной работы.

### Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме

Рекомендуемая литература.

Основная литература:

6. Шишмарев, В.Ю. Средства измерений: учеб.пособие/ В.Ю. Шишмарев; 3-е изд., стер. М.: Академия, 2009. 320 с.
7. Раннев, Г.Г. Методы и средства измерений: учебник/ Г.Г. Раннев: М.: Академия, 2009. 323 с.
8. Малафеев С. И., Малафеева А.А. Основы автоматизации и системы автоматического управления: учебник. – М: Академия, 2010.– Раннев, Г.Г. Методы и средства измерений: учебник/ Г.Г. Раннев: М.: Академия, 2009. 323 с.

Дополнительная литература:

9. Бородин, И.Ф. Автоматизация технологических процессов / И.Ф. Бородин, Ю.А. Судник; М.: Колосс, 2004. 344 с.

10. Соснин, О.М. Основы автоматизации технологических процессов и производств: учеб.пособие / О.М. Сосин; М.: Академия, 2007 356 с.

Интернет-ресурсы:

11. Николайчук, О.И. Современные средства автоматизации, практические решения: учеб.пособие / О.И. Николайчук; М.: СОЛОМОН–ПРЕСС, 2009. 256 с. – Режим доступа: [e/lanbook.com](http://e/lanbook.com).

12. Дубов, Г.М. Методы и средства измерений, испытаний и контроля: учеб.пособие / Г.М. Глухов; изд. КузГТУ, 2011. 224 с. – Режим доступа: [e/lanbook.com](http://e/lanbook.com).

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

**ИЗУЧЕНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДАВЛЕНИЕМ ВОЗДУХА В  
РЕСИВЕРЕ.**

**Цель и содержание:** Практическое изучение методов автоматического измерения и регулирования давления воздуха в ресивере, ознакомление с объектом управления, приборами контроля и регулирования, средствами воздействия на процесс.

**Теоретическое обоснование**

Отношение силы, равномерно распределенной по площади и нормальной к этой площади, характеризуется давлением.

Классификация приборов для измерения давления

По роду измеряемой величины приборы для измерения давления делятся на:

манометры — приборы для измерения абсолютного и избыточного давления;

вакуумметры — приборы для измерения вакуума;

мановакуумметры — приборы для измерения избыточного давления и вакуума;

дифференциальные манометры — приборы для измерения разности двух давлений, ни одно из которых не является давлением окружающей среды;

барометры — приборы для измерения атмосферного воздуха;

напоромеры (микроманометры) — приборы для измерения малых избыточных давлений;

тягомеры (микроманометры) — приборы для измерения малых разрежений;

тягонапоромеры (микроманометры) — приборы для измерения малых давлений и разрежений.

По принципу действия приборы для измерения давления подразделяются на следующие:

*жидкостные*, основанные на уравнивании измеряемого давления давлением соответствующего столба жидкости;

*деформационные*, измеряющие давление по величине деформации различных упругих элементов или по развиваемой силе;

*грузопоршневые*, в которых измеряемое давление уравнивается внешней силой, действующей на поршень;

*электрические*, основанные или на преобразовании давления в одну из электрических величин, или на измерении электрических свойств материала под действием давления.

*Жидкостные манометры*. В этих приборах измеряемое давление или разрежение уравнивается гидростатическим давлением столба рабочей жидкости, в качестве которой применяются ртуть, вода, спирт и др. Существует несколько конструктивно различных жидкостных приборов: двухтрубный U – образный манометр, однострубный чашечный манометр и манометр с наклонной трубкой. Они используются для измерения давления при поверочных, наладочных и научно-исследовательских работах. Разновидностями жидкостных приборов являются поплавковый и колокольный манометры, позволяющие регистрировать и передавать показания на расстояние.

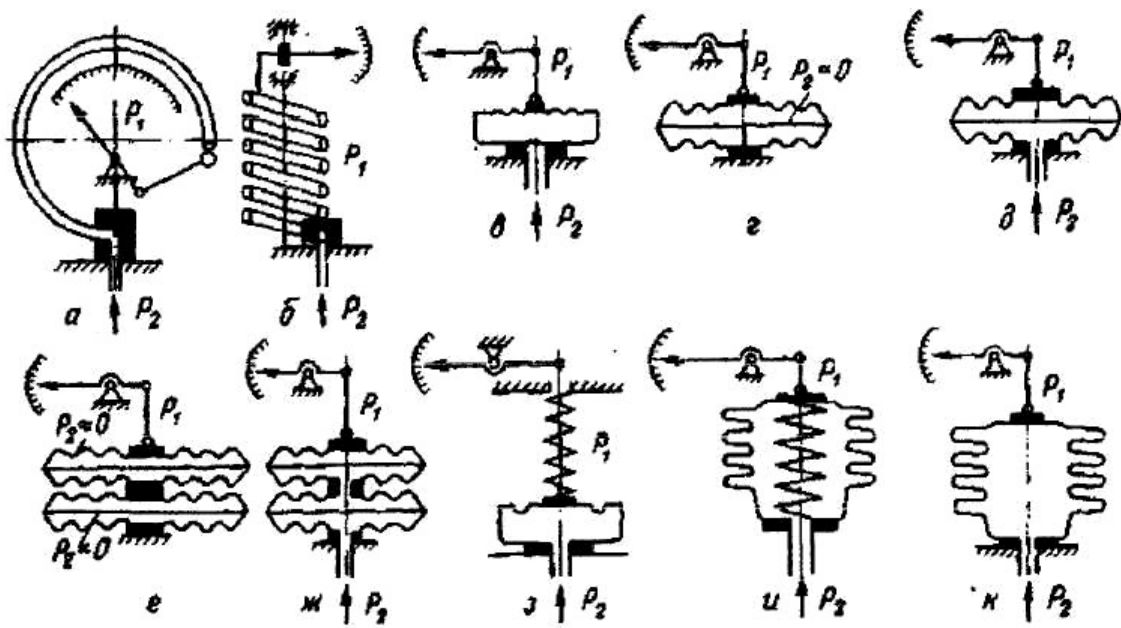
*Деформационные манометры* (рисунок 4.1 а-к). В этих приборах измеряемое давление или разрежение уравнивается силами упругого противодействия различных чувствительных элементов (трубчатой пружины, мембраны, сильфона и т. п.), деформация которых, пропорциональна измеряемому параметру, посредством рычагов передается на стрелку или перо прибора. При снятии давления чувствительный элемент возвращается в первоначальное положение вследствие упругой деформации. Благодаря простоте и надежности конструкции, наглядности показаний, малым габаритам, высокой точности и широким пределам измерения деформационные манометры нашли широкое применение для измерения и регистрации давления и разрежения.

Применяют мембраны двух видов — вялые (неупругие) и упругие. Упругие гофрированные мембраны изготавливают из латуни, бериллиевой бронзы и не-

ржавеющей стали. Величина деформации мембраны под действием давления зависли от ее толщины, диаметра, числа гофр и их высоты и т. д. Упругие мембраны применяют в дифманометрах, тяго- и напоромерах.

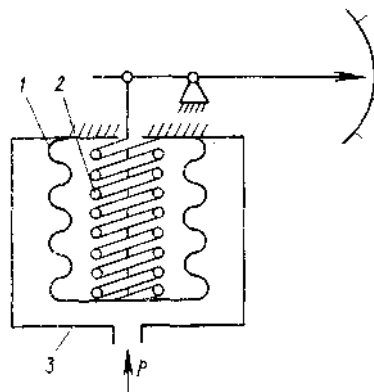
Приборы с чувствительным элементом в виде гофрированных мембран, мембранных коробок и мембранных блоков применяют для измерения небольших избыточных давлений и разрежений (манометры, напоромеры и тягомеры), а также перепадов давления (дифференциальные манометры). Зависимость прогиба мембраны от измеряемого давления в общем случае не линейна. Число, форма и размеры гофра зависят от назначения прибора, пределов измерения и других факторов.

Сильфон – это упругая гофрированная трубка, наглухо закрытая с одной стороны (рисунок 4.1, и,к); ее изготавливают из тех же материалов, что и упругие мембраны. Под действием давления изменяется длина сильфона, при этом он может работать как на растяжение, так и на сжатие. Во втором случае сильфон помещают в герметичный кожух; под действием избыточного давления в нем сильфон сжимается (рисунок 4.2). При больших перемещениях для сильфона (например, в самопишущих манометрах) внутрь его помещают винтовую цилиндрическую пружину, более жесткую, чем сильфон. Она обеспечивает возврат сильфона в исходное состояние после снятия давления и делает зависимость деформации от давления линейной. Если деформацию сильфона ограничить, то он будет развивать усилие, пропорциональное воспринимаемому давлению.



- а,б – приборы с трубчатой пружиной;  
 в – мембранные приборы (упругим элементом служит мембрана);  
 г,д – мембранные приборы (упругим элементом служит мембранная коробка);  
 е, ж – мембранные приборы (упругим элементом служит мембранный блок);  
 з – пружинно-мембранные приборы;  
 и – пружинно-сильфонные приборы; к – сильфонные приборы.

Рисунок 4.1 – Типы пружинных манометров:



1 – сильфон; 2 – пружина; 3 – кожух.

Рисунок 4.2 – Сильфон, работающий на сжатие:

Мембраны и сильфоны применяют в измерительных преобразователях разности давлений и вторичных приборах пневматической ветви ГСП.

*Грузопоршневые манометры.* В этих приборах измеряемое давление определяется по величине нагрузки, действующей на поршень определенной площади. Грузопоршневые манометры имеют высокие классы точности: 0,02; 0,05 и 0,2 и широкий диапазон измерения: 0,1...250 МПа (1...2500 кгс/см<sup>2</sup>). Обычно они применяются для поверки манометров других видов.

*Электрические манометры.* Действие этих приборов основано на зависимости электрических параметров преобразователя давления от измеряемого давления. К ним относятся пьезоэлектрические манометры, в которых используется зависимость электрического заряда пьезоэлемента от измеряемого давления; манометры сопротивления, основанные на зависимости электрического сопротивления чувствительного элемента от измеряемого давления; ионизационные манометры, действие которых базируется на зависимости тока положительных ионов, образованных в результате ионизации молекул разреженного газа, от измеряемого давления. К последним относятся также радиоизотопные манометры, в которых для ионизации газа применяют излучение радиоизотопных источников.

В настоящее время на предприятиях химической промышленности наибольшее распространение получили деформационные манометры.

Выбор, установка и защита от коррозии средств измерения давления

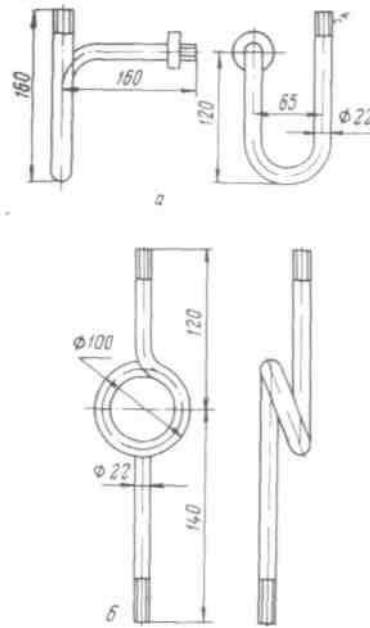
Прежде всего, необходимо узнать примерную величину давления, пределы его колебаний, если оно переменное или пульсирующее, а также физико-механические свойства среды. Прибор должен быть выбран с учетом требуемой точности измерения, причем необходимо учитывать ту погрешность, которую дает прибор в условиях эксплуатации под влиянием неблагоприятных внешних факторов (повышенной температуры, вибраций и т. п.). Так как допустимая погрешность прибора, определяющая его класс, выражается в процентах предельного значения шкалы, желательно выбирать такой прибор, пределы шкалы которого были, возможно, ближе к измеряемому давлению, тогда относительная погрешность будет наименьшей.

Перед манометром устанавливается трехходовой кран для плавного включения его в работу.

Для стабильного или плавно изменяющегося давления допустимое рабочее давление должно находиться в пределах  $\frac{1}{2} - \frac{2}{3}$  шкалы прибора, а для колеблющегося давления  $\frac{1}{3} - \frac{1}{2}$  шкалы. Для других приборов (не пружинных) допустимое рабочее давление должно быть, возможно, ближе к предельному значению шкалы прибора.

Кроме указанных факторов, определяющих выбор прибора, необходимо учитывать измеряемую среду, что весьма важно в условиях химических заводов, где почти всегда приходится иметь дело с агрессивными жидкостями и газами. В химической промышленности манометры часто устанавливают на теплообменниках, выпарных, экстракционных и дистилляционных аппаратах, автоклавах, сушилках и т. п. В таких случаях необходима защита воспринимающей части манометра (пружины, мембраны) от воздействия газа или пара с высокой температурой. Для этого перед манометром устанавливают так называемую сифонную трубку в виде буквы U или кольцевой петли (рисунок 4.3). При измерении давления горячего газа сифонную трубку заполняют водой. Температура жидкости, заполняющей трубку, вследствие большой теплопотери в окружающую среду и малой теплопроводности близка к температуре окружающего воздуха, поэтому воспринимающая часть прибора предохраняется от нагревания.

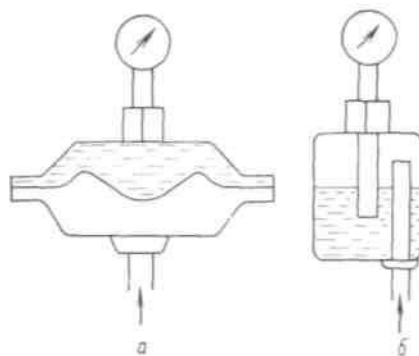




а – U-образная; б – кольцевая

Рисунок 4.3 – Сифонные трубки

Если жидкость, газ, пар или его конденсат химически активны по отношению к материалу воспринимающей части прибора, то вместо сифонной трубки перед манометром устанавливают мембрану или защитный сосуд, заполненный до половины инертной жидкостью (рисунок 4.4). Такой жидкостью могут служить глицерин, вазелиновое масло, тяжелые углеводороды, керосин. Разделительная жидкость должна быть инертной по отношению к измеряемой среде и не растворять ее в заметных количествах. Если пары и жидкости способны при охлаждении затвердевать и закупоривать подводящие к манометру трубки, то защитный сосуд необходимо устанавливать вблизи точки отбора давления и обеспечивать подогрев сосуда и подводящей к нему трубки до температуры выше точки кристаллизации, а манометр удалить от защитного сосуда на некоторое расстояние, заполнив соединяющую трубку жидкостью.



а – мембранные; б – разделительный сосуд

Рисунок 4.4 – Разделительные устройства

Для защиты от нагревания лучеиспусканием манометр должен быть либо удален от аппарата на достаточное расстояние, либо закрыт экраном, поглощающим тепловые лучи.

Сотрясения, толчки и вибрация сокращают срок службы прибора, ускоряют износ деталей узла передачи манометра, поэтому при измерении давления в аппарате, подверженном сотрясениям, манометр следует устанавливать на отдельном щитке. Перед манометром необходимо предусмотреть приспособление, поглощающее колебания. Такое приспособление (буфер) чаще всего представляет собой дроссель в форме игольчатого вентиля или диафрагмы с очень маленьким отверстием.

Жидкостные и поршневые приборы устанавливают строго по отвесу или уровню. Импульсные линии, передающие давление к манометру, выполняют из металла, стойкого к влиянию измеряемой среды. При измерении давления кислорода уплотнительные прокладки из органических материалов недопустимы.

При измерении давления жидкостей манометр устанавливают ниже оси трубопровода, а при измерении давления газов и паров – ниже оси трубопровода, чтобы содержащийся конденсат не повлиял на качество измерения.

### Аппаратура, оборудование и материалы

Экспериментальная лабораторная установка включает в себя объект управления, средства автоматизации для контроля и регулирования давления воздуха в ресивере.

Объектом управления является закрытый резервуар (ресивер), а регулируемым параметром - давление воздуха в ресивере.

Назначение вторичного измерительного регулирующего прибора ESKARDT и правила его эксплуатации приведены в лабораторной работе № 6.

Функциональная схема измерения и регулирования давления воздуха в ресивере

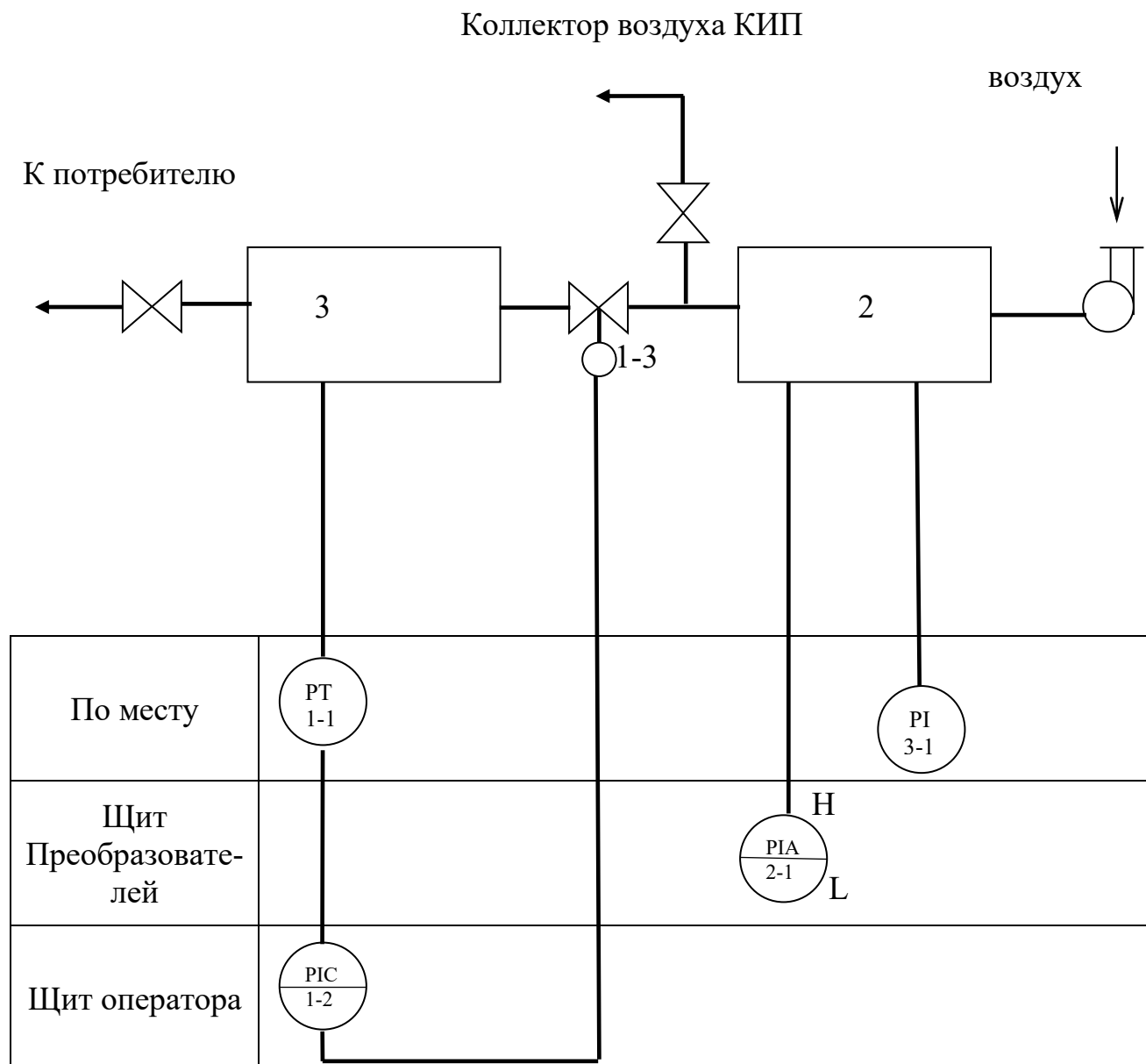
Функциональная схема измерения и регулирования давления воздуха в ресивере изображена на рисунке 4.5.

Компрессор 1 нагнетает атмосферный воздух в ресивер 2. Давление в ресивере 1 контролируется манометром поз. 3-1 и поддерживается постоянным, равным  $0,2 \pm 0,01$  МПа ( $2 \pm 0,1$  кгс/см<sup>2</sup>) электроконтактным манометром поз. 2-1 при помощи контактов минимального и максимального давления (включает компрессор при минимальном давлении и отключает при максимальном).

Ресивер 2 и компрессор 1 обеспечивают пневматическое питание приборов и средств автоматизации, подключенных к коллектору воздуха КИП ( $P=0,14$  МПа).

Давление измеряется безшкальным манометром поз. 1-1 с дистанционной передачей, преобразующим давление в унифицированный пневматический сигнал  $0,02 \dots 0,1$  МПа ( $0,2 \dots 1$  кгс/см<sup>2</sup>), который поступает на прибор показывающий с регулирующим устройством поз. 1-2 и на пневматический клапан поз. 1-3, изменяющий проходное сечение трубопровода в зависимости от изменения давления в ресивере.

Заданное давление воздуха в ресивере устанавливается с помощью регулирующего прибора ESKARDT, ручной задатчик находится на передней панели прибора.



1 -компрессор; 2, 3- ресиверы.

Рисунок 4.5 - Измерение и регулирование давления. Функциональная  
схема

На лицевой стороне прибора ESKARDT также размещены шкалы двух его измерительных устройств, кнопочный переключатель режимов работы. На шкале показывается текущее значение регулируемого параметра (давления) и его заданное значение.

На нижней шкале контролируется давление воздуха в линии исполнительного механизма, т.е. положение регулирующего органа.

Значение давления, измеренное датчиком, сравнивается с заданным значением давления, установленным ручным задатчиком, в результате вырабатывается командный сигнал, который в соответствии с выбранным законом регулирования, управляет пневматическим регулирующим клапаном поз. 1-3. Исполнительное устройство типа НЗ изменяя проходное сечение трубопровода и, соответственно, расход воздуха в ресивере, поддерживает заданное значение давления. Регулятор обрабатывает ПИД-закон регулирования

### **Указания по технике безопасности**

Перед началом проведения работы проверить, чтобы установка была заземлена и все токоведущие части закрыты.

Включать подачу сжатого воздуха, переключать режимы управления и проводить лабораторную работу только в присутствии преподавателя.

Включать установку и проводить лабораторную работу только в присутствии преподавателя.

### **Методика и порядок выполнения работы**

Включить компрессор.

Измерить давление в ресивере 1 по манометру.

Установить необходимое давление питания сжатым воздухом (0,14 МПа).

В ручном режиме управления установить заданное значение давления в ресивере 2, регулирующей клапан перевести в положение «открыто», переведя ручку управления клапаном в крайнее левое положение, т.к. ресивер находится под давлением. Затем нажать кнопку "автоматическое" и каждую минуту проводить регистрацию данных, записывая изменение давления во времени и положение регулирующего клапана в данный момент времени.

По окончании работы, перейти на ручное управление, ручку управления клапаном перевести в крайнее левое положение, положение «открыто» и отключить питание сжатым воздухом.

Построить графики изменения давления во времени, а также графики изменения положения клапана во времени, т.е. построить временные характеристики.

Работа выполняется по вариантам. Исходные данные задания приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1

Номер варианта задания	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Давление воздуха, МПа	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
	8	9		1	2	3	4	5	6	7

Необходимо определить по приборам давление в ресиверах 1 и 2, сравнить показания приборов. Далее следует измерить время, за которое происходит включение (отключение) компрессора и время, за которое происходит стабилизация давления в ресивере 3.

В заключение необходимо сделать выводы по работе и составить спецификацию на применяемые приборы и средства автоматизации. Образец составления спецификации см. в лабораторной работе 2.

### **Содержание отчета, форма и правила оформления отчета по лабораторной работе**

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Функциональная схема, ее описание.
4. Спецификация приборов и средств автоматизации.
5. Результаты выполнения работы.
6. Выводы.

Отчет может быть представлен в рукописном или на формате А4 в машинописном вариантах.

### Вопросы для защиты работы

1. Назначение, принцип действия приборов для измерения давления.
2. Объяснить назначение, принцип работы исполнительного устройства.
3. Виды чувствительных элементов деформационных приборов.
4. Предохранение чувствительного элемента от воздействия агрессивных сред и горячих теплоносителей.

К защите допускается студент, выполнивший лабораторную работу в установленном объеме и оформивший отчет согласно требованиям. Защита проводится по теме лабораторной работы.

### Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме

Рекомендуемая литература.

Основная литература:

1. Шишмарев, В.Ю. Средства измерений: учеб.пособие/ В.Ю. Шишмарев; 3-е изд., стер. М.: Академия, 2009. 320 с.
2. Раннев, Г.Г. Методы и средства измерений: учебник/ Г.Г. Раннев: М.: Академия, 2009. 323 с.
3. Шишмарев, В.Ю. Основы автоматического управления: учеб. пособие/ В.Ю. Шишмарев; 5-е изд., стер. М.: Академия, 2009. 353 с.

Дополнительная литература:

4. Бородин, И.Ф. Автоматизация технологических процессов / И.Ф. Бородин, Ю.А. Судник; М.: Колосс, 2004. 344 с.
5. Соснин, О.М. Основы автоматизации технологических процессов и производств: учеб.пособие / О.М. Соснин; М.: Академия, 2007 356 с.

Интернет-ресурсы:

6. Данилов, А.Д. Технические средства автоматизации: учеб.пособие / А.Д. Данилов; Воронеж: Воронежская лесотехническая академия, 2007. 340 с. – Режим доступа: [e/lanbook.com](http://e/lanbook.com).

7. Глухов, Д.А. Технические измерения и приборы: учеб.пособие / Д.А. Глухов; Воронеж: Воронежская лесотехническая академия, 2009. 251 с. – Режим доступа: [e/lanbook.com](http://e/lanbook.com).
8. Николайчук, О.И. Современные средства автоматизации, практические решения: учеб.пособие / О.И. Николайчук; М.: СОЛОМОН–ПРЕСС, 2009. 256 с. – Режим доступа: [e/lanbook.com](http://e/lanbook.com).
9. Дубов, Г.М. Методы и средства измерений, испытаний и контроля: учеб.пособие / Г.М. Глухов; изд. КузГТУ, 2011. 224 с. – Режим доступа: [e/lanbook.com](http://e/lanbook.com).



ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5  
**ИЗУЧЕНИЕ ПРИНЦИПА ИЗМЕРЕНИЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ  
ТЕМПЕРАТУРЫ.**

**Цель и содержание:** Практическое изучение методов автоматического измерения температуры паровоздушной смеси и регулирования температуры жидкости с помощью УВМ.

**Теоретическое обоснование**

*Измерение температуры*

В устройствах 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, изменение давления вещества в замкнутом объеме, возникновение термоэлектродвижущей силы, изменение электрического сопротивления проводников и полупроводников, интенсивность излучения нагретых тел и др.

Классификация приборов контроля температуры

В зависимости от принципа действия приборы для измерения температуры делятся на следующие группы:

Термометры расширения, основанные на изменении объема жидкости или линейных размеров твердых тел при изменении  $t_0$ /

Манометрические термометры, основанные на изменении давления вещества при постоянном объеме при изменении температуры.

Термоэлектрические термометры, основанные на изменении термоэлектродвижущей силы (т.э.д.с.) термопары от температуры.

Термометры сопротивления, основанные на изменении электрического сопротивления чувствительного элемента (проводников, полупроводников) при изменении их температуры.

Пирометры излучения, из которых наибольшее распространение получили:

а) оптические, основанные на измерении интенсивности монохроматического излучения нагретого тела;

б) цветовые (пирометры спектрального отношения), основанные на измерении распределения энергии в спектре теплового излучения тела;

в) радиационные, основанные на измерении мощности излучения нагретого тела.

Эта классификация положена в основу при рассмотрении методов и приборов для измерения температуры

#### *Термометры расширения*

##### Жидкостные стеклянные термометры

Жидкостные стеклянные термометры - такие приборы, в которых происходит изменение объема жидкости.

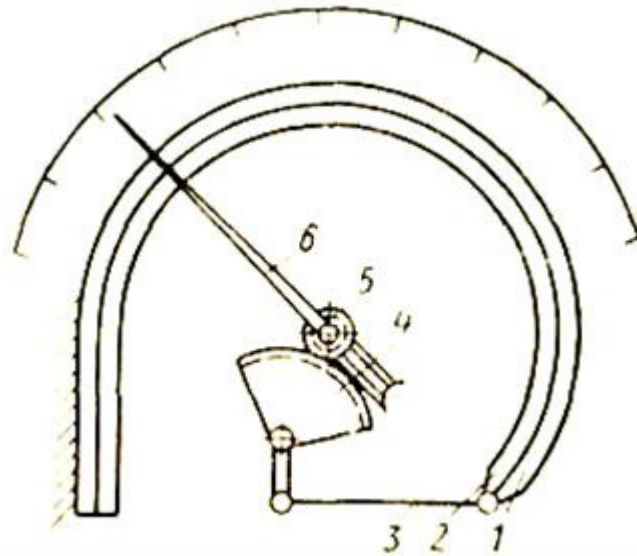
Измерение температуры жидкостными стеклянными термометрами основано на различии коэффициентов объемного расширения жидкости и материала оболочки термометра. Наибольшее распространение получили ртутные стеклянные термометры. Недостаток ртути – сравнительно небольшой температурный коэффициент. Коэффициент расширения ртути мало изменяется при изменении температуры, поэтому шкала ртутного термометра до 200 0С практически линейна.

Термометры с органическими жидкостями из-за ряда недостатков применяют только при измерении низких температур. Из всех таких термометров наибольшее распространение получили спиртовые.

Ртутные стеклянные термометры благодаря простоте и относительно высокой точности показаний довольно широко используются в лабораторной и производственной практике. Основные недостатки жидкостных стеклянных термометров – невозможность регистрации и передачи показаний на расстояние, а также значительная тепловая инерция.

#### *Термометры, основанные на расширении твердых тел*

Биметаллический термометр схематически показан на рисунке 5.1.



1, 2 - пластины; 3 - тяга; 4 - зубчатый сектор; 5 - зубчатое колесо; 6 –  
стрелка.

Рисунок 5.1 - Схема биметаллического термометра с дугообразной пластиной

Он состоит из дугообразной изогнутой пластинки, изготовленной из двух пластин 1 и 2 из различных металлов (например, меди и инвара) с различными коэффициентами линейного расширения, приваренных одна к другой по всей длине. Обычно внутренняя пластина 2 изготавливается из металла с большим коэффициентом линейного расширения. При повышении температуры пластинка разгибается. Деформация пластинки с помощью тяги 3, зубчатого сектора 4 и зубчатого колеса 5 передается стрелке 6.

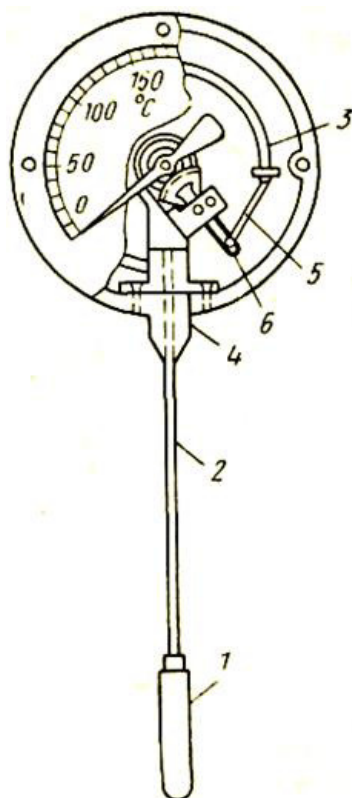
Верхний предел измерения при использовании биметаллической пластинки ограничивается пределом упругости материала. В качестве чувствительного элемента применяют также плоские и винтовые спирали. Пределы измерения биметаллическими термометрами от  $-150$  до  $+700^{\circ}\text{C}$ , погрешность 1—1,5%.

### Манометрические термометры

Схема манометрического термометра показана на рисунке 5.2

Прибор состоит из термобаллона 1, капиллярной трубки 2 и манометрической части 3 — 6. Вся система прибора (термобаллон, капилляр, манометрическая пружина) заполняется рабочим веществом. Термобаллон помещают в зону измерения температуры.

При нагревании термобаллона давление рабочего вещества внутри замкнутой системы увеличивается. Увеличение давления воспринимается манометрической трубкой (пружиной), которая воздействует через передаточный механизм на стрелку или перо прибора. Термобаллон обычно изготавливают из нержавеющей стали, а капилляр - из медной или стальной трубки внутренним диаметром 0,15—0,5 мм. В зависимости от назначения прибора длина капиллярной трубки может быть различна (до 60 м). Для защиты от механических повреждений капилляр помещают в защитную оболочку из стального плетеного рукава.



1 - термобаллон; 2 - капиллярная трубка; 3 - трубчатая пружина; 4 - держатель; 5 - поводок; 6 - зубчатый сектор.

Рисунок 5.2 - Манометрический термометр с трубчатой пружиной

В манометрических термометрах применяют одновитковые, многовитковые с числом витков от 6 до 9 и спиральные манометрические трубки.

Манометрические термометры широко применяют в химических производствах. Они просты по устройству, надежны в работе и при отсутствии и электропривода - взрыво- и пожаробезопасны. С помощью этих приборов можно измерять температуру в диапазоне от  $-120$  до  $+600^{\circ}\text{C}$ .

К специфическим недостаткам газовых манометрических термометров относится их сравнительно небольшая тепловая инерция; большие размеры термобаллона, что затрудняет его установку на трубопроводах малого диаметра.

Различают следующие типы манометрических термометров:

Газозаполненные (газовые), вся система которых заполнена газом под некоторым начальным давлением.

Жидкозаполненные (жидкостные), система которых заполнена жидкостью.

Конденсационные, в которых термобаллон частично заполнен низкокипящей жидкостью, а остальное его пространство заполнено парами этой жидкости.

*Термоэлектрические термометры* состоят из термоэлектрического преобразователя (термопары), действие которого основано на использовании зависимости термоэлектродвижущей силы (ТЭДС) термопары от температуры рабочего спая, если температура свободного спая постоянна. При увеличении разности температур между рабочим и свободным спаями термопары величина ТЭДС возрастает.

Любая пара разнородных проводников может образовать термопару, однако, не всякая термопара будет пригодна для практического применения, т.к. термоэлектроды отвечают следующим требованиям: устойчивость к воздействию высоких температур; постоянство термоЭДС во времени; возможно большая величина термоЭДС и однозначная ее зависимость от температуры; небольшой температурный коэффициент электрического сопротивления и большая электропроводность; воспроизводимость термоэлектрических свойств, обеспечивающая взаимозаменяемость термопар.

Всем указанным требованиям не удовлетворяет полностью ни один из известных термоэлектродных материалов. Поэтому приходится пользоваться различными материалами в разных пределах измеряемых температур.

Наибольшее распространение получили следующие типы термоэлектрических преобразователей (таблица 5.1).

Таблица 5.1

Тип преобразователя	Пределы измерения, °С
Платинородий–платинородиевые (ТПР)*	От 300 до + 1600**
Платинородий–платиновые (ТПП)*	От 0 до + 1300***
Хромель–копелевые (ТХК)*	От – 50 до + 1000**
Вольфрамений–вольфрамениевые (ТВР):	От – 50 до + 600**
при длительном применении	До 1800
при кратковременном применении	До 2500

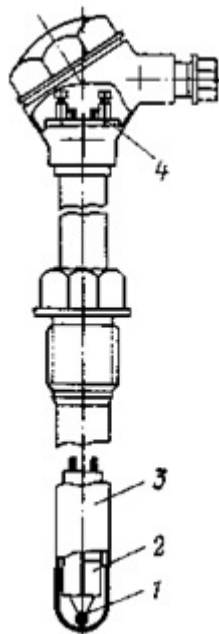
\* При длительном измерении.

\*\* При кратковременном измерении может быть повышен на 200 °С.

\*\*\* То же, на 300 °С.

Конструктивно ТЭП представляет собой две проволоки из разнородных материалов, концы которых скручиваются, а затем свариваются и спаиваются (Как правило, горячий спай промышленных ТЭП изготавливается сваркой в пламени вольтовой дуги. Спай термопары остается голым или изолируется фарфоровым наконечником, помещенным на дне защитной металлической трубки.

Проволочные электроды термопары изолируют один от другого по всей длине от рабочего спая керамическими изоляторами или асбестовым шнуром, помещают термопару в стальной или керамический чехол, свободные концы подключают к клеммнику с крышкой. Рабочий спай изолируется от чехла керамическим наконечником. Устройство ТП показано на рисунке 5.3



1 – рабочий спай термопары; 2 — изоляторы; 3 — чехол; 4 — клеммник

Рисунок 5.3 – Термоэлектрический преобразователь

Для измерения ТЭДС в качестве вторичных приборов обычно применяют потенциометры или милливольтметры. В комплекте с ними термоэлектрические термометры позволяют измерять и регистрировать температуру с высокой точностью и передавать показания на расстояние.

*Термометры сопротивления* состоят из термопреобразователя сопротивления, действие которого основано на использовании зависимости электрического сопротивления проводников или полупроводников от температуры.

В качестве вторичных приборов в комплекте с термометрами сопротивления обычно применяются равновесные мосты и логометры.

Наибольшее распространение получили ТС с платиновым чувствительным элементом (ТСП) и медным (ТСМ). Графики зависимости сопротивления от их температуры показаны на рисунке 5.4.



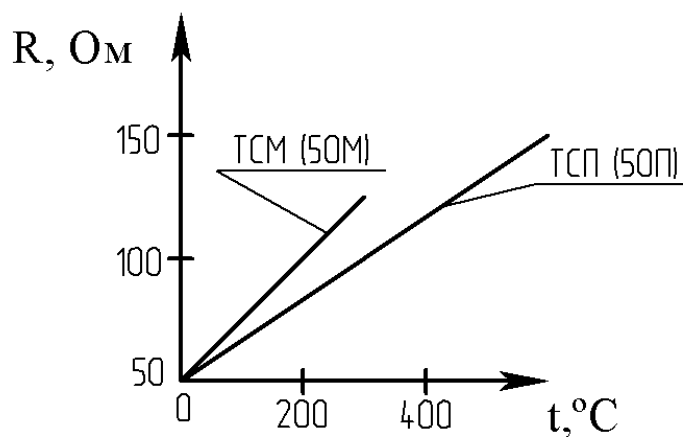


Рисунок 5.4 – Зависимость сопротивления от температуры

Практически – это прямые линии. Значение температурного коэффициента электрического сопротивления меди выше, чем у платины, поэтому ТСМ чувствительнее к изменению температуры. Этим и объясняется большая крутизна графика. Однако, верхний предел измерения температуры для ТСМ – 200 °C, а для ТСП – 1100 °C. Нижние пределы соответственно равны -200 °C и -260 °C.

*Пирометры излучения.* Их действие основано на изменении интенсивности излучения нагретых тел при изменении температуры. К ним относятся (таблица 5.2):

Таблица 5.2

Тип пирометра	Пределы измерения, °C
Пирометры частичного излучения (оптические)	От 700 до 6000
Пирометры полного излучения	От 100 до 2500
Пирометры спектрального отношения (цветовые)	От 1400 до 2800

При измерении пирометрами частичного и полного излучения необходимо вводить поправку на неполноту излучения (степень черноты) тела, температура которого измеряется. Пирометры излучения применяются для бесконтактного определения температуры тел. Погрешности пирометров излучения составляют 0,5...2%.

В химических производствах наибольшее распространение получили термометры расширения, термоэлектрические термометры и термометры сопротивления.

По сравнению с другими средствами автоматизации устройства для измерения температуры, как правило, обладают большей инерционностью и более значительным запаздыванием.

### *Преобразователи*

В автоматических системах управления для взаимного согласования входящих в них элементов, обеспечения дистанционной передачи сигналов по каналам связи, удобства регистрации показаний и т. п. используют преобразователи сигналов и энергии (электрические, пневматические, частотные).

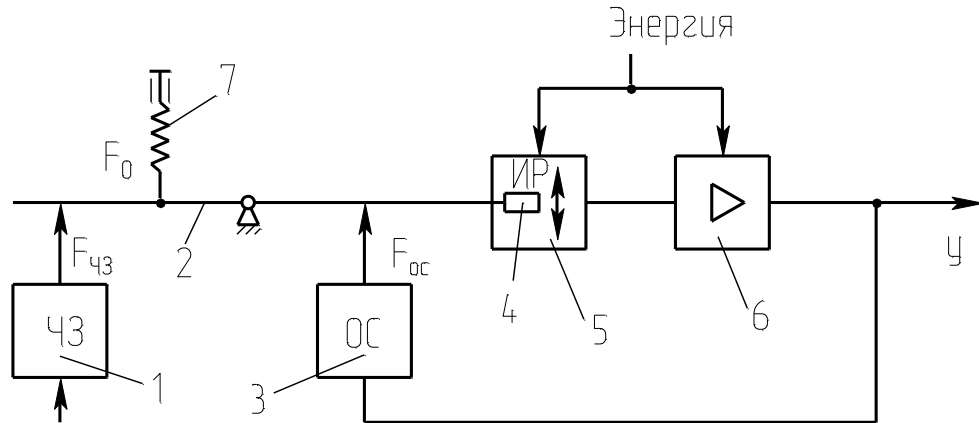
Установлены следующие унифицированные выходные сигналы:

- 1) для электрической аналоговой ветви:  
величина постоянного тока с пределами измерения 0-5, 0-20, 4 -20 и 0-100 мА;  
напряжение постоянного тока 0-10 В и напряжение переменного тока 0-1, 0-2 В;
- 2) для электрической частотной ветви – частота 1500-2500 Гц;
- 3) для пневматической ветви – давление сжатого воздуха с пределами измерения 0,02-0,1 МПа.

Преобразователи электрической аналоговой ветви служат для преобразования неэлектрических величин (расход, уровень, давление и др. параметры) в электрический выходной сигнал и передачи показаний на расстояние. Одной из распространенных систем передачи измерительной информации является электрическая система с унифицированным токовым сигналом. Использование постоянного тока в этой системе повышает ее помехоустойчивость, т. к. позволяет исключить влияние индуктивности и емкости линий связи на сигнал измерительной информации и увеличивает сигнал канала связи до 5-20 км.

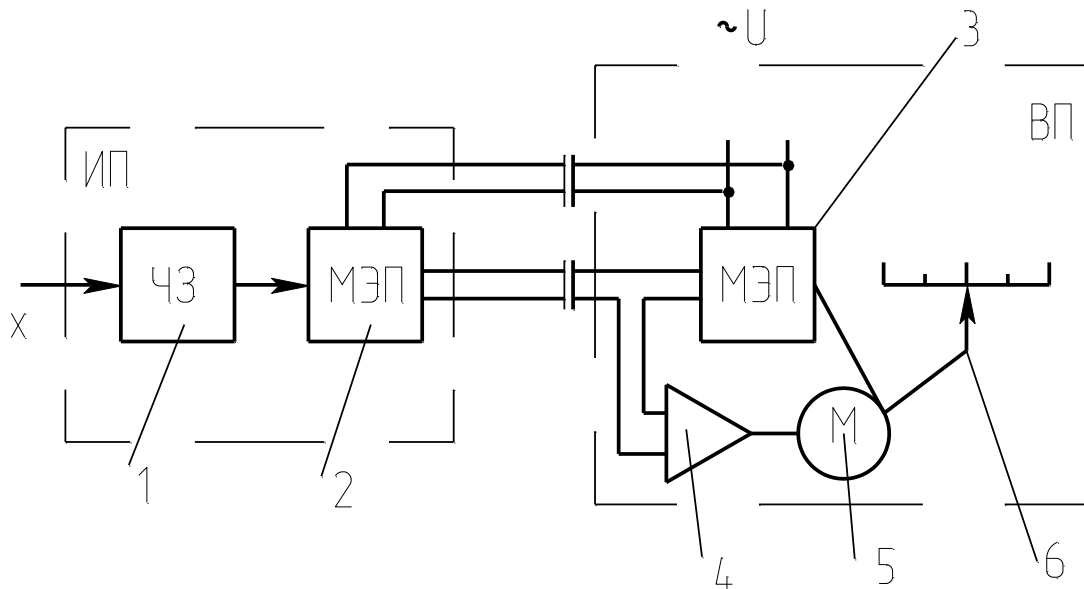
Преобразователи электрической аналоговой ветви могут быть выполнены по схеме компенсации перемещений и по схеме компенсации усилий (рисунки 3.5 и 3.6). В основу положен компенсационный принцип измерения.

Электрические унифицированные измерительные преобразователи предназначены для непрерывного преобразования величин в электрический токовый сигнал дистанционной передачи.. Выходной сигнал преобразователя может быть равен  $0...5$ ;  $0...20$  мА.



1-чувствительный элемент; 2-рычаг; 3-узел обратной связи; 4-подвижный элемент; 5-индикатор рассогласования; 6-усилитель; 7-корректор.

Рисунок 5.5 – Схема преобразователя с компенсацией усилий



ИП-датчик (измерительный преобразователь); ВП – вторичный прибор; 1-чувствительный элемент; 2,3-механо-электрические преобразователи; 4-электронный усилитель; 5-реверсивный электродвигатель; 6-указатель.

Рисунок 5. 6 – Схема преобразователя с компенсацией перемещения

В преобразователе, приведенном на рисунке 9, перемещение подвижного элемента первичного прибора уравнивается перемещением подвижного элемента вторичного прибора.

*Нормирующие преобразователи* используют в автоматических системах управления для взаимного согласования входящих в них элементов, обеспечения дистанционной передачи по каналам связи, удобства регистрации показаний и т.п.

*Преобразователь ТЭДС термоэлектрических* термометров в унифицированный токовый сигнал состоит из измерительного моста и усилителя, охваченного обратной связью по выходному току. Ток, протекающий через внешнюю нагрузку, пропорционален выходному напряжению. Падение напряжения при протекании этого тока через резистор обратной связи уравнивает напряжение на выходе измерительного моста.

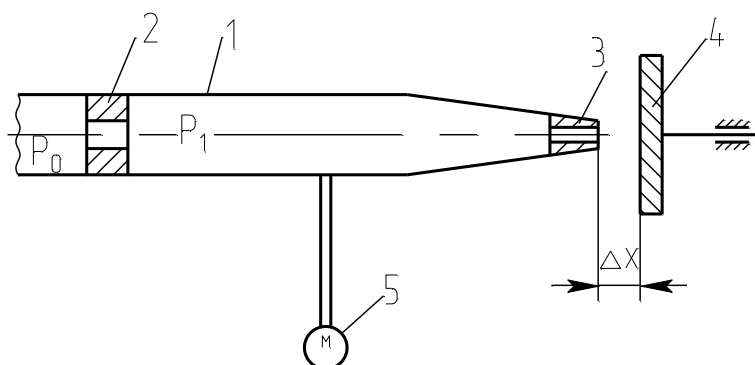
Преобразователь работает с термоэлектрическими термометрами стандартных градуировок. Выходной сигнал преобразователя  $I = 0-5, 4-20$  мА.

*Преобразователь для термометров сопротивления* работает в комплекте с платиновыми и медными термометрами сопротивления, изменение сопротивления которых он преобразует в унифицированный токовый сигнал. Преобразователь состоит из измерительного моста и усилителя, охваченного отрицательной обратной связью по выходному току.

Выходной сигнал преобразователя  $I = 0-5$  мА,  $4-20$  мА.

*Пневматические унифицированные измерительные преобразователи* (рисунк 5.7). В пневматических преобразователях основным элементом является преобразователь типа сопло-заслонка. Измерительные преобразователи предназначены для непрерывного преобразования давления, разрежения, перепада давления, расхода, температуры, уровня, плотности или температуры в унифицированный пневматический выходной сигнал.

Преобразователи состоят из измерительного блока, силового узла и усилителя. Пневматические преобразователи также построены по схеме компенсации усилий и по схеме компенсации перемещений.



1-трубка; 2-дрессель постоянного сечения; 3-сопло; 4-заслонка; 5-манометр.

Рисунок 5.7 – Пневмопреобразователь типа сопло-заслонка

*Электропневматический преобразователь* непрерывного унифицированного сигнала постоянного тока выдает на выходе пневматический унифицированный сигнал. Действие прибора основано на преобразовании тока в пропорциональное усилие при помощи магнитоэлектрического механизма. В схемах измерения и регулирования температуры электропневматический преобразователь работает в комплекте с описанными выше преобразователями для термоэлектрических термометров или термометров сопротивления, выдающими унифицированный токовый сигнал. Входной сигнал преобразователя  $I = 0 - 5$  мА,  $4 - 20$  мА, выходной сигнал преобразователя  $P_{\text{вых}} = 0,02 - 0,1$  МПа ( $0,2 - 1$  кгс/см<sup>2</sup>).

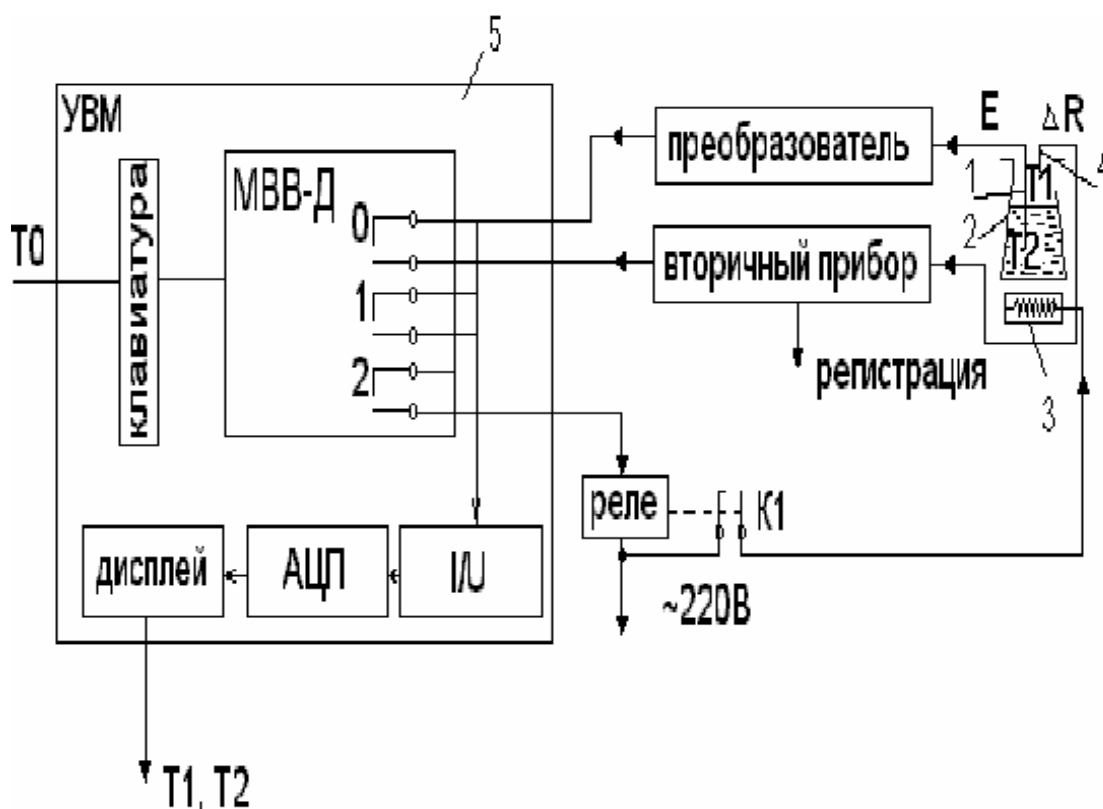
### Аппаратура, оборудование и материалы

Экспериментальная установка, представленная на рисунок 5.8, включает в себя объект управления, нагревательный элемент, средства автоматизации и управляющую вычислительную машину.

В состав УВМ входит блок управления, блок клавиатуры и блок индикации. УВМ обеспечивает ввод алфавитно-цифровой и управляющей информации с блока клавиатуры устройства. УВМ имеет возможность отсчета интервала времени по заданной программе и выполняет аналого-цифровое преобразование величины напряжения постоянного тока, задаваемого блоком управления или подаваемого с внешнего устройства и цифро-аналоговое преобразование.

Напряжение после преобразования выводится на стрелочный прибор устройства или на монитор.

Объектом управления является колба с водой.



1 - термопара; 2 - объект управления; 3 - нагреватель; 4 - термометр сопротивления; 5 - управляющая электронно - вычислительная машина.

Рисунок 5.8 - Функциональная схема лабораторной установки

Функциональная схема измерения и регулирования температуры

Регулируемый параметр - температуры воды T2.

На схеме (см. рисунок 5.9) показано, что нагрев емкости с водой производится под управлением УВМ. Температура паровоздушной смеси контролируется по термометру сопротивления TE поз. 1-1 (датчик), сигнал с которого поступает на вторичный прибор (преобразователь  $\Delta R/I$ ) поз. 1-2, а с прибора на УВМ по цепи: модуль ввода-вывода дискретных сигналов (МВВ - Д), преобразователь ток - напряжение (I/U), аналого - цифровой преобразователь (АЦП), с которого значение T1 выводится на дисплей (индикацию).

Температура воды T2 контролируется и регулируется. Первичным преобразователем служит термопара (поз. 2-1), ЭДС с ее выводов подается на преобразователь (эдс - ток) для усиления и нормирования сигнала (поз. 2-2), а с преобразователя на УВМ (модуль ввода - вывода дискретных сигналов МВВ-Д, преобразователь ток - напряжение (I/U), аналого - цифровой преобразователь (АЦП), с которого значение T2 выводится на дисплей УВМ).

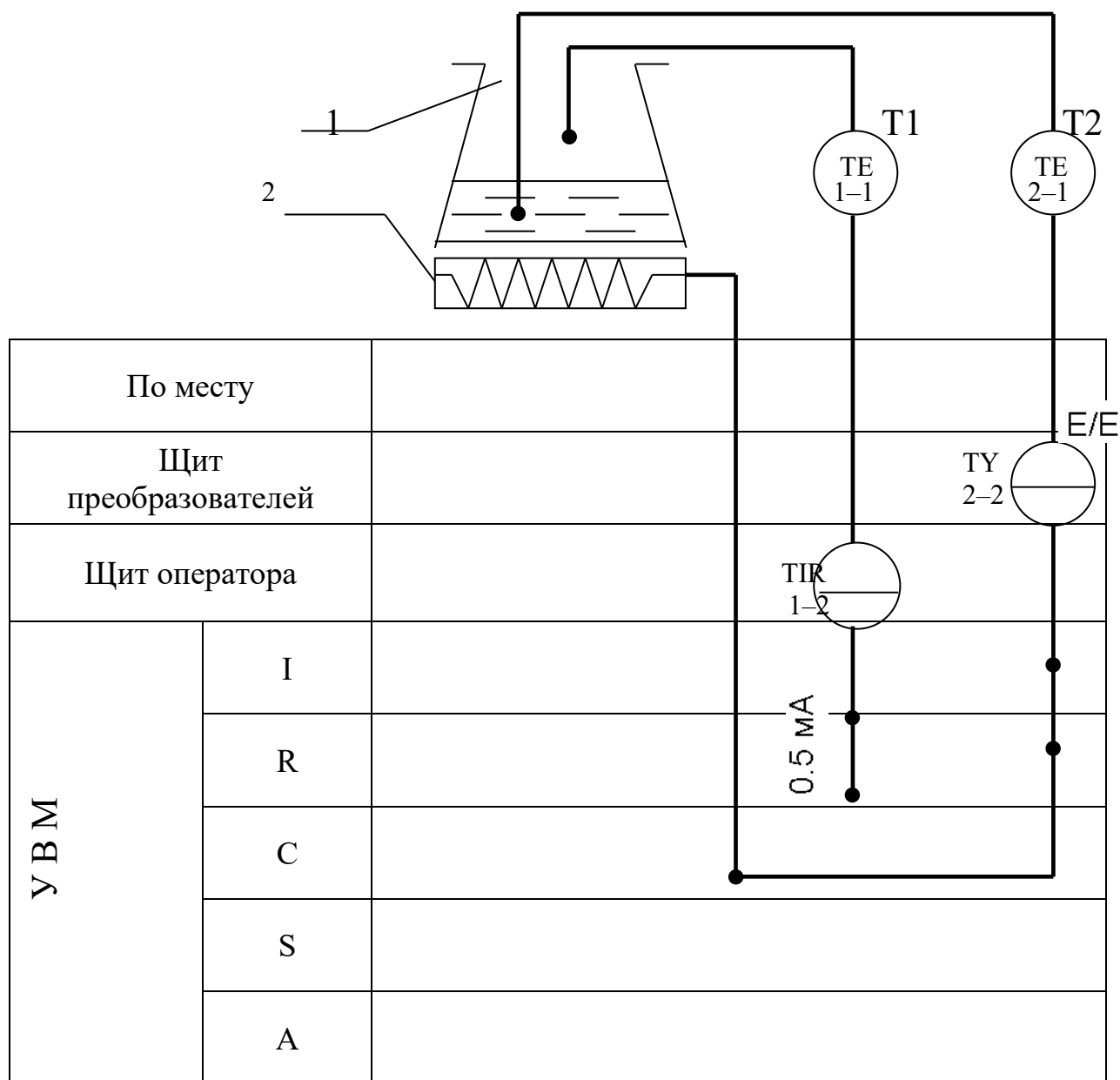
Для регулирования температуры воды T2 используется УВМ, реле с исполнительным контактом K1 и нагреватель.

УВМ выполняет функции задающего устройства, сравнивающего устройства и двухпозиционного регулятора.

Реле и нагреватель выполняют роль исполнительного органа.

Операции контроля, индикации и регулирования реализуются программным путем на УВМ.

В МВВ-Д выход номер "0" используется для подключения контура измерения температуры; выход номер "1" - для подключения контура регулирования температуры; выход номер "2" - для включения и отключения нагревателя.



1 - емкость; 2 – нагреватель.

Рисунок 5.9 – - Измерение и регулирование температуры. Функциональная схема

### Указания по технике безопасности

Перед началом работы проверить, чтобы установка была заземлена и все токоведущие части закрыты.



Включать установку и проводить лабораторную работу только в присутствии преподавателя.

### Методика и порядок проведения работы

Включить установку.

Перед началом выполнения работы необходимо набрать с клавиатуры программу, по которой осуществляется автоматическое измерение температуры паровоздушной смеси и позиционное регулирование температуры жидкости.

Нажав в латинском регистре клавишу "B", осуществить вызов интерпретатора языка "Бейсик" и набрать предложенную программу.

Программа автоматического измерения и регулирования температуры

10 PRINT "Температура"	150 N=2: D=1: GOSUB 600
20 INPUT "Заданная"; T0	160 GOTO 30
30 N=0: D=0: 1: D=1: 36 GOSUB 600	600 $y = 2^N$
40 N=1: D=1: GOSUB 600	610 $z = y * D$
50 IF INP (0) < > 255 THEN 10	620 $DU = DU \text{ AND} (255 - y)$
60 GOSUB 700: T1=100*U/10	630 $DU = DU \text{ OR} Z$
70 PRINT "T1"; INT(T1);	640 OUT 16, DU
80 N=1: D=0: GOSUB 600	650 RETURN
90 N=0: D=1: GOSUB 600	700 OUT 6,0
100 GOSUB 700: T2=-50+250*U/10	710 S=INP (4) AND 7
110 PRINT "T2="; INT(T2)	720 M=INP(5)
120 IF T2>T0 THEN 150	730 $K = S * 256 + M$
130 N=2: D=0: GOSUB 600	740 $U = K / 102.35 - 10$
140 GOTO 30	750 RETURN

DU - состояние порта вывода дискретных сигналов;

N - номер выхода (лампы);

y - десятичный эквивалент номера выхода;

z - десятичный эквивалент состояния выхода.

Далее следует запустить программу на выполнение и ввести с клавиатуры заданное значение температуры  $T_0$  (по указанию преподавателя).

Т.к. контакт МВВ-Д и реле (контакт К) имеют только 2 состояния "замкнуто" и "разомкнуто", то нагреватель может быть включен или выключен. При включенном нагревателе температура объекта повышается, а при выключенном снижается, стремясь к температуре окружающей среды  $T_{ос}$ .

Т.к. нагреватель и объект достаточно инерционны, то температура воды  $T_2$  повышается плавно при включении нагревателя, а когда она достигает заданного значения  $T_0$ , УВМ дает команду на размыкание контакта 2 и реле замыкает свой контакт К1.

Т.к. температура нагревателя выше температуры объекта, то при отключении обогревателя  $T_2$  продолжает повышаться за счет запаздывания тепловых процессов. Только после снижения температуры нагревателя до температуры объекта начинается их совместное охлаждение.

По результатам проделанного опыта построить график зависимости  $T_2$  от времени, измеряя значения  $T_2$  каждые 5 мин., а также графически изобразить работу нагревателя, т.е. построить динамические характеристики. Сделать выводы по проделанной работе, а также составить спецификацию приборов и средств автоматизации по аналогии с таблицей 2.1 (Лабораторная работа № 2).

### **Содержание отчета, форма и правила оформления отчета по лабораторной работе**

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Схема экспериментальной установки.
4. Функциональная схема, ее описание.
5. Программа для выполнения работы.
6. Результаты выполнения работы привести в виде таблицы, построить временные характеристики.
7. Выводы по проделанной работе.

Отчет может быть представлен в тетради в рукописном варианте или на формате А4 в машинописном варианте.

### **Вопросы для защиты работы**

1. Классификация приборов для измерения температуры.
2. Для каких целей предназначена УВМ?
3. Назначение преобразующих устройств, с какой целью они используются совместно с УВМ?
4. Как осуществляется позиционное регулирование паровоздушной смеси?
5. Объяснить принцип работы позиционного регулятора.
6. Привести динамические характеристики позиционного регулятора.
7. На чем основан принцип действия ТЭП?
8. На чем основан принцип действия термометров расширения?
9. Виды термометров расширения.
10. Виды манометрических термометров, достоинства и недостатки.
11. На чем основан принцип действия термометров сопротивления?

К защите допускается студент, выполнивший лабораторную работу в установленном объеме и оформивший отчет согласно требованиям. Защита проводится по теме лабораторной работы

**Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме**

Рекомендуемая литература.

Основная литература:

1. Шишмарев, В.Ю. Средства измерений: учеб.пособие/ В.Ю. Шишмарев; 3-е изд., стер. М.: Академия, 2009. 320 с.
2. Раннев, Г.Г. Методы и средства измерений: учебник/ Г.Г. Раннев: М.: Академия, 2009. 323 с.
3. Шишмарев, В.Ю. Основы автоматического управления: учеб. пособие/ В.Ю. Шишмарев; 5-е изд., стер. М.: Академия, 2009. 353 с.

Дополнительная литература:

4. Бородин, И.Ф. Автоматизация технологических процессов / И.Ф. Бородин, Ю.А. Судник; М.: Колосс, 2004. 344 с.
5. Соснин, О.М. Основы автоматизации технологических процессов и производств: учеб.пособие / О.М. Соснин; М.: Академия, 2007 356 с.

Интернет-ресурсы:

6. Данилов, А.Д. Технические средства автоматизации: учеб.пособие / А.Д. Данилов; Воронеж: Воронежская лесотехническая академия, 2007. 340 с. – Режим доступа: [e/lanbook.com](http://e/lanbook.com).
7. Глухов, Д.А. Технические измерения и приборы: учеб.пособие / Д.А. Глухов; Воронеж: Воронежская лесотехническая академия, 2009. 251 с. – Режим доступа: [e/lanbook.com](http://e/lanbook.com).
8. Николайчук, О.И. Современные средства автоматизации, практические решения: учеб.пособие / О.И. Николайчук; М.: СОЛОМОН–ПРЕСС, 2009. 256 с. – Режим доступа: [e/lanbook.com](http://e/lanbook.com).
9. Дубов, Г.М. Методы и средства измерений, испытаний и контроля: учеб.пособие / Г.М. Глухов; изд. КузГТУ, 2011. 224 с. – Режим доступа: [e/lanbook.com](http://e/lanbook.com).

## ИЗУЧЕНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ УРОВНЕМ ЖИДКОСТИ В ЕМКОСТИ.

**Цель и содержание:** Практическое изучение методов автоматического измерения и регулирования уровня жидкости в резервуаре.

### Теоретическое обоснование

Измерение уровня жидкости

Устройства для измерения уровня жидкости подразделяют на указательные стекла, поплавковые, гидростатические, электрические и радиоактивные уровнемеры.

*Указательные стекла* выполняют в виде стеклянной трубки, либо одной или нескольких камер с плоскими стеклами, соединенных с аппаратом. Указательные стекла применяются для местного измерения уровня в аппаратах, работающих при атмосферном или избыточном давлениях.

*Поплавковые уровнемеры.* В этих приборах чувствительным элементом является плавающий поплавок, плотность которого меньше плотности жидкости, или погружной поплавок, плотность которого больше, чем плотность жидкости. В первом из них поплавок следит за уровнем жидкости; второй работает по принципу изменения выталкивающей (Архимедовой) силы, действующей на поплавок. В уровнемерах с погружным поплавком последний удерживается в подвешенном состоянии посредством пружинного элемента. Такие уровнемеры применяются для измерения уровня до 9 м.

*Гидростатические уровнемеры.* Их действие основано на изменении гидростатического давления столба жидкости при изменении измеряемого уровня. Различают два вида гидростатических уровнемеров: пьезометрические и дифманометрические. Действие гидростатических пьезометрических уровнемеров основано на измерении давления воздуха или газа, барботирующего через слой жидкости, уровень которой измеряется.

Их часто применяют для определения уровня жидкостей, обладающих повышенной вязкостью. В гидростатических дифманометрических уровнемерах уровень жидкости определяется по перепаду давления столбов жидкости в аппарате и в уравнительном сосуде.

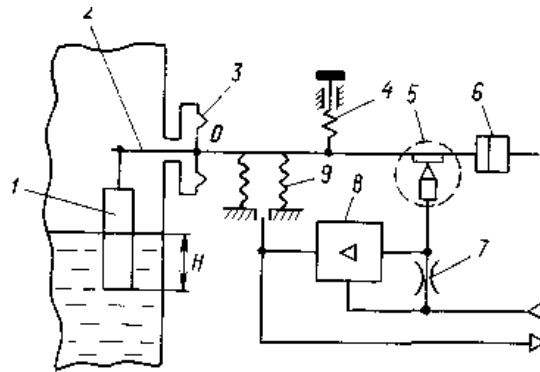
*Электрические уровнемеры.* Для измерения уровня жидких диэлектриков применяют емкостные уровнемеры. Чувствительным элементом последних является конденсатор, между вертикально установленными обкладками которого находится жидкость. При изменении уровня жидкости изменяется емкость конденсатора, включенного в одно из плеч моста переменного тока, и на вход вторичного прибора подается сигнал, пропорциональный измеряемому уровню. Емкостные уровнемеры применяют для измерения уровня жидких (за исключением вязких и кристаллизующихся) и сыпучих сред.

*Радиоактивные уровнемеры.* Измерение уровня жидкости этими приборами основано на изменении интенсивности радиоактивного излучения при прохождении его через слой жидкости. Источник и приемник излучения располагаются снаружи, с противоположных сторон аппарата, уровень жидкости в которых измеряется. Если уровень жидкости находится ниже линии, соединяющей источник и приемник излучения, то последний фиксирует большую интенсивность излучения, и наоборот. Изменение интенсивности излучения преобразуется в электронном блоке в электрический сигнал, который измеряется вторичным прибором. Радиоактивные уровнемеры применяются для измерения уровня в закрытых резервуарах, заполненных агрессивной или легковоспламеняющейся жидкостью, а также жидкостью под высоким давлением или при высокой температуре (расплавленные металлы).

#### Буйковые уровнемеры

Принцип действия основан на законе Архимеда (рисунок 6.1). Изменение уровня жидкости в аппарате воспринимается стальным буйком 1, который тяжелее жидкости. Боек подвешен на рычаге 2, выходящем из аппарата через центр уплотнительной мембраны 3 (точка О). Начальный вес буйка (при нулевом уровне) уравновешен весом груза 6. С повышением уровня боек погружает-

ся в жидкость, и действующая на него выталкивающая сила создает момент относительно точки О. Закрепленная на рычаге заслонка индикатора рассогласования 5 приближается к соплу, и давление воздуха, подводимого к нему через постоянный дроссель 7, увеличивается.



1 – боек; 2 – рычаг; 3 – мембрана; 4 – корректор нуля; 5 – индикатор рассогласования; 6 – груз; 7 – постоянный дроссель; 8 – усилитель мощности; 9 – сиффон обратной связи

Рисунок 6.1 - Буйковый уровнемер

Пневмосигнал, усиленный по мощности усилителем 8, поступает в линию вторичного прибора и в сиффон 9 обратной связи. Давление воздуха на выходе нарастает до тех пор, пока момент силы, создаваемый сиффоном, не уравновесит момент со стороны буйка. В результате этого давление воздуха будет пропорционально уровню жидкости. Величину уровня показывает вторичный прибор. Пневмосигнал изменяется в диапазоне 20... 100 кПа, его начальное значение устанавливается корректором 4. Перестройка прибора на жидкость с другой плотностью производится перемещением сиффона вдоль рычага. Верхний предел измерения буйкового уровнемера зависит от высоты буйка и может достигать 10 м. В зависимости от условий измерений боек находится или внутри аппарата, или в выносной камере, сообщаемой с ним.

### Аппаратура, оборудование и материалы

Экспериментальная установка, представленная на рисунок 6.2, включает в себя объект управления, средства автоматизации.

Экспериментальная лабораторная установка включает в себя объект управления и средства автоматизации (буйковый уровнемер, вторичный пневматический регулирующий прибор, исполнительное пневматическое устройство).

Объектом управления является резервуар с жидкостью, а регулируемым параметром - уровень жидкости в резервуаре.

Измерение и регулирование уровня жидкости выполняется комплектом средств автоматизации — буйковым уровнемером с пневматическим выходным сигналом 0,02 — 0,1 МПа, вторичным измерительным и регулирующим прибором ESKARDT с указанием положения клапана и переключением режимов управления с ручного на автоматическое, пневматическим исполнительным устройством.

На лицевой стороне прибора ESKARDT размещены шкалы двух его измерительных устройств, кнопочный переключатель режимов работы и ручка задатчика. На шкале показывается текущее значение регулируемого параметра (уровня) и заданное значение.

Ручным задатчиком устанавливается заданное значение уровня. На нижней шкале контролируется давление воздуха в линии исполнительного механизма, т.е. положение регулирующего органа.

Кнопочный переключатель состоит из двух кнопок, которые служат для включения различных режимов управления исполнительным устройством (ИУ) регулятора: ручное и автоматическое.

Режим «Ручное управление» используется при пуско-наладочных работах или в случае отказа регулирующего блока. При нажатой кнопке «Ручное управление» регулирующий блок отключен. Оператор, наблюдая за показаниями по шкале, вращением ручным задатчиком, дистанционно управляет работой ИУ.

В режиме «Автоматическое регулирование» сигнал от ручного задатчика поступает в регулирующий блок, а выходной сигнал с блока — на ИУ. В состоянии равновесия САР указатели шкал текущего значения параметра и заданного должны находиться на одном уровне (при использовании ПИ-закона регулиро-



вания), а положение затвора ИУ будет зависеть от нагрузки объекта. В этом режиме не требуется вмешательства оператора (за исключением корректировки задания).

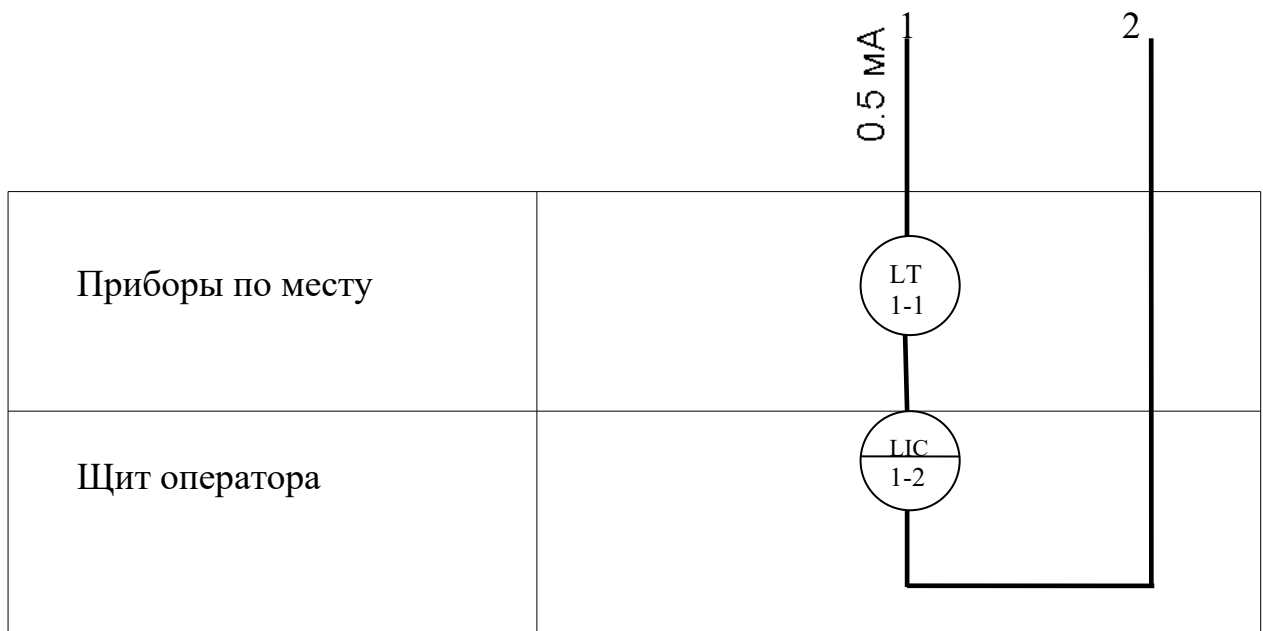
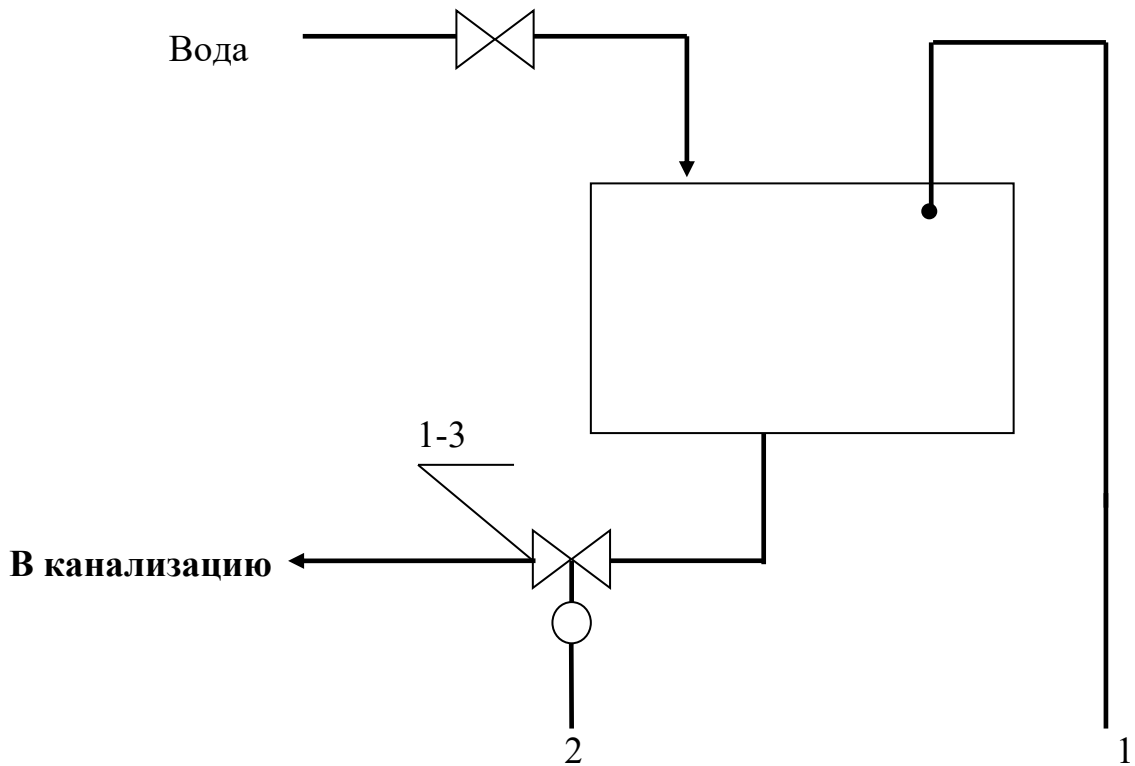
При переходе с ручного управления на автоматическое технологический процесс к моменту переключения должен быть выведен вручную на заданный режим.

Все переключения должны выполняться достаточно быстро.

Функциональная схема измерения и регулирования уровня

Функциональная схема измерения и регулирования уровня воды изображена на рисунке 4.2. Вода подается в резервуар 1 из водопровода через вентиль 2, который открывается и закрывается оператором вручную, а сливается через клапан 3. Управление клапаном 3 реализовано с помощью системы автоматического регулирования уровня воды в резервуаре 1. Из резервуара вода сливается в канализацию.

В качестве датчика уровня используется буйковый уровнемер поз. 1-1 с пневматическим выходным сигналом  $0,02 \dots 0,1$  МПа ( $0,2 \dots 1$  кгс/см<sup>2</sup>), который поступает на показывающий регулирующей прибор поз. 1-2 и на пневматическое исполнительное устройство поз.1-3. Пневматический сигнал  $0,02 \dots 0,1$  МПа ( $0,2 \dots 1$  кгс/см<sup>2</sup>) поступает в качестве сигнала задания (на вход "задание") регулирующего устройства вторичного прибора поз.1—2. На измерительный вход регулятора поступает сигнал, измеренный уровнемером поз. 1-1. Регулятор отрабатывает ПИ-закон регулирования в соответствии с заданным коэффициентом усиления  $K_p$  и постоянной времени интегрирования  $T_i$ . Выходной сигнал регулятора  $0,02 \dots 0,1$  МПа ( $0,2 \dots 1$  кгс/см<sup>2</sup>) поступает на регулирующий клапан поз. 1-3, исходное состояние которого нормально открытое (но), т.е. клапан закрывается при увеличении сигнала от  $0,02$  до  $0,1$  МПа, и плавно закрывается слив воды.



1 - резервуар; 2 - вентиль; 3 - регулирующий клапан.

Рисунок 6.2 - Измерение и регулирование уровня. Функциональная схема автоматизации

Пределы измерения уровня от 0 до 1,6 м. Вторичный прибор поз. 1-2 служит для автоматического управления и визуального контроля за работой САР и регулирующего клапана.

### **Указания по технике безопасности**

Включать подачу сжатого воздуха, переключать режимы управления и проводить лабораторную работу только в присутствии преподавателя.

### **Методика и порядок выполнения работы**

Открыть кран для заполнения резервуара водой.

Работа проводится в два этапа.

Первый этап. Наполнить резервуар до уровня выше ожидаемого, т.е. в дальнейшем осуществить регулирование при повышении уровня жидкости в резервуаре.

Установить необходимое давление питания сжатым воздухом (0,14 МПа). В ручном режиме управления установить заданное значение уровня (выше текущего), регулирующей клапан перевести в положение «закрыто», переведя ручку управления клапаном в крайнее правое положение. После достижения уровня выше регулируемого на 0,2...0,3 м, нажать кнопку "автоматическое" и каждую минуту проводить регистрацию данных, записывая измененное значение уровня и положение регулирующего клапана.

Второй этап. Перейти на ручное управление, для чего перевести ручку управления ручного задатчика в положение ниже текущего значения уровня, регулирующей клапан — в положение «закрыто». Нажать кнопку "автоматическое" и, аналогично, каждую минуту проводить регистрацию данных при пониженном значении уровня жидкости, записывая измененное значение уровня и положение регулирующего клапана.

По окончании работы, перейти на ручное управление, ручку управления клапаном перевести в крайнее левое положение, положение «открыто», выключить кран подачи воды на резервуар, отключить питание сжатым воздухом.

Построить графики изменения уровня жидкости во времени (при понижении и увеличении уровня), а также графики изменения положения клапана во времени при понижении и увеличении уровня.

### **Содержание отчета, форма и правила оформления отчета по лабораторной работе**

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Функциональная схема.
4. Спецификация приборов и средств автоматизации.
5. Результаты выполнения работы по двум этапам, временные характеристики.
6. Выводы.

Отчет может быть представлен в рукописном или на формате А4 в машинописном вариантах.

### **Вопросы для защиты работы**

1. Назначение и принцип действия приборов для измерения уровня.
2. Область применения приборов для измерения уровня, достоинства, недостатки.
3. Перечислить контрольно-измерительную и регулирующую аппаратуру, дать ей характеристику: назначение, преобразования, диапазон измерения.
4. Какие функции выполняет вторичный прибор, его выходной сигнал?
5. Какая система передачи сигнала используется в данной работе?
6. Объяснить назначение прибора ESKARDT и принцип его работы.
7. Объяснить, как меняется положение клапана при изменении уровня.

К защите допускается студент, выполнивший лабораторную работу в установленном объеме и оформивший отчет согласно требованиям. Защита проводится по теме лабораторной работы.

**Список литературы, рекомендуемый к использованию по данной теме**

Рекомендуемая литература.

Основная литература:

1. Шишмарев, В.Ю. Средства измерений: учеб.пособие/ В.Ю. Шишмарев; 3-е изд., стер. М.: Академия, 2009. 320 с.
2. Раннев, Г.Г. Методы и средства измерений: учебник/ Г.Г. Раннев: М.: Академия, 2009. 323 с.
3. Малафеев С. И., Малафеева А.А. Основы автоматизации и системы автоматического управления: учебник. – М: Академия, 2010.– Раннев, Г.Г. Методы и средства измерений: учебник/ Г.Г. Раннев: М.: Академия, 2009. 323 с.

Дополнительная литература:

4. Бородин, И.Ф. Автоматизация технологических процессов / И.Ф. Бородин, Ю.А. Судник; М.: Колосс, 2004. 344 с.
5. Соснин, О.М. Основы автоматизации технологических процессов и производств: учеб.пособие / О.М. Соснин; М.: Академия, 2007 356 с.

Интернет-ресурсы:

6. Данилов, А.Д. Технические средства автоматизации: учеб.пособие / А.Д. Данилов; Воронеж: Воронежская лесотехническая академия, 2007. 340 с. – Режим доступа: [e/lanbook.com](http://e/lanbook.com).
7. Глухов, Д.А. Технические измерения и приборы: учеб.пособие / Д.А. Глухов; Воронеж: Воронежская лесотехническая академия, 2009. 251 с. – Режим доступа: [e/lanbook.com](http://e/lanbook.com).
8. Николайчук, О.И. Современные средства автоматизации, практические решения: учеб.пособие / О.И. Николайчук; М.: СОЛОМОН–ПРЕСС, 2009. 256 с. – Режим доступа: [e/lanbook.com](http://e/lanbook.com).
9. Дубов, Г.М. Методы и средства измерений, испытаний и контроля: учеб.пособие / Г.М. Глухов; изд. КузГТУ, 2011. 224 с. – Режим доступа: [e/lanbook.com](http://e/lanbook.com).

**Методические указания по выполнению лабораторных работ**

по дисциплине

***Современные средства автоматизации***

студентов направлений

15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств

Составители:

Е.Б. Новоселова, ст. преподаватель,

Рецензент:

Зав. кафедрой ИСЭиА НТИ (филиал) СКФУ

к.т.н., доцент

Д.В. Болдырев

Редактор Л.Д. Бородастова

---

Подписано в печать 2015 г. Формат 60 x 84 1/16

Усл. печ. л.

Тираж 50

ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет»

Невинномысский технологический институт (филиал)

---

357108 г. Невинномысск, ул. Гагарина, 1