

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное бюджетное государственное образовательное  
учреждение высшего образования  
Саратовский государственный аграрный университет  
имени Н.И. Вавилова**

**ЛАБОРАТОРНЫЙ  
ПРАКТИКУМ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

**«ОСНОВЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ  
ПРОЦЕССОВ»**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ  
РАБОТ**

**Направление подготовки  
35.03.07 Технология производства и переработки  
сельскохозяйственной продукции**

**Профиль подготовки  
Технология пищевых производств в АПК**

**Саратов 2018**

**Основы автоматизации технологических процессов** Метод. указания по выполнению лабораторных работ для направления подготовки 35.03.07 Технология производства и переработки сельскохозяйственной продукции / Сост.: А.К. Алейников // ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – Саратов, 2018. – 70с.

Методические указания по выполнению лабораторных работ составлены в соответствии с программой дисциплины и предназначены для студентов направления подготовки 35.03.07 Технология производства и переработки сельскохозяйственной продукции. Направлены на формирование у студентов навыков в освоении новых видов технологического оборудования при изменении схем технологических процессов переработки сырья животного происхождения.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

Изучение промышленных приборов для измерения и регулирования технологических параметров

### 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Ознакомиться с приборами МПР-51 и ТРМ202, принципом действия и методикой программирования параметров управления.

### 2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Регулятор температуры и влажности, программируемый по времени, ОВЕН МПР51-Щ4

Предназначен для управления многоступенчатыми температурно-влажностными режимами технологических процессов при производстве мясных и колбасных изделий, в хлебопекарной промышленности, в инкубаторах, термо- и климатокамерах, варочных и сушильных шкафах, при сушке древесины, изготовлении железобетонных конструкций и пр.

Стандартные варианты применения МПР51

Измеритель-регулятор температуры и влажности ( $T_{\text{сух}}, \psi$ );

Измеритель-регулятор температуры и разности температур ( $T_{\text{сух}}, \Delta T$ );

Двухканальный измеритель-регулятор температуры с дополнительным каналом сигнализации ( $T_{\text{сух}}, T_{\text{влаж}}, T_{\text{прод}}$ ).



Рис 1.1. Лицевая панель прибора.

### 3. ЦИФРОВЫЕ ИНДИКАТОРЫ

Цифровой индикатор «ЧАСЫ:МИНУТЫ» в режимах ОСТАНОВ и РАБОТА показывает время от начала программы, а в режиме ПРОГРАММИРОВАНИЕ - имя параметра.

Цифровой индикатор «ПАРАМЕТР» показывает значения температуры  $T_{\text{сух}}$ ,  $T_{\text{влаж}}$ ,  $T_{\text{прод}}$  и положение задвижек 1 и 2 (КЗР1 и КЗР2). В режиме ПРОГРАММИРОВАНИЕ выводится значение задаваемого или просматриваемого параметра.

Цифровой индикатор «ШАГ» в режимах ОСТАНОВ и РАБОТА показывает номер шага. В режиме ПРОГРАММИРОВАНИЕ на уровне L1 при задании или просмотре параметров компараторов показывает номер компаратора. По окончании программы - слово «Ed» (сокращ. англ. «End»).

Цифровой индикатор «ВЛАЖНОСТЬ,%» в режимах ОСТАНОВ и РАБОТА показывает влажность или номер программы в зависимости от установленного значения параметра. В режиме ПРОГРАММИРОВАНИЕ на уровнях L2, L3, L4 показывает номер уровня.

Светодиод «АВАРИЯ» светится при выходе значения входного параметра за установленные границы, а также после окончания программы.

Светодиод «СТОП» светится в режиме ОСТАНОВ.

Пять зеленых светодиодов указывают входную величину, значение которой выведено на цифровой индикатор «ПАРАМЕТР».

#### 4. КНОПКИ УПРАВЛЕНИЯ

Кнопки управления размещаются в правой нижней части передней панели.

Кнопка  (вверх) в режиме ОСТАНОВ и РАБОТА предназначена для перехода между входными величинами, отображаемыми на индикаторе «ПАРАМЕТР». В режиме ПРОГРАММИРОВАНИЕ служит для перехода между параметрами при их просмотре и увеличении значения программируемого параметра.

Кнопка  предназначена для входа в режим ПРОГРАММИРОВАНИЕ, перехода на различные уровни основного меню, а также для занесения в память выбранного значения программируемого параметра.

Кнопка  в режиме ОСТАНОВ служит для перехода в начало первого шага программы и сброса сигнала АВАРИЯ. В режиме ПРОГРАММИРОВАНИЕ - для уменьшения значения программируемого параметра.

Кнопка  переводит прибор из режима ОСТАНОВ в режим РАБОТА и обратно. В режиме ПРОГРАММИРОВАНИЕ с помощью этой кнопки осуществляется выход из текущего уровня в основное меню без записи нового значения программируемого параметра, а из основного меню осуществляется выход из режима (ПРОГРАММИРОВАНИЕ).

#### 5. РЕЖИМ ПРОГРАММИРОВАНИЯ (ПРОГРАММИРУЕМЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПРЕДСТАВЛЕНЫ В ПРИЛОЖЕНИИ Д)

##### 5.1. Общие указания

5.1.1. Режим ПРОГРАММИРОВАНИЕ предназначен для установки значений параметров работы прибора, необходимых при эксплуатации, записи их в энергонезависимую память МПР51-ЦЦ4, а также просмотра значений параметров.

5.1.2. В приборе предусмотрено программирование параметров **на четырех уровнях:**

- на уровне L1 задаются значения параметров программ управления;
- на уровне L2 задаются значения параметров, общих для всего прибора, и значения параметров регулирования;
- на уровне L3 задаются значения параметров автонастройки ПИД - регуляторов;
- на уровне L4 задаются значения параметров калибровки датчиков температуры и положения задвижки.

##### 5.2. Основное меню режима ПРОГРАММИРОВАНИЕ

###### 5.2.1. Вход в режим ПРОГРАММИРОВАНИЕ

Для входа в режим ПРОГРАММИРОВАНИЕ надо нажать кнопку  (см.рис. 1), при этом на верхнем индикаторе «ЧАСЫ:МИНУТЫ» замигает сообщение «PrG».

Для выбора уровня программирования необходимо после появления сообщения «ВЛАЖНОСТЬ,%» индицируется номер программы. «PrG» (нажать кнопку  (вверх), прибор перейдет на уровень L1; дальнейшее нажатие этой кнопки позволяет последовательно перейти на уровни программы, которая будет выполняться с первого шага программирования L2, L3, L4 и далее в «нижнее» состояние «Out» основного меню (означает окончание списка параметров, в данном случае - списка уровней программирования). При этом на индикаторе «ЧАСЫ:МИНУТЫ» высвечивается наименование каждого уровня и состояния.

Нажатием кнопки  (вниз) осуществляется обратный переход от уровня L4 к уровням L3, L2, L1, «PgG» и далее в «верхнее» состояние «Out» основного меню.

#### 5.2.2. Переход в подрежим выбора программы (шага)

Для перехода в подрежим выбора программы (шага) для исполнения необходимо после появления сообщения «PgG» нажать кнопку. Прибор перейдет в подрежим выбора программы (шага) для исполнения. При этом на индикаторе «ВЛАЖНОСТЬ, %» индицируется номер программы.

С помощью кнопок  (вверх) или  (вниз) устанавливается номер нужной программы, которая будет выполняться с первого шага. Если программа должна выполняться не с первого шага, то, нажав кнопку , устанавливают кнопками  (вверх) и  (вниз) номера шага, с которого начнется выполнение программы; при этом на индикаторе «ШАГ» высвечивается номер шага. Для выхода из подрежима выбора программы (шага) для исполнения надо нажать кнопку  - происходит переход в «верхнее» состояние, при этом на индикаторе «ВЛАЖНОСТЬ, %» высвечиваются прочерки, а на индикаторе «ЧАСЫ:МИНУТЫ» появляется надпись «Out». Для последующего выхода из режима ПРОГРАММИРОВАНИЕ надо еще раз нажать кнопку .

Если вход в режим программирования осуществляется из режима РАБОТА, то после выхода из режима ПРОГРАММИРОВАНИЕ сразу начнется выполнение установленной программы (шага).

Выход из основного меню режима ПРОГРАММИРОВАНИЕ осуществляется путем нажатия кнопки . Прибор перейдет в тот режим, из которого был произведен вход в режим ПРОГРАММИРОВАНИЕ.

ВНИМАНИЕ! При программировании сначала задаются параметры уровня L2, затем L1.

### 5.3. Вход в уровень L2

Для входа в уровень L2 и необходимо, находясь в основном меню на мигающем «L2», нажать кнопку . На двояном индикаторе «ЧАСЫ:МИНУТЫ» будет гореть надпись «Cod», на индикаторе «ПАРАМЕТР» будет мигать произвольное число на самом нижнем индикаторе отображается обозначение уровня L2.

В общем случае (когда параметр секретности «Scr» в уровне L2 равен 1 или 2 надо кнопками  (вверх) и  (вниз) установить код доступа в уровень L2: Cod= -13, и затем нажать кнопку .

Если параметр Scr = 3 (устанавливается таким при продаже прибора), то можно сразу нажимать кнопку . Происходит переход к первому, общему для всего прибора параметру «o01», при этом имя параметра «o01» мигает на индикаторе «ЧАСЫ:МИНУТЫ», значение параметра отображается на индикаторе «ПАРАМЕТР».

5.3.1. Изменение значения параметра. Запись нового значения. Отказ от записи нового значения

Для изменения значения параметра следует нажать кнопку . Имя параметра на индикаторе «ЧАСЫ:МИНУТЫ» перестанет мигать, начнет мигать значение параметра на индикаторе «ПАРАМЕТР». Кнопками  (вверх) и  (вниз) надо установить требуемое значение параметра.

Для записи измененного значения надо нажать кнопку , новое значение запишется в память и произойдет переход к следующему параметру. Если набрано неверное значение, то вместо кнопки  следует нажать кнопку ; записи в память нового значения и перехода к следующему параметру не произойдет.

### 5.3.2. Просмотр значений параметров (без записи)

Для просмотра значений параметров надо использовать кнопку  (вверх) - если надо перемещаться вниз по списку параметров и кнопку  (вниз) - если надо перемещаться вверх по списку параметров, при этом на мигающем индикаторе «ЧАСЫ:МИНУТЫ» отображается имя параметра, а на индикаторе «ПАРАМЕТР» - его значение. Таким образом, можно просмотреть значения всех параметров, не входя в режим изменения значения параметра.

Примечание. Кнопками  (вверх) и  (вниз) всегда (в любых режимах и подрежимах) изменяется содержание мигающего индикатора.

### 5.3.3. Выход из уровня L2

Для выхода из уровня программирования L2 необходимо нажать кнопку , после чего прибор перейдет в состояние «Out» основного меню.

Если еще раз нажать кнопку , то произойдет выход из режима ПРОГРАММИРОВАНИЕ и возврат в режим ОСТАНОВ или РАБОТА.

При движении по списку параметров с помощью кнопок  (вверх) и  (вниз), в конце списка прибор переходит в состояние «Out» уровня L2. Из этого состояния можно выйти в состояние «Out» основного меню, также, как и из любого параметра уровня L2, путем нажатия кнопки .

## 5.4. Вход в уровень L1

Вход в уровень L1 осуществляется так же, как и в уровень L2 через код доступа *Cod*= 987.

После нажатия кнопки  происходит переход к выбору номера программы управления (программы технолога), значения параметров которой необходимо задать или просмотреть; при этом на верхнем индикаторе «ЧАСЫ:МИНУТЫ» высвечивается имя первого параметра «H01», на индикаторе «ПАРАМЕТР» мигает число шагов в программе, на нижнем индикаторе мигает «01» -номер программы.

Выбор номера программы. Изменение значения параметра. Запись нового значения. Отказ от записи нового значения. Просмотр значений параметров (без записи). Осуществляется так же, как и на уровне L2.

## 6. РАБОТА ПРИБОРА

### 6.1. Включение прибора

6.1.1 После включения прибора в сеть 220В в течение нескольких секунд мигают все индикаторы, затем мигание прекращается. Если на верхнем индикаторе появляется сообщение «R01», следует нажать кнопку .

Прибор находится в режиме ОСТАНОВ, для исполнения автоматически установлена первая программа и первый шаг.

6.1.2. Если прибор был выключен несколько часов назад (1 ...5 ч), при включении (если на верхнем индикаторе нет сообщения «R01») через несколько секунд мигание индикаторов, за исключением верхнего «ЧАСЫ:МИНУТЫ», прекратится. Прибор будет находиться в том режиме, в котором он находился при выключении: если прибор находился в режиме РАБОТА, то он продолжит выполнение программы; если прибор находился в режиме ОСТАНОВ, то при включении он также окажется в режиме ОСТАНОВ. Мигание верхнего индикатора «ЧАСЫ:МИНУТЫ» означает, что был перерыв в питании. Прекратить мигание индикатора следует нажатием кнопки .

### 6.2. Пуск и останов прибора

6.2.1. Если прибор находится в режиме ОСТАНОВ, то:

- горит светодиод «СТОП»;

-точка на индикаторе «ЧАСЫ:МИНУТЫ» не мигает (отсчет текущего времени программы не происходит).

Чтобы запустить установленную для выполнения программу (шаг), надо нажать кнопку . Светодиод «СТОП» погаснет, точка на индикаторе «ЧАСЫ:МИНУТЫ» замигает (начнется отсчет текущего времени программы (управления технолога)).

6.2.2. Если прибор находится в режиме РАБОТА, то:

- выполняется установленная программа управления;
- мигает точка на индикаторе «ЧАСЫ:МИНУТЫ»;
- не горит светодиод «СТОП»;
- на индикаторе «ШАГ» индицируется номер выполняемого шага;
- на индикаторе «ВЛАЖНОСТЬ, %» индицируется номер выполняемой программы или значение влажности (в зависимости от того, что назначено потребителем для вывода на индикатор «ВЛАЖНОСТЬ, %»).

Чтобы остановить выполнение программы управления (программы технолога), надо нажать кнопку . Произойдет переход в режим ОСТАНОВ.

Для сброса времени необходимо нажать кнопку .

### 6.3. Индикация аварийных ситуаций

6.3.1. В процессе работы прибора могут возникать аварийные ситуации. Все аварийные ситуации можно разделить на:

- аварийные ситуации на входе прибора;
- аварийные ситуации, возникшие из-за сбоя в работе прибора.

6.3.2. Аварийные ситуации на входе прибора создаются, когда управляющая величина на входе выходит за допустимые пределы:

- для температурных датчиков

медных (ТСМ) - это значение температуры ниже минус 50°C и выше плюс 200°C; платиновых (ТСП) - это значение температуры ниже минус 80 °C и выше плюс 750 °C;

- датчиков положения задвижки - значения менее 0 % и более 100 %.

При выходе управляемых (измеренных) величин за указанные пределы срабатывает реле «АВАРИЯ» и загорается светодиод «АВАРИЯ».

В диапазонах значений температур -100... -50°C и +200... +750°C для ТСМ и в диапазонах -100...-80°C и +750°...+850°C для ТСП на индикаторе отображается температура, хотя это соответствует аварийной ситуации. На то, что ситуация аварийная, указывает мигание показаний измеренной температуры на индикаторе «ПАРАМЕТР».

За пределами диапазонов значений -100...+750°C для ТСМ и -100...+850°C для ТСП на индикаторе «ПАРАМЕТР» индицируются мигающие прочерки «-----».

Когда положение задвижки выходит за пределы диапазона значений 0...100 %, измеренное значение продолжает индицироваться, на то, что ситуация аварийная, указывает мигание показаний измеренного значения на индикаторе «ПАРАМЕТР».

6.3.3. При возникновении аварийных ситуаций, вызванных сбоями в работе прибора, на индикаторе «ЧАСЫ:МИНУТЫ» индицируются следующие сообщения:

R01- оперативная память прибора не содержит упорядоченной информации;

R03 - параметр условия перехода к следующему шагу не находится в допустимых пределах;

R04- величина на входе компаратора не находится в допустимых пределах;

R05- время шага истекло и превысило 63 часов;

*R06-* появляется после перерыва питания, если было установлено значение параметра *o07=005*, а также если управляемая величина вышла за пределы, установленные в параметре *o08*;

*R07-* сбой режима работы прибора;

*R08-* появляется после отключения питания в случае аварийного останова со срабатыванием реле «АВАРИЯ» (если было установлено значение параметра *o07=002*);

*R09-* величина на входе регулятора не находится в допустимых пределах.

При появлении одного из указанных сообщений замыкается реле «АВАРИЯ» и загорается светодиод «АВАРИЯ». Если прибор в это время находится в режиме РАБОТА и выполняет программу (управления технолога), то происходит его переход в режим ОСТАНОВ, загорается светодиод «СТОП» и выполнение программы (управления технолога) прекращается.

Сообщение «*R01*» появляется, если в оперативной памяти прибора нарушен должный порядок содержащейся там информации. Это происходит при включении прибора после длительного пребывания в выключенном состоянии, а также вследствие действия сильной импульсной помехи во время работы прибора.

Сообщения «*R03*», «*R04*», «*R09*» появляются, когда измеренная (или вычисленная) величина, используемая программой управления, оказывается вне допустимых пределов. Это возможно как в результате действительного выхода управляемой величины за допустимые пределы, так и в результате сбоя работы прибора (например, после мощной помехи).

6.3.4. В некоторых случаях, когда аварийная ситуация возникает на входе, не используемом программой управления, прибор продолжает выполнение программы управления, не переходя в режим ОСТАНОВ. При этом замыкается реле «АВАРИЯ» и загорается светодиод «АВАРИЯ». Если аварийная ситуация на входе проходит, реле «АВАРИЯ» размыкается и светодиод «АВАРИЯ» гаснет.

## **7. ПРОГРАММА УПРАВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫМ РЕЖИМОМ В СУШИЛКЕ. (ПРИМЕР)**

### **7.1. Режимы технологического процесса**

Требуется непрерывное поддержание температуры  $+50^{\circ}\text{C}$  с точностью  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ .

### **7.2. Режим работы прибора**

Поскольку процесс непрерывный, программа управления имеет циклический характер. Цикл повторяется до нажатия кнопки СТОП. Поскольку будет регулироваться один параметр (температура), работать должен только один регулятор, который используется не как ПИД - регулятор, а как компаратор.

Датчик температуры должен подключаться к входу *Tсух*, к входам *Твлаж* и *Тпрод* для имитации подключения датчиков температуры подключаются резисторы сопротивлением 47.....91 Ом или 68... 120 Ом (в зависимости от модификации датчика на входе *Tсух* - сопротивлением 50 или 100 Ом, соответственно).

Цепь включения нагревателя должна коммутироваться с помощью реле *P2*.

Компараторы не используются.

### **7.3. Программирование прибора**

(табл. 3.1, 3.2).

Параметры программ:

*01* = 001 - один шаг;

*02* = 001- после окончания шага происходит возврат в его начало.

*Программируемые параметры, устанавливаемые на уровне L1*

### Параметры компараторов

| Параметр | Компаратор С 1 | Компаратор С2 | Компаратор С3 | Компаратор С4 | Комментарии                         |
|----------|----------------|---------------|---------------|---------------|-------------------------------------|
| c01      | -              | -             | -             | -             | Выходы<br>компараторов<br>отключены |
| c02      | 000            | 000           | 000           | 000           |                                     |
| c03      | -              | -             | -             | -             |                                     |
| c04      | -              | -             | -             | -             |                                     |
| c05      | -              | -             | -             | -             |                                     |
| c06      | -              | -             | -             | -             |                                     |
| c07      | -              | -             | -             | -             |                                     |
| c08      | -              | -             | -             | -             |                                     |
| c09      | -              | -             | -             | -             |                                     |
| c10      | -              | -             | -             | -             |                                     |

### Параметры шагов

| Параметр | Значение | Комментарии                                              |
|----------|----------|----------------------------------------------------------|
| n01      | -        | Задается длительность шага.                              |
| n02      | -        |                                                          |
| n03      | -        |                                                          |
| n04      | -        |                                                          |
| n05      | -        |                                                          |
| n06      | -        |                                                          |
| n07      | -        |                                                          |
| n08      | -        |                                                          |
| Y01      | 001      |                                                          |
| Y02      | -        |                                                          |
| Y03      | -        |                                                          |
| Y04      | -        | Можно задать любое значение, не равное 0.                |
| Y05      | 000      |                                                          |
| Y06      | 0.01     |                                                          |
| E01      | 002      |                                                          |
| E02      | 050      |                                                          |
| E03      | 00.0     | Устанавливается заданное значение температуры (уставка). |
| E04      | 000      |                                                          |
| E05      | 000      |                                                          |

### Программируемые параметры, устанавливаемые на уровне L2

| Программируемые параметры, устанавливаемые на уровне ЕЭ                                                                      |          |                                                                         |                                                 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|-------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Параметр                                                                                                                     | Значение | Комментарии                                                             |                                                 |
| o01                                                                                                                          | -        | Значение параметра задается в зависимости от типа применяемого датчика. |                                                 |
| o02                                                                                                                          | 001      |                                                                         |                                                 |
| o03                                                                                                                          | 000      |                                                                         |                                                 |
| o04                                                                                                                          | 001      |                                                                         |                                                 |
| o05                                                                                                                          | -        |                                                                         |                                                 |
| o06                                                                                                                          | -        |                                                                         |                                                 |
| o07                                                                                                                          | 001      |                                                                         |                                                 |
| o08                                                                                                                          | -        |                                                                         |                                                 |
| o09                                                                                                                          | -        |                                                                         |                                                 |
| o10                                                                                                                          | -        |                                                                         |                                                 |
| P01                                                                                                                          | 000      |                                                                         |                                                 |
| P02                                                                                                                          | 000      |                                                                         |                                                 |
| P03                                                                                                                          | 000      |                                                                         |                                                 |
| P04                                                                                                                          | -        |                                                                         |                                                 |
| P05                                                                                                                          | 000      |                                                                         |                                                 |
| P06                                                                                                                          | 000      |                                                                         |                                                 |
| P07                                                                                                                          | 002      |                                                                         |                                                 |
| P08                                                                                                                          | 00.5     |                                                                         | 1 -й регулятор управляет ИУ типа «нагреватель». |
| P.01                                                                                                                         | -        |                                                                         | Определяет точность регулирования(±1°C).        |
| P.02                                                                                                                         | -        |                                                                         |                                                 |
| P.03                                                                                                                         | -        |                                                                         |                                                 |
| P.04                                                                                                                         | -        |                                                                         |                                                 |
| P.05                                                                                                                         | -        |                                                                         |                                                 |
| P.06                                                                                                                         | -        |                                                                         |                                                 |
| P.07                                                                                                                         | 001      | 2-й регулятор отключен.                                                 |                                                 |
| P.08                                                                                                                         | -        |                                                                         |                                                 |
| Примечания.                                                                                                                  |          |                                                                         |                                                 |
| 1. ИУ- исполнительное устройство.                                                                                            |          |                                                                         |                                                 |
| 2. Прочерки в таблицах означают любое значение; обычно вместо прочерков записывают нули (или наименьшее значение параметра). |          |                                                                         |                                                 |

### 8. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Измерители, регуляторы двухканальные ТРМ202 предназначены для измерения и автоматического регулирования температуры (при использовании в качестве первичных преобразователей термопреобразователей сопротивления или термоэлектрических преобразователей), а также других физических параметров, значение которых первичными преобразователями (далее «датчиками») может быть преобразовано в унифицированный сигнал постоянного тока или напряжения. Информация о любом из измеренных физических параметров отображается в цифровом виде на встроенном четырехразрядном цифровом индикаторе.

Приборы могут быть использованы для измерения и регулирования технологических параметров в различных отраслях промышленности, коммунального и сельского хозяйства.

Прибор позволяет осуществлять следующие функции:

– измерение температуры и других физических величин (давления, влажности, расхода, уровня и т.п.)

в двух различных точках с помощью стандартных датчиков;

- независимое регулирование двух измеряемых величин по двухпозиционному закону;
- регулирование одной измеряемой величины по трехпозиционному закону;
- вычисление и регулирование разности двух измеряемых величин ( $T = T_1 - T_2$ );
- вычисление квадратного корня из измеряемой величины при работе с датчиками, имеющими унифицированный выходной сигнал тока или напряжения;
- отображение текущего значения измеряемой величины на встроенном светодиодном цифровом индикаторе;
- формирование выходного тока 4...20 мА для регистрации измеряемых данных или управления исполнительными механизмами по П, закону (в модификациях ТРМ202 Х.ИИ/РИ/КИ/СИ);
- регистрация данных на ПК и установление конфигурации прибора с компьютера через интерфейс RS,485;
- дистанционное управление регулятором.

## 9. ИНДИКАТОРЫ

- «RS» – засвечивается на 1 секунду в момент передачи данных компьютеру;
- «ЛУ1» – на индикатор выводится величина, назначенная на логическое устройство 1 (ЛУ1);
- «ЛУ2» – на индикатор выводится величина, назначенная на логическое устройство 2 (ЛУ2);
- «К1» – включено выходное устройство 1;
- «К2» – включено выходное устройство 2.

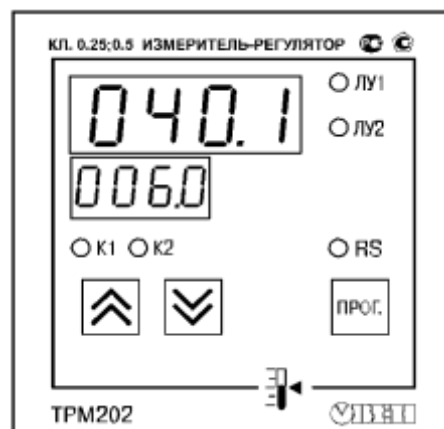


Рис 1.2. Лицевая панель прибора

## 10. РЕЖИМ ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Схема программирования прибора ТРМ202 представлена в приложении.

## 11. ПОРЯДОК И МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.

1. Внимательно прочитать данное методическое пособие
2. Включить вилку в розетку и подать напряжение на прибор МПР51.
3. Войти в режим программирования
4. Получить у преподавателя значения уставки и точности регулирования
5. Внести изменения в программу управления согласно приведенному примеру и заданным исходным значениям
6. Перейти к прибору ТРМ202 и внести в программу изменения по заданию преподавателя.

## **12. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.**

1. Что такое автоматическое регулирование?
2. Назначение прибора МПР-51?
3. Назначение прибора ТРМ202?
4. Какие параметры задаются на уровне L1?
5. Какие параметры задаются на уровне L2?
6. Какие параметры задаются на уровне L3?
7. Какие параметры задаются на уровне L4?
8. Допустимые пределы измерения для температурных датчиков ТСМ?
9. Допустимые пределы измерения для температурных датчиков ТСП?
10. Порядок программирования уровней?
11. Как войти в режим программирования?
12. Изменение значений параметра, запись и отказ от изменений?
13. Просмотр значений параметров?
14. Типы входных датчиков или сигналов?

## **13. ОБОРУДОВАНИЕ**

1. Регулятор температуры и влажности, программируемый по времени, ОВЕН МПР51-ИЦ4
2. Регулятор температуры двухканальный, ОВЕН ТРМ-202.

## **14. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Руководство по эксплуатации МПР-51
2. Руководство по эксплуатации ТРМ-202

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

Экспериментальное определение динамических свойств объекта регулирования

### 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Ознакомиться с методикой определения динамических свойств объектов регулирования по экспериментально полученным переходным характеристикам.

### 2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Динамические характеристики могут определяться аналитическим и экспериментальным путем. Определение динамических свойств объектов аналитическим путем сводится к составлению дифференциальных уравнений динамики поведения объекта регулирования на основании использования основных законов физики (сохранения энергии, массы и т.д.). Однако, для сложных объектов эти уравнения имеют высокий порядок, их решение является трудоемкой задачей. В связи с этим в практических приложениях динамические свойства объектов весьма часто определяют экспериментальным путем.

Для экспериментального определения переходной характеристики (кривой разгона) объект приводят в равновесное состояние, близкое к номинальному. Затем быстрой перестановкой регулирующего органа вносят скачкообразное возмущение и через определенные промежутки времени регистрируют изменяющиеся значения выходной величины (регулируемого параметра) до прихода ее к новому установившемуся значению. На основании полученных данных строят график переходной характеристики объекта, т.е. график изменения выходной величины  $Y$  при скачкообразном изменении входной величины  $X$ .

Весь эксперимент проводится только для объекта (без регулятора) и необходим на стадии проектирования АСР.

По переходным характеристикам определяются динамические параметры объекта: постоянная времени  $T$ , запаздывание  $\tau$ , коэффициент передачи  $K$  (см.рис.2.1).

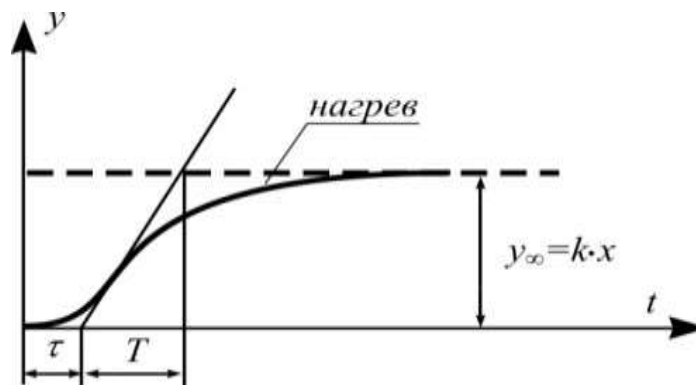


Рис. 2.1. График переходной характеристики объекта.

По переходным характеристикам выявляются также следующие свойства объекта: самовыравнивание и емкость.

Самовыравниванием называют свойство объекта самостоятельно (без участия регулятора) восстанавливать нарушенное равновесие притока вещества или энергии со стороны, в результате чего после некоторого времени (времени переходного процесса) определенный параметр вновь принимает установившееся значение (не обязательно прежнее).

Самовыравнивание является желательным, т.к. облегчает работу регулятора, однако не все объекты обладают самовыравниванием.

Вид переходной характеристики зависит и от другого свойства емкости. Емкость - способность объекта в процессе работы накапливать или истощать вещество или энергию.

Емкость является аккумуляющей способностью объекта. Ее физическая сущность различна в зависимости от характера объекта и происходящего в нем процесса. Так, для тепловых объектов емкостью является их теплоемкость.

Различают одноемкостные, двухемкостные и, многоемкостные объекты. В одноемкостном объекте вещество или энергия расходуются непосредственно в полезном объеме и изменяют определенный параметр только в нем. Многоемкостные объекты имеют на пути отвода или подвода вещества или энергии дополнительные емкости, также аккумуляющие вещество или энергию. Следовательно, после нанесения возмущения последнее проявляет себя в полезном объеме с запаздыванием. Например, если вводить тепло в камеру А (рис. 2.2), то температура в камере Б начнет повышаться только после нагрева разделяющей их перегородки, а время запаздывания определится ее теплоемкостью.

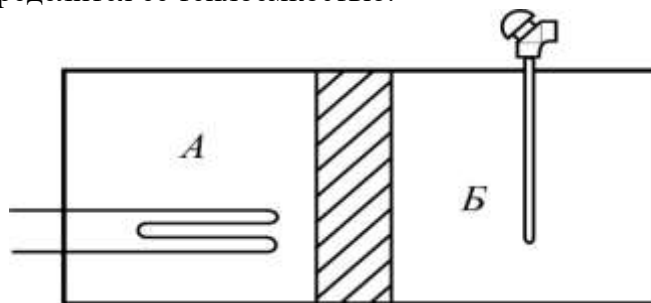


Рис. 2.2. Двухемкостной объект регулирования

Поведение реальных объектов описывается дифференциальными уравнениями. Наиболее простым оно оказывается для одноемкостных объектов.

$$T \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = k \cdot x(t) \quad (1)$$

Его решением является уравнение экспоненты

$$y(t) = k \cdot x(1 - e^{-\frac{t}{T}}) = y_{\infty} (1 - e^{-\frac{t}{T}}) \quad (2)$$

где  $T$  - постоянная времени объекта, определяемая как подкасательная в любой точке экспоненты (если все равны между собой) (рис.3):

$K$  - коэффициент передачи объекта,

$X(t)$  - возмущение, превышение притоком или расходом определенного значения,

$Y(t)$  - текущее отклонение параметра от первоначального установившегося значения,

$Y_{\infty}$  - максимальное отклонение параметра от первоначального до нового установившегося значения,

$t$  - текущее время.

В зависимости от динамических свойств объектов переходные характеристики имеют различный характер.

На рис. 2.3 приведена переходная характеристика одноемкостного объекта, а на рис. 4 - переходная характеристика двухемкостного объекта. Математические выражения для последнего оказываются более сложными, а переходная характеристика представлена кривой, имеющей точку перегиба  $S$ . Наличие точки

перегиба объясняется наличием дополнительной емкости, что приводит к более медленному изменению параметра в начальный период.

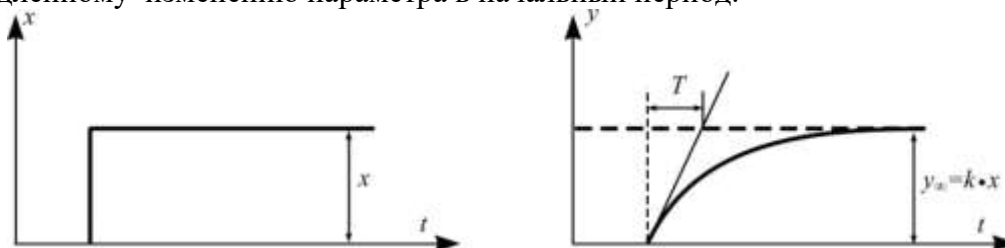


Рис.2.3. Переходная характеристика одноемкостного объекта.

### 3. ГРАФИЧЕСКИЙ МЕТОД РАСЧЕТА

Для упрощения расчетов часто переходную характеристику двухемкостного объекта заменяют (аппроксимируют) кривой одноемкостного объекта с запаздыванием. Для этого к переходной характеристике (см.рис. 2.4) в точке ее перегиба проводят касательную до пересечения с линией начального значения выходной величины и линией ее нового установившегося значения. Таким образом, запаздывание - это промежуток времени между моментом появления возмущения и началом изменения выходной величины. Причиной появления запаздывания может быть как наличие дополнительной емкости в объекте, так и наличие участков объекта, требующих времени для передачи изменения входного сигнала (трубопроводы, транспортеры и т.д.).

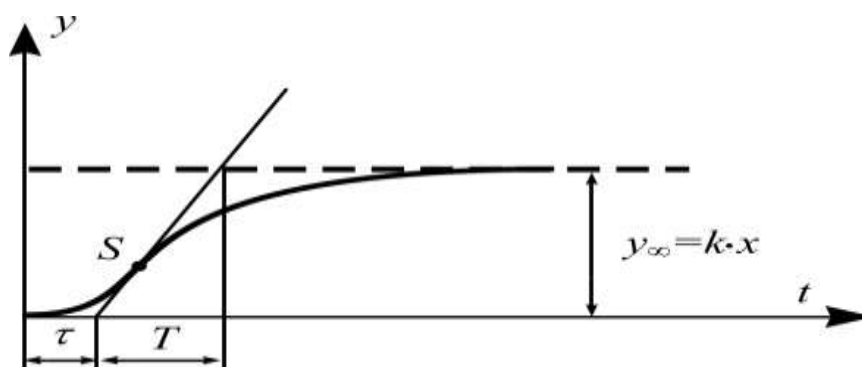


Рис. 2.4. Переходная характеристика двухемкостного объекта.

Отрезок времени от начала нанесения возмущения до точки пересечения касательной с осью времени составит запаздывание  $\tau$ .

Отрезок времени от момента пересечения касательной с осью времени до момента пересечения ее с линией нового установившегося значения выходной величины принимается за постоянную времени объекта  $T$ .

Индивидуальные свойства различных объектов, например одноемкостных, проявляются в том, что при одинаковом возмущении окажутся различными значения коэффициента передачи  $K$  и постоянной времени  $T$ . Именно для их нахождения ставится эксперимент по снятию переходной характеристики. Эти величины определяют характер протекания переходных процессов, их динамику и относятся поэтому к динамическим характеристикам объекта.

Следует отметить, что для многих объектов переходные характеристики, полученные при увеличении входной величины и при ее уменьшении, существенно различны. Естественно, что получаются и различные значения динамических параметров объекта.

#### 4. ЧИСЛЕННЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА

Кроме графического метода можно воспользоваться численным. Для этого определяют абсциссы точек, ординаты которых равны:

$$Y(t^{\text{II}}) = 0,33 y(\infty) + Y(0);$$

$$Y(t^{\text{I}}) = 0,7 y(\infty) + Y(0),$$

Где  $y(\infty) = Y_k - Y(0)$  – приращение кривой разгона за время переходного процесса;

$Y_k$ ,  $Y(0)$  – конечное и начальное соответственно значения кривой разгона.

По вычисленным значениям ординат, производя обратное преобразование, находим значения абсцисс  $t^{\text{II}}$ ,  $t^{\text{I}}$ , по которым и определяются искомые асимптотические параметры:

$$\tau_3 = 0,5 (3t^{\text{II}} - t^{\text{I}}); \quad T = 1,25 (t^{\text{I}} - t^{\text{II}}).$$

Таким образом, при проектировании АСР динамику объекта можно описывать двояко либо точной передаточной функцией (3),

$$W(p) = \frac{K}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)}, \quad (3)$$

либо приближённой (4).

$$W_3(p) = \frac{K \cdot e^{-\tau_3 p}}{(Tp + 1)} \quad (4)$$

В первом случае используют достаточно точные методы анализа и синтеза АСР (частотные, корневые и т.д.). Во втором – приближённые (графоаналитические). Рассмотрим порядок нахождения  $T$  аналитическим способом.

#### 5. ПОРЯДОК И МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.

Схема экспериментальной установки изображена на рис. 2.5.

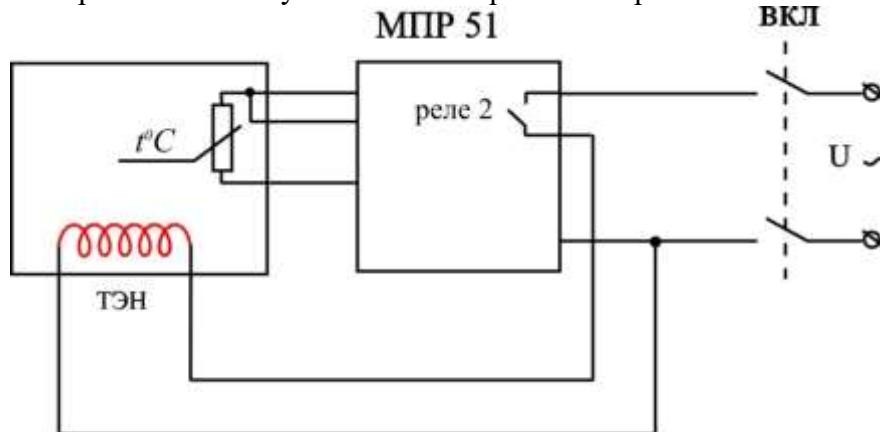


Рис. 2.5. Схема экспериментальной установки

1. Включением выключателя подать напряжение на МПР 51. Убедиться, что температура ТЭН имеет установившееся значение и записать это значение.

2. Установить задатчиком регулятора МПР51 значения температуры 190<sup>0</sup>С (по указанию преподавателя). Для этого в режиме ПРОГРММИРОВАНИЯ L1. Выбираем параметр E02 (задается значение уставки в данном случае 190<sup>0</sup>С). Записываем изменения в память прибора. Выходим из режима программирования и запускаем программу двухпозиционного регулирования.

3. С этого момента через каждые 60 с (время с точностью до минуты отображается на индикаторе прибора) фиксировать температуру объекта регулирования и записывать в таблицу отчета. Эксперимент закончить после того, как процесс регулирования примет установившийся характер.

4. Построить по экспериментальным точкам переходные характеристики объекта при ее нагреве в координатах: температура по оси ординат, время по оси абсцисс.

5. Полученные характеристики аппроксимировать переходной характеристикой одноемкостного объекта с запаздыванием.

6. По полученной экспериментально характеристике определить динамические параметры ЭН, время запаздывания  $\tau$  и постоянную времени объекта  $T$ .

а) графическим способом см. раздел 3,

б) численным методом см. раздел 4.

## **6.ОБОРУДОВАНИЕ**

1.Лабораторный стенд

## **7.СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Алейников, А.К. Системы управления химико-технологическими процессами / А.К. Алейников, Е.П. Решетняк, А.В. Комиссаров. - Саратов: ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2008. - 416 с. ISBN 978-5-9758-0740-3

2. Беспалов, А.В. Системы управления химико-технологическими процессами. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2007. - 690 с. ISBN 978-5-94628-311-3

3. Шишмарев, В.Ю. Основы автоматического управления: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений/ В.Ю.Шишмарев. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 352с. ISBN 978-5-7695-3952-7

4. Алейников, А.К. Лабораторный практикум по дисциплине «Системы управления химико-технологическими процессами» Методическое пособие для студентов специальностей: 260303 – «Технология мяса и мясопродуктов», 260301 – «Технология молока и молокопродуктов»/ А.К. Алейников, Е.П. Решетняк, И.В. Харина. - Саратов: Из-во ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2008. - 64с.

## ОТЧЕТ О ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ №2

|                       |                     |                    |                       |
|-----------------------|---------------------|--------------------|-----------------------|
| Ф.И.О.<br>исполнителя | Учебная<br>группа № | Дата<br>проведения | Отметка преподавателя |
|                       |                     |                    |                       |

Экспериментальное определение динамических свойств объекта регулирования измерительных схем

### 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Ознакомиться с методикой определения динамических свойств объектов регулирования по экспериментально полученным переходным характеристикам.

### 2. ТАБЛИЦА ДАННЫХ.

| Время<br>мин. | T<br>град | №<br>точки | Время<br>сек. | T град (Tп-Tначальная) | T град по таблице |
|---------------|-----------|------------|---------------|------------------------|-------------------|
| 0             |           | 0          | 0             |                        |                   |
| 1             |           |            |               |                        |                   |
| 2             |           |            |               |                        |                   |
| 3             |           | 1          | 180           |                        |                   |
| 4             |           |            |               |                        |                   |
| 5             |           |            |               |                        |                   |
| 6             |           | 2          | 360           |                        |                   |
| 7             |           |            |               |                        |                   |
| 8             |           |            |               |                        |                   |
| 9             |           | 3          | 540           |                        |                   |
| 10            |           |            |               |                        |                   |
| 11            |           |            |               |                        |                   |
| 12            |           | 4          | 720           |                        |                   |
| 13            |           |            |               |                        |                   |
| 14            |           |            |               |                        |                   |
| 15            |           | 5          | 900           |                        |                   |
| 16            |           |            |               |                        |                   |
| 17            |           |            |               |                        |                   |
| 18            |           | 6          | 1080          |                        |                   |
| 19            |           |            |               |                        |                   |
| 20            |           |            |               |                        |                   |
| 21            |           | 7          | 1260          |                        |                   |
| 22            |           |            |               |                        |                   |
| 23            |           |            |               |                        |                   |
| 24            |           | 8          | 1440          |                        |                   |
| 25            |           |            |               |                        |                   |
| 26            |           |            |               |                        |                   |
| 27            |           | 9          | 1620          |                        |                   |
| 28            |           |            |               |                        |                   |
| 29            |           |            |               |                        |                   |
| 30            |           | 10         | 1800          |                        |                   |
| 31            |           |            |               |                        |                   |
| 32            |           |            |               |                        |                   |
| 33            |           | 11         | 1980          |                        |                   |
| 34            |           |            |               |                        |                   |
| 35            |           |            |               |                        |                   |

|    |  |    |      |  |  |
|----|--|----|------|--|--|
| 36 |  | 12 | 2160 |  |  |
| 37 |  |    |      |  |  |
| 38 |  |    |      |  |  |
| 39 |  | 13 | 2340 |  |  |
| 40 |  |    |      |  |  |
| 41 |  |    |      |  |  |
| 42 |  | 14 | 2520 |  |  |
| 43 |  |    |      |  |  |
| 44 |  |    |      |  |  |
| 45 |  | 15 | 2700 |  |  |

### 3. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.

1. Что такое автоматическое регулирование?
2. Что такое объект автоматического регулирования?
3. Из каких элементов состоит автоматическая система регулирования?
4. Какую роль выполняет каждый из элементов автоматической системы регулирования?
5. Какие Вы знаете методы определения свойств объекта?
6. В чем суть метода снятия переходной характеристики?
7. Как определить динамические параметры объекта автоматического регулирования?
8. Какие свойства объекта Вы знаете?
9. Какие бывают объекты автоматического регулирования?
10. Для чего необходимо определять динамические свойства объектов регулирования.

*Подпись исполнителя*\_\_\_\_\_

---

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3**

### **Исследование процесса двухпозиционного регулирования**

#### **1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

В результате проведения настоящей лабораторной работы студенты должны уяснить принцип двухпозиционного регулирования, а также методику расчета показателей качества процесса двухпозиционного регулирования по динамическим свойствам объекта.

#### **2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ**

Вырабатываемые различными типами регуляторов при рассогласовании текущего и заданного значений параметра сигналы позволяют осуществлять различные виды регулирования. В одних системах регулирующий орган перемещается в любое положение в пределах его полного хода и регулирует пропускаемые количества вещества плавно. В других - наиболее простых - регулятор работает так, что регулирующий орган может занимать некоторые фиксированные положения. Например, регулирующая заслонка либо полностью открывается, либо, наоборот, полностью закрывается, т.е. имеет 2 фиксированные позиции. В некоторых случаях целесообразно, с точки зрения ведения процесса, устанавливать регулирующий орган также в промежуточное положение. Например, заслонка, кроме 2-х указанных положений, должна еще иметь возможность открываться наполовину. Число фиксированных позиций в таких случаях больше двух.

Регуляторы, работающие подобным образом, называют в общем случае позиционными, а по количеству позиций их подразделяют на:

- а) двухпозиционные (или регуляторы "открыт-закрыт"),
- б) трехпозиционные,
- в) многопозиционные,

Двухпозиционные системы регулирования широко используются в практике автоматического регулирования производственных процессов пищевой промышленности: для регулирования температуры, уровня, давления и других технологических параметров. Двухпозиционные автоматические системы регулирования, по сравнению с другими системами регулирования, несложны по конструкции, дешевы, надежны в работе, просто настраиваются и обслуживаются.

Двухпозиционные регуляторы часто встраиваются в базисные приборы: потенциометры, мосты, милливольтметры. В данной лабораторной установке двухпозиционный регулятор встроен в автоматический электронный мост.

В автоматической системе регулирования АСР основными элементами являются регулируемый объект и автоматический регулятор.

Регулируемый объект, который в большинстве случаев является неизменяемой частью, в основном определяют характер всей АСР.

Для правильного выбора регулятора необходимо знать динамику регулируемого объекта, т.е. поведение его при переходе из одного равновесного состояния в другое. Динамические свойства объекта изучены в лабораторной работе 5.

Рассмотрим в качестве примера электрическую схему двухпозиционного регулирования температуры нагревательного элемента (ТЭН), установленного в лаборатории кафедры (рис 3.1). Передняя панель лабораторного стенда изображена на рис 3.2, а график процесса двухпозиционного регулирования представлен на рис 3.3. Измерительное устройство АСР - термопреобразователь сопротивления ТС, вторичный показывающий прибор программный задатчик-регулятор. Заданное

значение и величину зоны нечувствительности можно изменить при помощи регулировок прибора МПР-51.

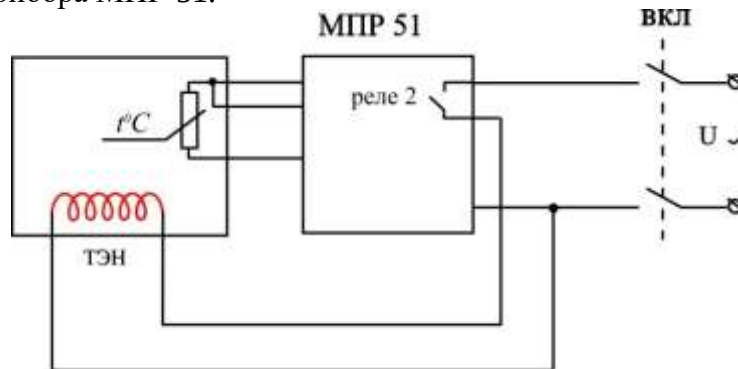


Рис. 3.1 Электрическая схема стенда.

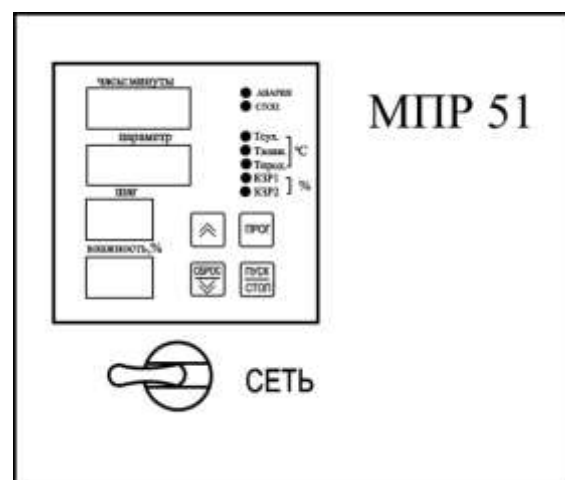


Рис. 3.2 Передняя панель стенда.

При включении установки, если температура ТЭН ниже заданного значения, контакты реле замкнуты (при этом загорается контрольная лампочка), на ТЭН подается напряжение. При повышении температуры она достигает верхней границы зоны нечувствительности и реле размыкает цепь ТЭН (лампочка гаснет). Температура начинает падать. Нагреватель не включен до тех пор, пока температура не упадет ниже нижней границы зоны нечувствительности. После чего контакты реле снова замыкаются на ТЭН подается напряжение и цикл работы системы регулирования повторяется.

Таким образом, процесс регулирования при использовании двухпозиционного регулятора представляет собой колебания регулируемой величины вокруг заданного значения (так называемые автоколебания). Качество такого процесса оценивается амплитудой  $u_a$  и периодом  $T$ . Их значение зависит от динамических свойств объекта регулирования, зоны нечувствительности регулятора, величины регулирующего воздействия.

Некоторые тепловые объекты регулирования, в том числе ТЭН, используемый в нашей лабораторной установке, имеют различные динамические свойства при нагреве и охлаждении. Переходные характеристики (кривые разгона) для нагрева и охлаждения теплового объекта получены в лабораторной работе 2. Они отличаются

значениями постоянных времени и могут быть аппроксимированы решениями дифференциальных уравнений 1-го порядка:

$$T_0 y' + y = y_0' - y_0 \quad (1)$$

В лабораторной установке в качестве регулятора с регулируемой зоной нечувствительности используется МПР-51. Его статическая характеристика приведена на рис. 3.4. В зоне нечувствительности состояние регулятора определяется не только значением входного воздействия, но и направлением изменения этого воздействия: при увеличении входного сигнала до  $Y=a$ , выходной сигнал скачкообразно принимает значение  $-X_1$  (реле разомкнуто), а при уменьшении входного сигнала до  $Y=-a$  выходной скачкообразно принимает значение  $+X_1$  (реле замкнуто).

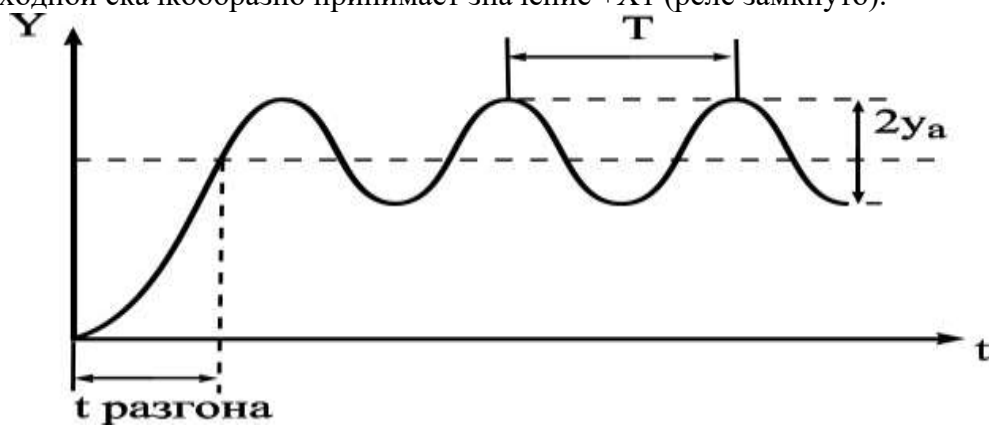


Рис. 3.3. Кривая переходного процесса двухпозиционного регулирования.

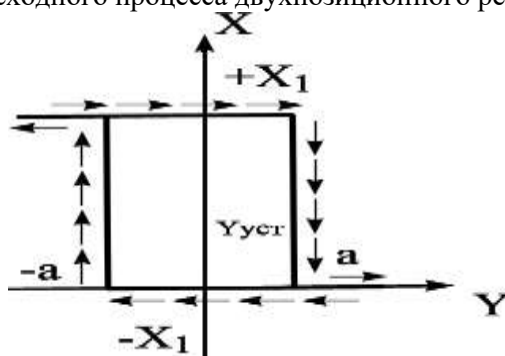


Рис. 3.4. Статическая характеристика регулятора.

Диапазон установившихся колебаний выходной величины ОР без запаздывания равен зоне неоднозначности двухпозиционного регулятора. Период установившихся колебаний  $T$  зависит от амплитуды регулирующего воздействия. Уменьшение регулирующего воздействия приводит к возрастанию  $T$ . Для объектов регулирования с запаздыванием амплитуда автоколебаний и длительность периода увеличиваются.

### 3. ПОРЯДОК И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ.

Изучить особенности систем релейного регулирования.

Экспериментальные исследования на стенде проводятся в следующей последовательности:

1. Проверить наличие необходимого оборудования на стенде.
2. Установить задатчиком регулятора МПР51 заданные значения температуры и зоны нечувствительности (по указанию преподавателя). Для этого в режиме ПРОГРММИРОВАНИЯ зайти на уровень L2 выбираем параметр *P07* и устанавливаем значение **002** (это означает что 1-ый регулятор управляет ИУ типа нагреватель). Переходим к параметру *P08* (здесь устанавливаем зону нечувствительности). Способом описанным выше вносим изменения в программу прибора. Переходим на уровень L1. Выбираем параметр *E02* (задается значение уставки). Запись изменений в память прибора осуществляется способом описанным выше. Выходим из режима программирования и запускаем программу двухпозиционного регулирования.
3. С этого момента через каждые 60 с (время с точностью до минуты отображается на индикаторе прибора) фиксировать температуру объекта регулирования и записывать в таблицу отчета. Эксперимент закончить после того, как процесс регулирования примет установившийся характер. Кругочком в таблице отмечать моменты включения и выключения исполнительного механизма. График переходного процесса перерисовать в отчет.
4. По полученному графику процесса регулирования определить его показатели качества: амплитуду  $U_a$  и период колебаний  $T_a$ .

#### 4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.

1. Что такое автоматическая система регулирования (АСР)?
2. Из каких элементов состоит автоматическая система регулирования, их назначение?
3. Какие виды регулирования Вы знаете?
4. Принцип работы позиционного регулятора?
5. Какими показателями оценивается качество двухпозиционного регулирования?
6. Что такое зона нечувствительности?
7. Как влияет величина зоны нечувствительности регулятора на процесс двухпозиционного регулирования?
8. Как влияет увеличение емкости объекта на процесс двухпозиционного регулирования?
9. Как влияет величина запаздывания объекта на качество регулирования.
10. Как можно улучшить качество регулирования двухпозиционной системы?
11. Какими достоинствами обладает двухпозиционный регулятор?

#### 5.ОБОРУДОВАНИЕ

- 1.Лабораторный стенд

#### 6.СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алейников, А.К. Системы управления химико-технологическими процессами / А.К. Алейников, Е.П. Решетняк, А.В. Комиссаров. - Саратов: ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2008. - 416 с. ISBN 978-5-9758-0740-3
2. Беспалов, А.В. Системы управления химико-технологическими процессами. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2007. - 690 с. ISBN 978-5-94628-311-3
3. Алейников, А.К. Лабораторный практикум по дисциплине «Системы управления химико-технологическими процессами» Методическое пособие для студентов специальностей: 260303 – «Технология мяса и мясопродуктов», 260301 – «Технология молока и молокопродуктов»/ А.К. Алейников, Е.П. Решетняк, И.В. Харина. - Саратов: Из-во ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2008. - 64с.

## 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

## 2. ЗАДАНИЕ НА ВЫПОЛНЕНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

2. Вычислить временные характеристики САУ и оценить основные показатели качества переходной функции.

$$W(p) = \frac{Y(p)}{X(p)}.$$

Внимание! При изображении передаточных функций в СИАМ вместо комплексной переменной  $p$  используется комплексная переменная  $s$ .

Единичной ступенчатой называется функция  $1(t)$ , график которой имеет вид, представленный на рис. 4.1.

Переходной функцией САУ  $h(t)$  называется ее реакция на единичный ступенчатый сигнал.

Пример переходной функции приведен на рис.1.2.

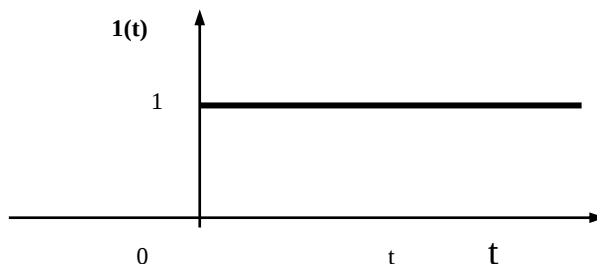


Рис.4.1. График единичной ступенчатой функции

Временем регулирования  $t_p$  называется момент времени, когда график переходной функции входит в «трубку»  $\pm 5\%$  от установившегося значения  $h(\infty)$  и больше не выходит из нее. В примере на рис. 4.2. время регулирования  $t_p \approx 3.1$  с.

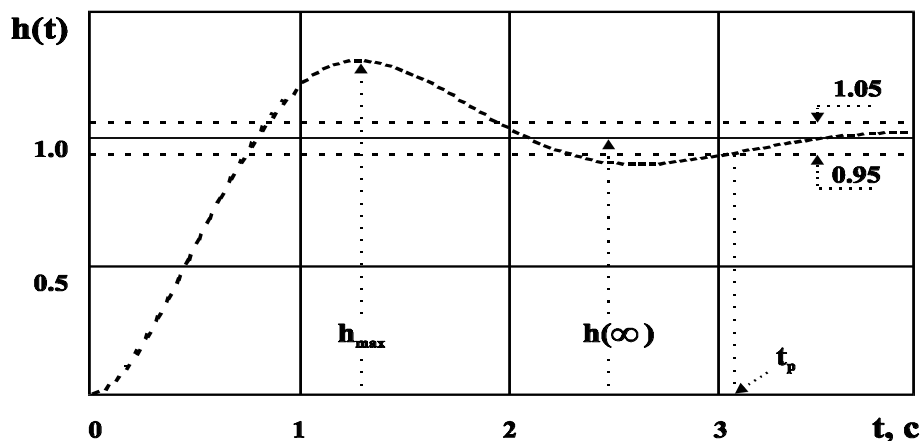


Рис. 4.2. Определение показателей качества переходной функции

Перерегулированием называется величина, определяемая по формуле:

$$\sigma = \frac{h_{max} - h(\infty)}{h(\infty)} 100\%.$$

В примере на рис. 4.2. перерегулирование

$$\sigma \approx \frac{1.3 - 1.0}{1.0} 100\% = 30\%.$$

Численные значения переходной функции (см.рис. 4.2), рассчитанные с помощью СИАМ, представлены в табл. 4.1. В первой колонке таблицы выводится время  $t$ , во второй – значение переходной функции в этот момент времени. Как видно,  $h_{max} = 1.30872$ ,  $h(\infty) = 1.00$ . Таким образом, точное значение перерегулирования  $\square = 30.87\%$ .

Для определения времени регулирования необходимо выполнить следующие действия:

Таблица 4.1.

| t       | 1              | t                 | 1       | t              | 1       |
|---------|----------------|-------------------|---------|----------------|---------|
| 0.05050 | 0.00773        | 1.41414           | 1.30431 | 2.77778        | 0.90693 |
| 0.10101 | 0.02992        | 1.46464           | 1.29564 | 2.82829        | 0.91014 |
| 0.15151 | 0.06502        | 1.51516           | 1.28320 | 2.87879        | 0.91445 |
| 0.20202 | 0.11140        | 1.56566           | 1.26748 | 2.92930        | 0.91970 |
| 0.25252 | 0.16740        | 1.61617           | 1.24903 | 2.97980        | 0.92573 |
| 0.30303 | 0.23135        | 1.66667           | 1.22834 | 3.03030        | 0.93238 |
| 0.35353 | 0.30159        | 1.71718           | 1.20593 | 3.08081        | 0.93949 |
| 0.40404 | 0.37654        | 1.76768           | 1.18226 | 3.13131        | 0.94693 |
| 0.45454 | 0.45465        | 1.81819           | 1.15783 | 3.18181        | 0.95455 |
| 0.50505 | 0.53446        | 1.86869           | 1.13306 | 3.23232        | 0.96222 |
| 0.55555 | 0.61462        | 1.91920           | 1.10836 | 3.28282        | 0.96981 |
| 0.60606 | 0.69386        | 1.96970           | 1.08408 | 3.33333        | 0.97722 |
| 0.65656 | 0.77107        | 2.02021           | 1.06059 | 3.38383        | 0.98435 |
| 0.70707 | 0.84524        | 2.07070           | 1.03817 | 3.43434        | 0.99111 |
| 0.75757 | 0.91549        | 2.12121           | 1.01705 | 3.48484        | 0.99744 |
| 0.80808 | 0.98108        | 2.17171           | 0.99745 | 3.53535        | 1.00328 |
| 0.85858 | 1.04142        | 2.22222           | 0.97956 | 3.58586        | 1.00857 |
| 0.90909 | 1.09601        | 2.27272           | 0.96349 | 3.63637        | 1.01328 |
| 0.95959 | 1.14454        | 2.32323           | 0.94934 | 3.68687        | 1.01739 |
| 1.01011 | 1.18675        | 2.37373           | 0.93716 | 3.73738        | 1.02088 |
| 1.06060 | 1.22255        | 2.42424           | 0.92696 | 3.78788        | 1.02378 |
| 1.11111 | 1.25192        | 2.47474           | 0.91874 | 3.83839        | 1.02604 |
| 1.16161 | 1.27497        | 2.52526           | 0.91246 | 3.88889        | 1.02774 |
| 1.21212 | 1.29188        | 2.57576           | 0.90803 | 3.93940        | 1.02886 |
| 1.26262 | 1.30291        | 2.62627           | 0.90539 | 3.98990        | 1.02945 |
| 1.31313 | 1.30840        | 2.67677           | 0.90441 | 4.04041        | 1.02954 |
| 1.36363 | <u>1.30872</u> | -h <sub>max</sub> | 2.72728 | <u>0.90497</u> | h(∞)    |
| = 1.00  |                |                   |         |                |         |

1) Вычисляем границы «трубки»  $\pm 5\% h(\infty) = \pm 0.05 \times 1.00 = [0.95, 1.05]$ . На рис.4.2. границы «трубки» указаны пунктирными линиями.

2) По таблице определяем первый по времени максимум переходной функции  $h(t)$ . Он оказывается равным 1.30872, что больше значения 1.05 верхней границы «трубки». Это означает, что график  $h(t)$  в этот момент времени находится за границами «трубки».

3) Определяем следующий по времени экстремум  $h(t)$  – минимум. Он оказывается равным 0.90497, что меньше значения 0.95 нижней границы «трубки».

4) Определяем следующий по времени экстремум  $h(t)$  - максимум, он оказывается равным 1.02954, что меньше значения 1.05. Это означает, что график  $h(t)$  больше не выходит за границы «трубки», поэтому возвращаемся к значению  $h(t) \approx 0.95$ . Ближайшее к нижней границе «трубки» значение  $h(t) = 0.95455$ . Время (из первой колонки), соответствующее этому значению  $h(t)$ , и является временем регулирования  $t_p = 3.18$  с. Для более точного определения  $t_p$  из таблицы применяют методы интерполяции.

## 5. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Изучить краткое описание СИАМ. Войти в СИАМ, набрать следующую блок-схему САУ:

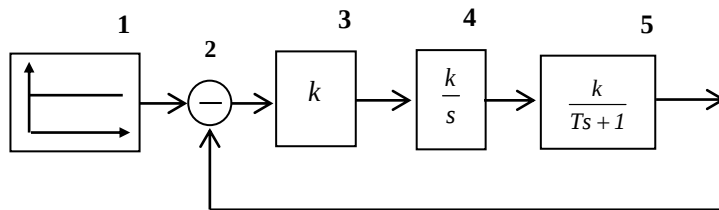


Рис.4.3. Блок – схема САУ:  $k_3 = 4$ ;  $k_4 = 1$ ,  $k_5 = 2$ ,  $T_5 = 0.3$

Набранную схему показать преподавателю!

Алгоритм набора блок-схемы САУ

< Войти в окно набора > – [F2-Блок],

< Выбрать блок > – [□□□□□ – «ступенчатый сигнал», [Enter], {k = 1}, [Enter],

< Выбрать блок > – [□□□□⊖ – « », [Enter], [Enter],

< Выбрать блок > – [□□□□□ – « K », [Enter], {k = 4}, [Enter],

< Выбрать блок > – [□□□□□ – « k / s », [Enter], {k = 1}, [Enter],

< Выбрать блок > – [□□□□□ – « k / (Ts+1) », [Enter], {k = 2}, [□□, {T = 0.3}, [Enter],

< Войти в основное окно > – [Esc],

2. Выбрать метод интегрирования (Кутта-Мерсона) и задать время конца интегрирования  $t_k = 4$  с. Рассчитать переходную функцию набранной системы, вывести ее график, показать в виде таблицы. Оценить основные показатели качества: время регулирования  $t_p$  и перерегулирование  $\sigma$ . Результаты показать преподавателю!

**ПОРЯДОК РАСЧЕТА ПЕРЕХОДНОЙ ФУНКЦИИ**

< Войти в окно моделирования > – [F7-Мод],

< Выбрать метод и параметры интегрирования > – [F2-Мет],

< Выбрать метод Кутта-Мерсона, задать  $t_k = 4$  с, [Enter],

< Подать команду на счет > – [F3-Счет],

< Признак окончания счета > – **Время счета = 00.01**

**ВЫВОД РЕЗУЛЬТАТОВ В ВИДЕ ГРАФИКА**

< Дать команду на построение графика > – [F6-Грф],

< Выбрать блок №5 с выходным сигналом > – [□□□□□□□□[Enter],

< Анализ показателей качества переходной функции по графику >.

< Выход из режима > – [Esc].

**ВЫВОД РЕЗУЛЬТАТОВ В ВИДЕ ТАБЛИЦЫ**

< Дать команду на вывод таблицы > – [F7-Рез],

< Выбрать надпись “Показать таблицу “>, [Enter],

< Выбрать блок с выходным сигналом > – [□□□□□□□□[Enter],

< Анализ показателей качества по таблице > – [PgUp, PgDn],

< Выход из режима > – [Esc].

## 6. КОНТРОЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ

Набрать в СИАМ блок-схему САУ, представленную на рис. 4.3. Численные значения параметров звеньев ввести в соответствии с заданным преподавателем вариантом из табл. 4.2.

Выбрать метод численного интегрирования, время конца интегрирования, рассчитать переходную функцию, вывести результат в виде графика и таблицы, определить время регулирования и перерегулирование.

Таблица 4.2.

| Вар.№ | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| $k_3$ | 4   | 4   | 4   | 4   | 4   | 4   | 4   | 4   | 4   | 4   | 4   | 4   |
| $k_4$ | 1   | 2   | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 1   | 2   | 3   | 3   | 2   | 1   |
| $k_5$ | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   | 2   |
| $T_5$ | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.3 | 0.2 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.5 | 0.3 | 0.3 | 0.3 |

## 7. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

- 1) Название и цель работы.
- 2) Инструкция пользователю СИАМ.
- 3) Схема исследования САУ в СИАМ.
- 4) Выводы (краткая характеристика СИАМ, найденные время регулирования и перерегулирование).
- 5) Подпись.

## 8. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

Вопрос 1: Как при использовании СИАМ вводится модель САУ?

Ответ: 1) Войдите в исходное окно набора (признак – моргающий курсор). 2) Переведите моргающий курсор в место, откуда Вы будете строить блок-схему, используя клавиши управления курсором. 3) Нажмите клавишу **F2**. В нижнем окне один из функциональных блоков будет выделен негативным изображением. С помощью клавиш управления курсором выберите нужный Вам блок и нажмите **Enter**. **ВНИМАНИЕ!** Блок-схема обязательно должна начинаться с блока, изображающего входное воздействие. Выставьте все требуемые параметры блока и нажмите **Enter**. Если ошиблись – откажитесь от блока (нажмите **Esc**). Последовательно введите все блоки структурной схемы. 4) Для того, чтобы провести соединительную линию, необходимо войти в исходное окно набора (нажмите **Esc**), поставить моргающий курсор на горизонтальную линию, откуда Вы будете чертить, и нажать **F3**. После этого с помощью клавиш управления курсором можно вести линию.

Вопрос 2: Как при использовании СИАМ рассчитывается переходная функция?

Ответ: 1) При расчете переходной функции в качестве входного воздействия необходимо задать единичное ступенчатое воздействие. 2) После того, как Вы наберете блок-схему, необходимо выбрать метод интегрирования. Нажмите **F7**, затем **F2**. Выберите нужный метод (Кутта-Мерсона) и установите его параметры ( $t_k$ ). 3) Нажмите **F3**. После останова счета можно вывести результаты на экран в виде таблицы или графика: **F6** – вывод на экран графика переходного процесса на выходе выбранного блока (моргающее изображение). Блок выбирается с помощью клавиш управления курсором и нажатием клавиши **ENTER**. **F7** – вывод на экран таблицы переходного процесса на выходе выбранного блока (моргающее изображение). Блок выбирается с помощью клавиш управления курсором и нажатием клавиши **ENTER**. 4) Выход из режима – **ESC**.

## 9. ОБОРУДОВАНИЕ

1. Персональный компьютер

## 10. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алейников, А.К. Системы управления химико-технологическими процессами / А.К. Алейников, Е.П. Решетняк, А.В. Комиссаров. – Саратов: ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2008. – 416 с. ISBN 978-5-9758-0740-3
2. Беспалов, А.В. Системы управления химико-технологическими процессами. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2007. – 690 с. ISBN 978-5-94628-311-3

3. Алейников, А.К. Лабораторный практикум по дисциплине «Системы управления химико-технологическими процессами» Методическое пособие для студентов специальностей: 260303 – «Технология мяса и мясопродуктов», 260301 – «Технология молока и молокопродуктов»/ А.К. Алейников, Е.П. Решетняк, И.В. Харина. - Саратов: Из-во ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2008. - 64с.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 5 ИССЛЕДОВАНИЕ ТИПОВЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ЗВЕНЬЕВ

### 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Закрепить материал лекций по свойствам типовых динамических звеньев. Приобрести навыки исследования этих звеньев с помощью системы СИАМ.

### 2. ЗАДАНИЕ НА ВЫПОЛНЕНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

3. Отработать навыки решения задач по исследованию свойств звеньев САУ на основе их дифференциальных уравнений, передаточных и переходных функций.
1. С помощью системы СИАМ рассчитать на ПЭВМ переходные функции звеньев:
  - интегрирующего;
  - апериодического;
  - колебательного.
3. По таблицам и графикам переходных функций звеньев определить параметры их передаточных функций.
4. Сделать выводы по результатам исследований.

### 3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

1. Повторить особенности исследования САУ с использованием системы СИАМ в режимах:
  - набора модели;
  - вычисления временных характеристик и вывода результатов в виде таблиц и графиков;
2. Для получения допуска к выполнению лабораторной работы по конспекту лекций и рекомендованной литературе подготовиться к ответам на следующие вопросы:
  - а) что называется звеном АС?
  - б) какие передаточные и переходные функции имеют следующие звенья:
    - простое усилительное;
    - идеальное интегрирующее;
    - идеальное дифференцирующее;
    - апериодическое (инерционное 1-го порядка);
    - колебательное;
    - чистого запаздывания?
  - в) как по графикам переходных функций определить параметры передаточных функций усилительного, идеального интегрирующего, апериодического, колебательного?

### 4. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Звеном называется часть САУ, оператор которой описывается дифференциальным уравнением не выше 2-го порядка. Классификация звеньев по виду их передаточных функций представлена в таблице 5.1. Здесь  $k$  – коэффициент усиления,  $T$  – постоянная времени,  $\xi$  – относительный коэффициент затухания звена. Для определения параметров звена по виду его передаточной функции последняя обязательно должна быть приведена к стандартному виду, например:

$$W(p) = \frac{10}{3p+2} = \frac{10/2}{(3p+2)/2} = \frac{5}{1.5p+1},$$

это апериодическое звено, его коэффициент усиления  $k=5$ , постоянная времени  $T=1.5$  с;

### 5. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ПО СВОЙСТВАМ ЗВЕНЬЕВ

**Задача 1.** Дано: передаточная функция звена САУ

$$W(p) = \frac{4}{8p^2 + 4p + 2}.$$

Требуется определить тип звена и его параметры: коэффициент усиления, постоянную времени и относительный коэффициент затухания.

**Решение:**

Приводим передаточную функцию звена к стандартному виду:

$$W(p) = \frac{4}{8p^2 + 4p + 2} = \frac{2}{4p^2 + 2p + 1} = \frac{k}{T^2 p^2 + 2T\xi p + 1} = \frac{2}{2^2 p^2 + 2 \times 2 \times 0.5 \times p + 1}.$$

Это колебательное звено, его коэффициент усиления  $k=2$ , постоянная времени  $T=2$  с, относительный коэффициент затухания  $\xi=0.5$ .

**Предлагается самостоятельно решить эту же задачу для следующих вариантов:**

1)  $W(p) = 6p + 3,$

2)  $W(p) = \frac{2}{4p + 8},$

3)  $W(p) = \frac{1}{2p^2 + 2p + 2}.$

**Ответы:**

1) форсирующее звено первого порядка,  $k = 3, T = 2$  с.

2) апериодическое звено,  $k = 0.25, T = 0.5$  с.

3) колебательное звено,  $k = 0.5, T = 1$  с,  $\xi = 0.5$ .

**Задача 2.** Дано: передаточная функция звена САР

$$W(p) = \frac{2}{0.2p + 1}$$

и входной сигнал  $x(t) = 1(t)$ .

Требуется определить выходной сигнал  $y(t)$ .

**Решение:**

1) По табл.3.2. определяем изображение по Лапласу входного сигнала:  
 $X(p) = L[x(t)] = 1/p.$

Таблица 5.1.

| №<br>п/п | Передаточная<br>функция звена     | название звена                                                                                                                                                            |
|----------|-----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1        | $k$                               | усилительное                                                                                                                                                              |
| 2        | $kp$                              | идеальное дифференцирующее                                                                                                                                                |
| 3        | $\frac{k}{p}$                     | интегрирующее                                                                                                                                                             |
| 4        | $k(Tp+1)$                         | форсирующее 1-го порядка                                                                                                                                                  |
| 5        | $k \cdot (T^2 p^2 + 2T\xi p + 1)$ | форсирующее 2-го порядка                                                                                                                                                  |
| 6        | $\frac{k}{(Tp+1)}$                | апериодическое                                                                                                                                                            |
| 7        | $\frac{k}{T^2 p^2 + 2T\xi p + 1}$ | инерционное 2-го порядка:<br>$0 < \xi < 1$ - колебательное;<br>$\xi \geq 1$ - апериодическое 2-го<br>порядка;<br>$\xi = 0$ - консервативное;<br>$\xi < 0$ - неустойчивое. |
| 8        | $k \cdot e^{-p\tau}$              | звено чистого запаздывания                                                                                                                                                |
| 9        | $\frac{kp}{Tp+1}$                 | реальное<br>дифференцирующее<br>(изодром)                                                                                                                                 |
| 10       | $k \frac{T_1 p + 1}{T_2 p + 1}$   | апериодическое с введением<br>производной                                                                                                                                 |

Таблица 5.2

| $N^{\circ} n/n$ | $x(t) = L^{-1}[X(p)]$   | $X(p) = L[x(t)]$                    |
|-----------------|-------------------------|-------------------------------------|
| 1               | $\delta(t)$             | 1                                   |
| 2               | $1(t)$                  | $\frac{1}{p}$                       |
| 3               | $t^k$                   | $\frac{k!}{p^{k+1}}$                |
| 4               | $e^{-at}$               | $\frac{1}{p+a}$                     |
| 5               | $t \cdot e^{-at}$       | $\frac{1}{(p+a)^2}$                 |
| 6               | $1 - e^{-at}$           | $\frac{a}{p(p+a)}$                  |
| 7               | $\sin \omega t$         | $\frac{\omega}{p^2 + \omega^2}$     |
| 8               | $\cos \omega t$         | $\frac{p}{p^2 + \omega^2}$          |
| 9               | $e^{-at} \sin \omega t$ | $\frac{\omega}{(p+a)^2 + \omega^2}$ |
| 10              | $\delta(t - \tau)$      | $e^{-p\tau}$                        |

2) По формуле  $Y(p) = W(p) X(p)$  находим изображение по Лапласу выходного сигнала:

$$Y(p) = \frac{2}{p(0.2p+1)}.$$

3) Приводим найденное изображение к виду, представленному в табл. 5.2.:

$$Y(p) = \frac{2}{p(0.2p+1)} = 2 \frac{5}{p(p+5)} = 2 \frac{a}{p(p+a)}.$$

4) По табл. 3.2. определяем выходной сигнал  $y(t) = L^{-1}[X(p)]$ :

$$x(t) = 2(1 - e^{-at}) = 2(1 - e^{-5t}).$$

Предлагается самостоятельно решить эту же задачу для вариантов, представленных в табл. 5.3.

Таблица 5.3.

| Вар.<br>№ | Дано:                     |             | Ответ:                         |
|-----------|---------------------------|-------------|--------------------------------|
|           | $W(p)$                    | $x(t)$      | $y(t)$                         |
| 1         | 5                         | $1(t)$      | $5 \cdot 1(t)$                 |
| 2         | $3 \cdot p$               | $1(t)$      | $3 \cdot \delta(t)$            |
| 3         | $\frac{10}{p}$            | $1(t)$      | $10 \cdot t$                   |
| 4         | $\frac{6}{(0.5p+1)}$      | $\delta(t)$ | $12 \cdot e^{-2t}$             |
| 5         | $\frac{10}{p^2 + 2p + 5}$ | $\delta(t)$ | $5 \cdot e^{-t} \cdot \sin 2t$ |

**Задача 3.** Дана переходная функция звена (см. рис. 5.1)

Требуется определить передаточную функцию звена и его параметры.

**Решение:**

Переходной функцией звена  $h(t)$  называется ее реакция на

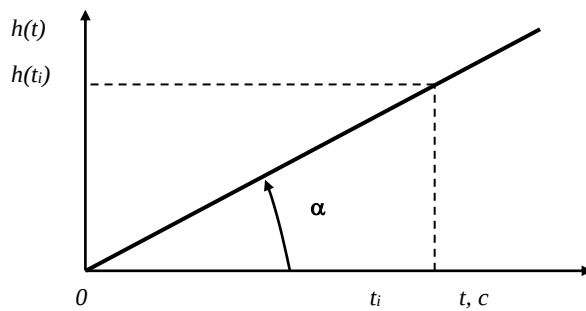


Рис.5.1. Переходная функция звена

единичный ступенчатый сигнал. По таблице графиков переходных функций типовых звеньев определяем, что это переходная функция интегрирующего звена. Его передаточная и переходная функции определяются формулами:

$$W(p) = \frac{k}{p}, \quad h(t) = kt.$$

Коэффициент усиления интегрирующего звена определяется по формуле

$$k = \operatorname{tg} \alpha = \frac{h(t_i)}{t_i}. \quad (1)$$

**Задача 4** Дана переходная функция звена (см. рис. 5.2)

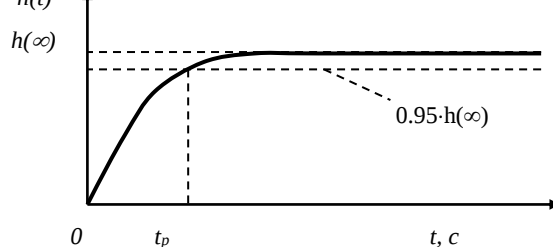


Рис. 5.2. Переходная функция звена

Требуется определить передаточную функцию звена и его параметры.

**Решение:**

Такой вид имеет график переходной функции апериодического звена. Его передаточная и переходная функции определяются формулами:

$$W(p) = \frac{k}{Tp + 1}, \quad h(t) = k(1 - e^{-\frac{t}{T}}).$$

Нетрудно убедиться, что коэффициент усиления апериодического звена определяется по формуле

$$k = h(\infty). \quad (2)$$

Постоянную времени звена при использовании СИАМ проще определить по формуле  $T \approx t_p / 3$ , где  $t_p$  - время регулирования.

**Задача 5.** Дана переходная функция звена (см. рис. 5.3).

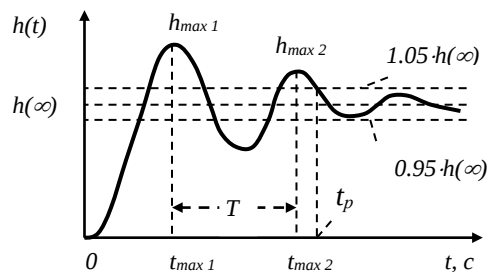


Рис. 5.3. Переходная функция звена

Требуется определить передаточную функцию звена и его параметры.

**Решение:**

Такой вид имеет график переходной функции колебательного звена. Его передаточная функция имеет вид:

$$W(p) = \frac{k}{T_0^2 p^2 + 2T_0 \xi p + 1} = \frac{k}{p^2 + 2\Omega_0 \xi + \Omega_0^2}, \quad (3)$$

$$0 < \xi < 1, \quad \Omega_0 = 1/T_0.$$

Корни характеристического уравнения звена

$$p^2 + 2\Omega_0 \xi p + \Omega_0^2 = (p - \lambda)^2 + \lambda^2 + \omega^2 = 0, \quad (4)$$

равны

$$p_{1,2} = \lambda \pm j\omega,$$

$$\text{где } j = \sqrt{-1}, \quad \lambda = -\xi/T_0, \quad \omega = \sqrt{1 - \xi^2}/T_0.$$

Переходная функция звена, определенная на основании теоремы разложения с использованием корней уравнения (4), имеет вид:

$$h(t) = k \left[ 1 - \frac{e^{\lambda t}}{\sin \varphi_0} \sin(\omega t + \varphi_0) \right], \quad (5)$$

$$\text{где } \sin \varphi_0 = \sqrt{1 - \xi^2}.$$

Его коэффициент усиления, как и у апериодического, определяется по формуле

$$k = h(\infty). \quad (6)$$

Измерив расстояние по оси времени между двумя любыми соседними максимумами, можно найти период вынужденных колебаний  $T = t_{\max 2} - t_{\max 1}$  и, следовательно, и угловую частоту этих колебаний:

$$\omega = \frac{2\pi}{T}. \quad (7)$$

Как известно,

$$t_{max1} = T/2 = \pi/\omega \quad \text{или} \quad T = 2t_{max1}. \quad (8)$$

На практике для определения периода колебаний  $T$  удобнее пользоваться именно этой формулой. С ее использованием несложно получить следующую зависимость:

$$\begin{aligned} h_{max1} &= k \cdot \left[ 1 - \frac{e^{\lambda t_{max1}}}{\sin \varphi_0} \sin(\omega t_{max1} + \varphi_0) \right] = \\ &= k \cdot \left[ 1 - \frac{e^{\lambda t_{max1}}}{\sin \varphi_0} \sin\left(\omega \frac{\pi}{\omega} + \varphi_0\right) \right] = h(\infty) \cdot [1 + e^{\lambda t_{max1}}]. \end{aligned}$$

Отсюда определяем

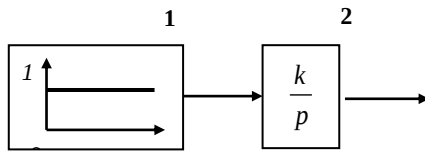
$$\lambda = \frac{\ln \bar{\sigma}}{t_{max1}}, \quad \text{где} \quad \bar{\sigma} = \frac{h_{max1} - h(\infty)}{h(\infty)}. \quad (9)$$

Зная действительную  $\lambda$  и мнимую  $\omega$  части корней уравнения (4), можно вычислить искомые параметры передаточной функции (5.3):

$$T_0 = 1/\sqrt{\lambda^2 + \omega^2}; \quad \xi = -\lambda T_0. \quad (10)$$

## 6. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1) Войти в СИАМ, набрать структурную схему исследования интегрирующего звена



где его коэффициент усиления  $k$  задать в соответствии с предложенными преподавателем вариантами из таблицы 5.4.

**Таблица 5.4.**

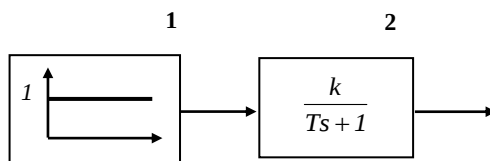
| Вар.№    | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   |
|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| $k$      | 1.0 | 2.0 | 3.0 | 4.0 | 5.0 | 6.0 | 7.0 | 8.0 | 9.0 |
| $t_k, c$ | 10  | 10  | 10  | 10  | 10  | 10  | 10  | 10  | 10  |

Выбрать метод интегрирования (Кутта-Мерсона) и задать время конца интегрирования  $t_k$  в соответствии с табл. 5.4. Рассчитать переходную функцию набранной системы, вывести ее график, показать в виде таблицы.

В таблице переходной функции задать отрезок времени  $t_i$ , равный, например, 2 с. Для этого значения времени по таблице определить значение переходной функции (отрезок  $h(t_i)$  из рис. 5.1.) и по формуле (1) вычислить коэффициент усиления  $k$  интегрирующего звена. Результаты записать и показать преподавателю.

Сравнить вычисленное и заданное значения коэффициента усиления звена, сделать выводы.

1) Выйти без сохранения из СИАМ ([Esc], [Esc], ...) и снова войти в нее, набрать структурную схему исследования апериодического звена:



где коэффициент усиления  $k$  и постоянную времени  $T$  задать в соответствии с заданным преподавателем вариантом исследования из таблицы 5.5.

Выбрать метод интегрирования (Кутта-Мерсона) и задать время конца интегрирования  $t_k$  в соответствии с табл. 5.5. Рассчитать переходную функцию набранной системы, вывести ее график, показать в виде таблицы.

**Таблица 5.5.**

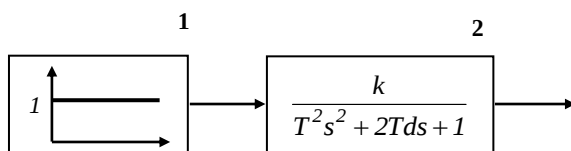
| ар.№     | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   |
|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| $k$      | 2.5 | 3.0 | 3.5 | 4.0 | 4.5 | 5.0 | 3.5 | 6.0 | 6.5 |
| $T, c$   | 1.5 | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 3.5 | 4.0 | 4.5 | 5.0 | 5.5 |
| $t_k, c$ | 10  | 15  | 20  | 20  | 25  | 30  | 30  | 30  | 30  |

По таблице переходной функции определить параметры передаточной функции аperiodического звена:

$$k = h(\infty) = \quad, \quad t_p = \quad, \quad T = t_p / 3 = \quad.$$

Результаты записать и показать преподавателю. Сравнить вычисленные и заданные значения коэффициента усиления и постоянной времени звена, сделать выводы.

3) Выйти без сохранения из СИАМ ([Esc], [Esc], ...) и снова войти в нее, набрать структурную схему исследования колебательного звена:



где коэффициент усиления  $k$ , постоянную времени  $T$  и относительный коэффициент затухания  $d = \xi$  задать в соответствии с заданным преподавателем вариантом исследования из таблицы 5.6.

Выбрать метод интегрирования Кутта-Мерсона и задать время конца интегрирования  $t_k$  в соответствии с табл. 5.6. Рассчитать переходную функцию набранной системы, вывести ее график, показать в виде таблицы.

**Таблица 5.6.**

| Вар.№    | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   |
|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| $k$      | 1.5 | 2.0 | 2.5 | 3.0 | 1.5 | 1.0 | 0.5 | 1.0 | 0.5 |
| $T, c$   | 1.0 | 1.0 | 1.5 | 2.0 | 2.0 | 1.0 | 0.5 | 0.5 | 1.5 |
| $d$      | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.2 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.2 |
| $t_k, c$ | 50  | 40  | 40  | 40  | 55  | 40  | 25  | 25  | 55  |

Выбрать метод интегрирования Кутта-Мерсона и задать время конца интегрирования  $t_k$  в соответствие с табл.3.6. Рассчитать переходную функцию набранной системы, вывести ее график, показать в виде таблицы.

По таблице переходной функции и формулам (6–10):

$$k = h(\infty) = \quad, \quad t_{max1} = \quad, \quad \omega = \pi / t_{max1} = \quad, \quad \bar{\sigma} = \frac{h_{max1} - h(\infty)}{h(\infty)} = \quad,$$

$$\ln \bar{\sigma} = \quad, \quad \lambda = \ln \bar{\sigma} / t_{max1} = \quad, \quad \lambda^2 = \quad, \quad \omega^2 = \quad,$$

$$T_0 = \sqrt{1 / (\lambda^2 + \omega^2)} = \quad, \quad \xi = d = -\lambda T_0 = \quad, \quad \sigma = \bar{\sigma} 100\% = \quad,$$

$$0.95 h(\infty) = \quad, \quad 1.05 h(\infty) = \quad, \quad t_p = \quad,$$

– определить параметры передаточной функции колебательного звена:  $k$ ,  $T$ ,  $d$ , и показатели качества переходной функции: перерегулирование  $\sigma$  и время регулирования  $t_p$  Результаты записать и показать преподавателю.

Сравнить вычисленные и заданные значения коэффициента усиления, постоянной времени и относительного коэффициента усиления звена, сделать выводы.

## 7.ОБОРУДОВАНИЕ

1.Персональный компьютер

## 8.СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алейников, А.К. Системы управления химико-технологическими процессами / А.К. Алейников, Е.П. Решетняк, А.В. Комиссаров. - Саратов: ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2008. - 416 с. ISBN 978-5-9758-0740-3
2. Беспалов, А.В. Системы управления химико-технологическими процессами. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2007. - 690 с. ISBN 978-5-94628-311-3
3. Алейников, А.К. Лабораторный практикум по дисциплине «Системы управления химико-технологическими процессами» Методическое пособие для студентов специальностей: 260303 – «Технология мяса и мясопродуктов», 260301 – «Технология молока и молокопродуктов»/ А.К. Алейников, Е.П. Решетняк, И.В. Харина. - Саратов: Из-во ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2008. - 64с.

## 9. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

- 1) Что называется звеном САУ?
- 2) Запишите дифференциальные уравнения звеньев, заданных передаточными функциями:  
а)  $W(p) = \frac{1}{p}$ , б)  $W(p) = 5p + 3$ , в)  $W(p) = \frac{6}{7p + 8}$ ,  
г)  $W(p) = \frac{5}{4s^2 + 2s + 1}$ , д)  $W(p) = 3p^2$ .
- 3) Назовите звенья, передаточные функции которых имеют вид:  
а)  $\frac{3}{s}$ ; б)  $\frac{4}{8s + 2}$ ; в)  $\frac{2}{s^2 + 0.5s + 0.25}$ ;  
г)  $5s + 2$ ; д)  $\frac{2s}{4s + 4}$ ; е)  $5 \cdot e^{-s^2}$ ,  
- и определите их параметры.
- 4) Выведите аналитические выражения переходных функций звеньев САУ:  
а) усилительного,  
б) интегрирующего,  
в) апериодического,  
г) колебательного звеньев.
- 5) Нарисуйте графики переходных функций этих звеньев.
- 6) Поясните порядок определения параметров передаточных функций  
а) интегрирующего,  
б) апериодического и  
в) колебательного звеньев по их переходным функциям.
- 7) Как с помощью СИАМ  
- набрать схему исследования звена?  
- рассчитать переходную функцию?  
- вывести результат в виде графика или таблицы?  
- определить установившееся значение, перерегулирование, время регулирования?

## ОТЧЕТ

о лабораторной работе №5

### Исследование типовых динамических звеньев

| Ф.И.О.<br>исполнителя | Учеб<br>ная<br>группа № | Дата<br>проведени<br>я | Отметка<br>преподавател<br>я |
|-----------------------|-------------------------|------------------------|------------------------------|
|                       |                         |                        |                              |

#### 1. Цель работы

Закрепить материал лекций и групповых занятий по свойствам типовых динамических звеньев. Приобрести навыки исследования этих звеньев с помощью системы СИАМ.

#### 2. Задание на выполнение лабораторной работы

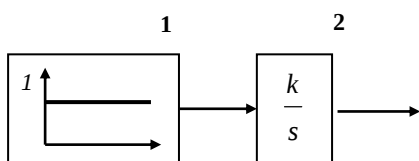
1. С помощью системы СИАМ рассчитать на ПЭВМ переходные функции звеньев: интегрирующего, апериодического, колебательного.

2. По таблицам и графикам переходных функций звеньев определить параметры их передаточных функций и показатели качества переходной функции.

3. Сделать выводы по результатам проведенных исследований.

#### 3. Схемы набора и результаты исследований (вар.№ )

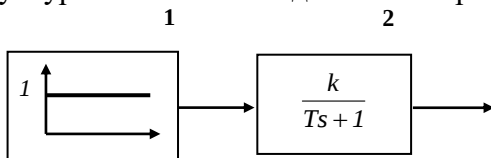
1. Структурная схема исследования интегрирующего звена:



$k =$  ,  $t_k =$  .

Результаты исследования:  $t_i =$  ,  $h(t_i) =$  ,  $k =$  .

2. Структурная схема исследования апериодического звена:

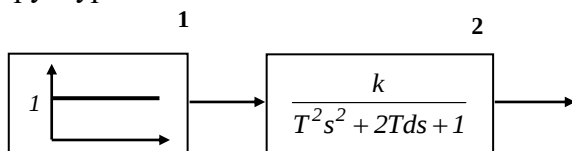


$k =$  ,  $T =$  ,  $t_k =$  .

Результаты исследования:  $k = h(\infty) =$  ,  $t_p =$  ,

$T = t_p / 3 =$  .

3. Структурная схема исследования колебательного звена:



$k =$  ,  $T =$  ,  $d = \xi =$  ,  $t_k =$  .

Результаты исследования:  $k = h(\infty) =$  ,  $t_{max1} =$  ,

$\omega = \pi / t_{max1} =$  ,  $\bar{\sigma} = \frac{h_{max1} - h(\infty)}{h(\infty)} =$  ,  $\ln \bar{\sigma} =$  ,

$$\lambda = \ln \bar{\sigma} / t_{\max 1} = \quad , \quad \lambda^2 = \quad , \quad \omega^2 = \quad ,$$

$$\lambda^2 + \omega^2 = \quad , \quad T_0 = \sqrt{1/(\lambda^2 + \omega^2)} = \quad ,$$

$$\xi = d = -\lambda T_0 = \quad , \quad t_p = \quad .$$

#### 4. Выводы

В результате исследования с помощью СИАМ переходных функций звеньев получены следующие значения их параметров: интегрирующего звена:  $k = \quad$  ; апериодического звена:  $k = \quad$  ,  $T = \quad$  ; колебательного звена:  $k = \quad$  ,  $T = \quad$  ,  $d = \xi = \quad$  . Вычисленные значения параметров звеньев совпадают с заданными.

Подпись исполнителя \_\_\_\_\_

---

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРЕДАТОЧНЫХ ФУНКЦИЙ САУ С ПОМОЩЬЮ ЭВМ

### 6.1. Цель работы

Закрепить материал лекций по определению передаточных функций САУ. Приобрести навыки вычисления передаточных функций САУ с помощью системы СИАМ.

### 6.2. Задание на выполнение лабораторной работы

1. Отработать навыки решения задач по определению передаточных функций САУ на основе их дифференциальных уравнений и структурных схем.

2. Изучить особенности определения передаточных функций САУ с помощью СИАМ.

3. Определить аналитически передаточную функцию САУ, заданную преподавателем, набрать ее структурную схему на ЭВМ и определить передаточную функцию с помощью СИАМ.

4. Сделать выводы по результатам проведенных исследований.

### 6.3. Методические указания

1. Повторить особенности исследования САУ с использованием системы СИАМ в режимах набора модели, определения передаточных функций.

2. Для получения допуска к выполнению лабораторной работы по конспекту лекций подготовиться к ответам на следующие вопросы:

а) что называется передаточной функцией, характеристическим уравнением, нулями и полюсами САУ?

б) чему равно изображение по Лапласу производной  $k$ -го порядка?

в) как определить передаточную функцию САУ на основе дифференциального уравнения?

г) по каким формулам вычисляются передаточные функции последовательного, параллельного и встречно-параллельного соединений звеньев?

### 6.4. Краткие теоретические сведения

#### ПЕРЕДАТОЧНАЯ ФУНКЦИЯ, ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОЕ УРАВНЕНИЕ САУ

Передаточной функцией линейной стационарной САУ называется отношение изображения по Лапласу выходного сигнала  $Y(p)$  к такому же изображению входного сигнала  $X(p)$  при нулевых начальных условиях:

$$W(p) = \frac{Y(p)}{X(p)}.$$

Передаточная функция отражает передающие свойства САУ, поэтому при ее определении с целью упрощения исследований предполагается, что до начала воздействия входного

сигнала САУ находится в покое.

Для определения  $W(p)$  необходимо записать оператор линейной стационарной САУ, заданный в виде дифференциального уравнения:

$$a_n y^{(n)}(t) + a_{n-1} y^{(n-1)}(t) + \dots + a_1 y^{(1)}(t) + a_0 y(t) =$$

$$b_m x^{(m)}(t) + b_{m-1} x^{(m-1)}(t) + \dots + b_1 x^{(1)}(t) + b_0 x(t).$$

В левой части этого уравнения обычно пишут оператор выходного сигнала, в правой - оператор входного сигнала. Исследование дифференциальных уравнений существенно упрощается, если их преобразовать с помощью преобразования Лапласа.

Напомним формулы преобразования Лапласа производных при нулевых начальных условиях:

$$L[y(t)] = Y(p); \quad L[y^{(1)}(t)] = pY(p); \quad L[y^{(2)}(t)] = p^2 Y(p), \quad \dots$$

$$L[x(t)] = X(p); \quad L[x^{(1)}(t)] = pX(p); \quad L[x^{(2)}(t)] = p^2 X(p), \quad \dots$$

Применив преобразование Лапласа к правой и левой части дифференциального уравнения, получим его операторную форму записи:

$$A(p)Y(p) = B(p)X(p),$$

$$\text{где } A(p) = a_n p^n + \dots + a_1 p + a_0, \quad B(p) = b_m p^m + \dots + b_1 p + b_0.$$

тогда в соответствии с видом этого оператора

$$W(p) = \frac{Y(p)}{X(p)} = \frac{b_m p^m + \dots + b_1 p + b_0}{a_n p^n + \dots + a_1 p + a_0} = \frac{B(p)}{A(p)}.$$

Таким образом, ПФ является дробно-рациональной функцией комплексной переменной преобразования Лапласа  $p$ , она не зависит от входного сигнала, а определяется структурой и параметрами САУ.

Знаменатель передаточной функции  $A(p)$  называется характеристическим, а уравнение

$$A(p) = a_n p^n + \dots + a_1 p + a_0 = 0,$$

называется характеристическим уравнением САУ.

Корни характеристического уравнения  $p_i$ , где  $i = \overline{0, n}$ , называются полюсами передаточной функции. Для наглядности их принято изображать на комплексной плоскости. Распределение полюсов на комплексной плоскости характеризует основные свойства САУ.

Корни числителя передаточной функции

$$B(p) = b_m p^m + \dots + b_1 p + b_0 = 0,$$

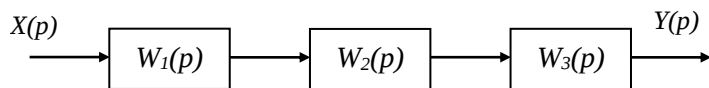
называются ее нулями. Определение и исследование передаточной функции и характеристического уравнения занимают центральное место в ТАУ.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРЕДАТОЧНЫХ ФУНКЦИЙ САУ МЕТОДОМ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СТРУКТУРНЫХ СХЕМ

Одним из основных методов исследования САУ является метод преобразования структурных схем.

Структурной схемой САУ называется графическое изображение ее элементов, представленных своими передаточными функциями, и связей между ними.

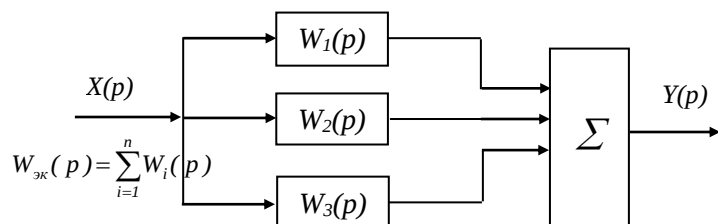
Передаточная функция последовательного соединения звеньев САУ



$$W_{\text{эк}}(p) = \frac{Y(p)}{X(p)} = \prod_{i=1}^n W_i(p).$$

Т.е. ПФ последовательного соединения звеньев САУ равна произведению их ПФ:

ПЕРЕДАТОЧНАЯ ФУНКЦИЯ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО СОЕДИНЕНИЯ ЗВЕНЬЕВ САУ

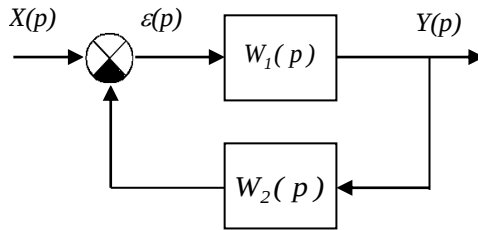


$$W_{\text{эк}}(p) = \sum_{i=1}^n W_i(p)$$

Т.е. ПФ параллельного соединения звеньев равна сумме их ПФ.

Передаточная функция встречно-параллельного соединения звеньев САУ с отрицательной обратной связью

$$W_{\text{эк}}(p) = \frac{W_1(p)}{1 + W_1(p)W_2(p)}.$$



ПФ встречно-параллельного соединения звеньев с положительной обратной связью

$$W_{\text{эк}}(p) = \frac{W_1(p)}{1 - W_1(p)W_2(p)}.$$

Для определения ПФ САУ методом преобразования структурных схем необходимо последовательно упрощать структурную схему САУ, объединяя звенья, соединенные последовательно, параллельно и встречно-параллельно с использованием соответствующих формул.

#### 2.4. Решение задач по определению передаточных функций САУ

Задача 1. Дано: линейное стационарное дифференциальное уравнение объекта управления:

$$\ddot{y}(t) + c_1 \dot{y}(t) + c_0 y(t) = b_1 \dot{\delta}(t) + b_0 \delta(t).$$

Здесь  $y(t)$  – отклонение от заданного значения выходного

сигнала;  $\delta(t)$  – отклонение регулирующего органа (входного сигнала).

Требуется определить: передаточную функцию объекта управления  $W(p)$ .

**Решение:**

1) Находим преобразование Лапласа правой и левой части заданного дифференциального уравнения:

$$L[\ddot{y}(t) + c_1 \dot{y}(t) + c_0 y(t)] = L[b_1 \dot{\delta}(t) + b_0 \delta(t)],$$

$$\text{или } (p^2 + c_1 p + c_0) \cdot Y(p) = (b_1 p + b_0) \cdot \delta(p),$$

$$Y(p) = \frac{b_1 p + b_0}{p^2 + c_1 p + c_0} \cdot \delta(p).$$

2) Определяем передаточную функцию объекта управления:

$$W(p) = \frac{Y(p)}{\delta(p)} = \frac{b_1 p + b_0}{p^2 + c_1 p + c_0}.$$

Предлагается самостоятельно решить эту же задачу для следующих вариантов:

1)  $2 \cdot \ddot{y}(t) + 3 \cdot \dot{y}(t) = 6 \cdot x(t)$ . Ответ:  $W(p) = \frac{6}{2p^2 + 3p}$ .

2)  $4 \cdot \dot{y}(t) + y(t) = 3 \cdot x(t)$ . Ответ:  $W(p) = \frac{3}{4p + 1}$ .

3)  $2 \cdot \ddot{y}(t) = 3 \cdot \dot{x}(t) + 4 \cdot x(t)$ . Ответ:  $W(p) = \frac{3p + 4}{2p^2}$ .

**Задача 2.** Дано: передаточная функция САУ

$$W(p) = \frac{4p+1}{2p^2+3p+5}.$$

Требуется определить: дифференциальное уравнение САУ.

**Решение:**

2) Записываем операторное уравнение САУ из передаточной функции по правилу пропорций:

$$W(p) = \frac{Y(p)}{X(p)} = \frac{4p+1}{2p^2+3p+5}$$

или  $(2p^2+3p+5) \cdot Y(p) = (4p+1) \cdot X(p).$

Для получения дифференциального уравнения САУ осуществим обратное преобразование Лапласа полученного операторного уравнения:

$$L^{-1}[(2p^2+3p+5)Y(p)] = L^{-1}[(4p+1)X(p)],$$

или, учитывая, что  $L^{-1}[p^k X(p)] = x^{(k)}(t)$ , получим:

$$2 \cdot \ddot{y}(t) + 3 \cdot \dot{y}(t) + 5 \cdot y(t) = 4 \cdot \dot{x}(t) + x(t).$$

Предлагается самостоятельно решить эту же задачу для следующих вариантов:

1)  $W(p) = \frac{1}{p}$ ,      2)  $W(p) = \frac{6}{7p+8}$ ,      3)  $W(p) = 5p+3$ ,

4)  $W(p) = 3p^2$ ,      5)  $W(p) = \frac{2p^2+4p+2}{8p^4+4p^3+6p^2+2p+1}.$

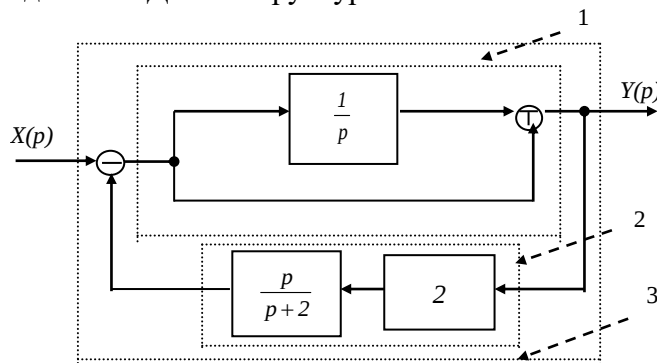
**Ответы:**

1)  $\dot{y}(t) = x(t)$ ,      3)  $y(t) = 5 \cdot \dot{x}(t) + 3 \cdot x(t)$ ,

2)  $7 \cdot \dot{y}(t) + 8 \cdot y(t) = 6 \cdot x(t)$ ,      4)  $y(t) = 3 \ddot{x}(t)$ ,

5)  $8 \cdot \frac{d^4 y(t)}{dt^4} + 4 \cdot \frac{d^3 y(t)}{dt^3} + 6 \cdot \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + 2 \cdot \frac{dy(t)}{dt} + y(t) =$   
 $2 \cdot \frac{d^2 x(t)}{dt^2} + 4 \cdot \frac{dx(t)}{dt} + 2 \cdot x(t).$

**Задача 3.** Дана структурная схема САУ:



Требуется определить ПФ соединений звеньев САУ.

**Решение:**

1) Выделяем звенья, соединенные последовательно, параллельно и встречно-параллельно:

- 1 - параллельное;
- 2 - последовательное;
- 3 - встречно-параллельное.

Запомните! Передаточная функция линии равна единице.

2) Определяем последовательно эквивалентные передаточные функции соединений звеньев:

$$W_{\text{з1}}(p) = \frac{1}{p} + 1 = \frac{p+1}{p}, \quad W_{\text{з2}}(p) = \frac{p}{p+2} \cdot 2,$$

$$W_{\text{з3}} = \frac{W_{\text{з1}}(p)}{1 + W_{\text{з1}}(p)W_{\text{з2}}(p)} = \frac{\frac{p+1}{p}}{1 + \frac{p+1}{p} \cdot \frac{2p}{p+2}} =$$

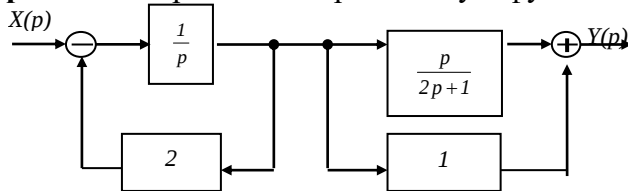
$$= \frac{\frac{p+1}{p}}{\frac{p+2+2p+2}{p+2}} = \frac{(p+1)(p+2)}{p(3p+4)} = \frac{p^2+3p+2}{3p^2+4p}.$$

Ответ: передаточная функция соединений звеньев

$$\Phi(p) = \frac{Y(p)}{X(p)} = \frac{p^2+3p+2}{3p^2+4p}.$$

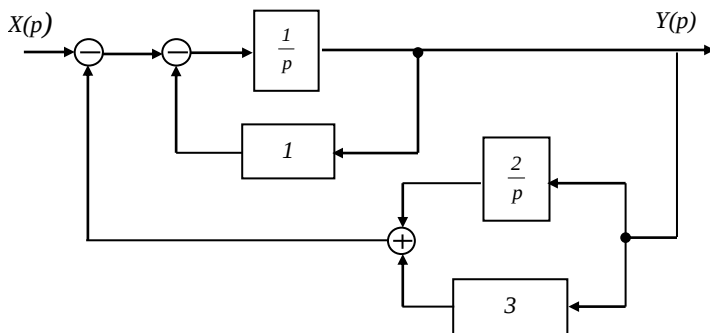
Предлагается самостоятельно решить эту же задачу для следующих вариантов:

**Вариант 1.** Определить передаточную функцию системы:



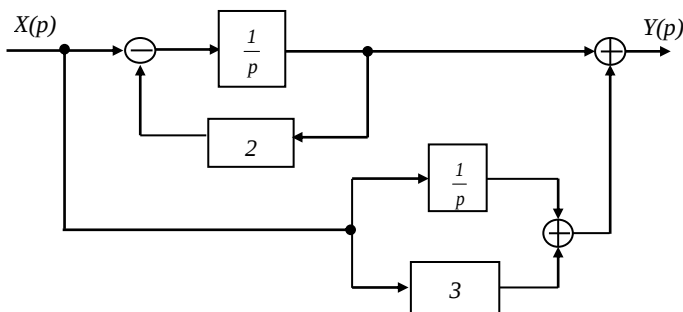
Ответ:  $\Phi(p) = \frac{3p+1}{2p^2+5p+2}.$

**Вариант 2.** Определить ПФ системы:



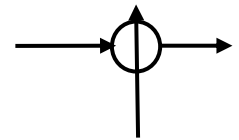
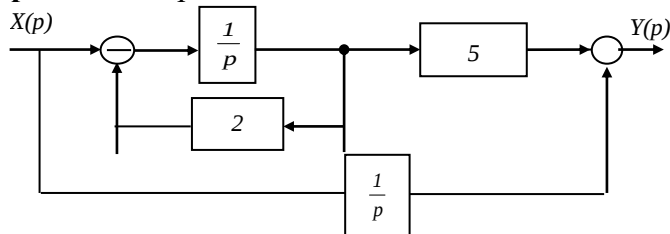
Ответ:  $\Phi(p) = \frac{p(p+1)}{p^3+5p^2+6p+2} = \frac{p}{p^2+4p+2}.$

**Вариант 3.** Определить ПФ системы:



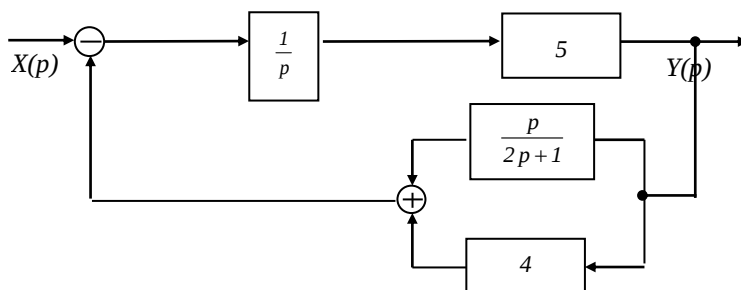
Ответ: 
$$\Phi(p) = \frac{3p^2 + 8p + 2}{p^2 + 2p}.$$

**Вариант 4.** Определить ПФ системы:



Ответ: 
$$\Phi(p) = \frac{6p + 2}{p^2 + 2p}.$$

**Вариант 5.** Определить ПФ системы:



Ответ: 
$$\Phi(p) = \frac{10p + 5}{2p^2 + 46p + 20}.$$

#### 6.5. Определение передаточной функции соединения звеньев с помощью СИАМ

Для определения передаточной функции соединения звеньев с помощью СИАМ необходимо нажать клавишу **F9-ЛЧХ**, т.е. войти в окно построения ЛЧХ. При входе в режим система именует все линейные блоки именами "А", "В", "С" и т.д. Для определения передаточной функции сложного соединения блоков можно использовать 4 действия над ПФ ("+" - сложить, "-" - вычесть, "\*" - умножить, "/" - разделить) и 10 областей буферной памяти (БП). Области БП имеют имена "М0", "М1", ..., "М9" и служат для хранения промежуточных результатов.

Оператор <Оп>=? выводит коэффициенты полиномов числителя и знаменателя ПФ блока или БП.

Напишем программу вычисления передаточной функции соединения звеньев для задачи №3, для этого наберем блок-схему задачи (см. рис.6.1).

**Запомните!** Как бы на рисунке не изображалась блок-схема САУ, в СИАМ она набирается в виде элементов расположенных на одной линии, как показано на рис.6.1.

Порядок вычисления передаточной функции

<Набрать блок-схему САУ>

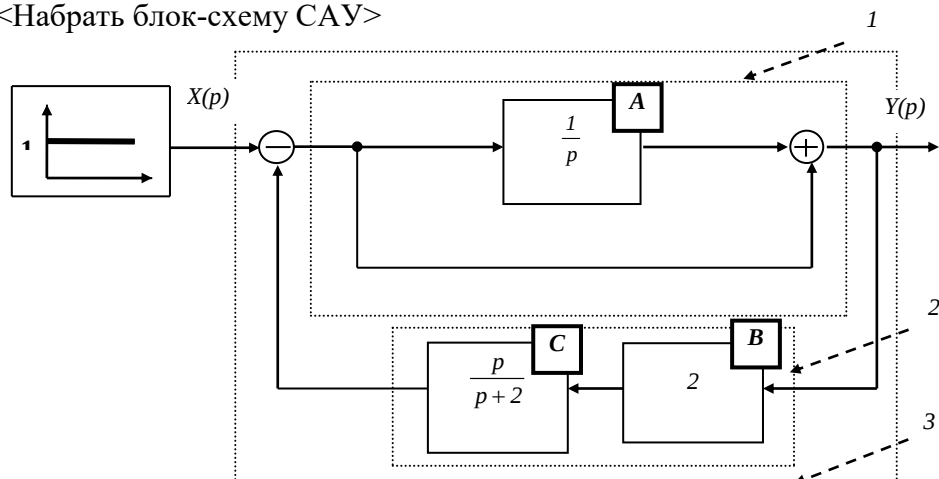


Рис.6.1.

< Войти в окно построения ЛЧХ> – [F9-ЛЧХ],  
 < Все блоки схемы получают условные имена: **A, B, C**>,  
 <Слева внизу набрать программу:  
 <определение ПФ параллельного соединения>,  
     M1=A+1                      [Enter],  
 <определение ПФ последовательного соединения>,  
     M2=B\*C                      [Enter],

<передаточная функция встречно-параллельного соединения вычисляется по следующей формуле:

$$M3 = \frac{M1}{1 + M1 \cdot M2}.$$

Но СИАМ позволяет в одной строке записывать только одну операцию, поэтому программа вычисления передаточной функции **M3** можно записать так:>

**M3=M1\*M2**                      [Enter],  
**M3=1+M3**                      [Enter],  
**M3=M1/M3**                      [Enter],  
**M3=?**                              [Enter].

Справа внизу прочтем значения коэффициентов полиномов числителя и знаменателя передаточной функции соединения звеньев (см. ответ). Для контроля правильности вычислений оператор **Mi=?** рекомендуется использовать после вычислений каждой эквивалентной передаточной функции.

#### 6.7. Порядок выполнения работы

- 1) Решить все варианты задач №№1-3.
  - 2) С помощью СИАМ вычислить передаточные функции систем, структурные схемы которых заданы в задаче №3.
  - 3) Для контрольного варианта структурной схемы, заданной преподавателем, аналитически и с помощью СИАМ определить передаточные функции соединений звеньев.
- (Рекомендуется с целью сокращения времени на подготовку отчета о лабораторной работе использовать ксерокс – копию отчета, приведенную в конце описания работы.)

### 6.8. Контрольные вопросы к лабораторной работе

- 1) Что называется передаточной функцией САР?
- 2) Что называется характеристическим уравнением САР?
- 3) Что такое нули и полюса САР?
- 4) Назвать методы определения передаточной функции САР.
- 5) Решить задачи №№1-3 по определению передаточных функций САУ.
- 6) Как с помощью СИАМ определить передаточную функцию САР?
- 7) Определите изображение по Лапласу производной при нулевых начальных условиях:

$$L\left[\frac{d^3x(t)}{dt^3}\right] = L[\ddot{x}(t)]:$$

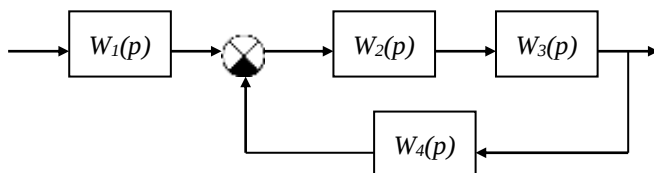
- 8) Дано дифференциальное уравнение САР.

$$\ddot{y}(t) + 3\dot{y}(t) - 5y(t) = 2\ddot{x}(t) + x(t).$$

Определить ее передаточную функцию.

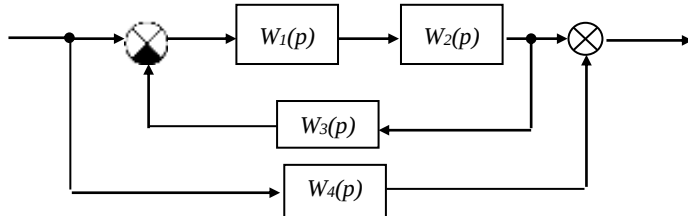
- 9) Чему равна передаточная функция (ПФ) системы при последовательном, параллельном, встречно-параллельном соединении звеньев?

- 10) Дана структурная схема САР:



Определите эквивалентную передаточную функцию, запишите программу ее расчета в СИАМ.

- 11) Дана структурная схема САР:



Определите эквивалентную передаточную функцию, запишите программу ее расчета в СИАМ.

### 6.9.ОБОРУДОВАНИЕ

- 1.Персональный компьютер

### 6.10.СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алейников, А.К. Системы управления химико-технологическими процессами / А.К. Алейников, Е.П. Решетняк, А.В. Комиссаров. - Саратов: ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2008. - 416 с. ISBN 978-5-9758-0740-3
2. Беспалов, А.В. Системы управления химико-технологическими процессами. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2007. - 690 с. ISBN 978-5-94628-311-3
3. Алейников, А.К. Лабораторный практикум по дисциплине «Системы управления химико-технологическими процессами» Методическое пособие для студентов специальностей: 260303 – «Технология мяса и мясопродуктов», 260301 – «Технология молока и молокопродуктов»/ А.К. Алейников, Е.П. Решетняк, И.В. Харина. - Саратов: Из-во ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2008. - 64с.

**ОТЧЕТ  
О ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ №6**

Определение передаточных функций САУ с помощью ЭВМ

**1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

| Ф.И.О. исполнителя | Учебная группа № | Дата проведения | Отметка преподавателя |
|--------------------|------------------|-----------------|-----------------------|
|                    |                  |                 |                       |

Закрепить материал лекций по определению передаточных функций САУ. Приобрести навыки вычисления ПФ САУ с помощью системы СИАМ.

**2. ЗАДАНИЕ НА ВЫПОЛНЕНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ**

3. Отработать навыки решения задач по определению ПФ САУ на основе их дифференциальных уравнений и структурных схем.

4. Изучить особенности определения ПФ САУ с помощью СИАМ.

5. Определить аналитически ПФ САУ, заданную преподавателем, набрать ее структурную схему на ЭВМ и определить передаточную функцию с помощью СИАМ.

**3. СТРУКТУРНАЯ СХЕМА САУ**

|  |
|--|
|  |
|--|

**4. АНАЛИТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ЭКВИВАЛЕНТНОЙ ПЕРЕДАТОЧНОЙ ФУНКЦИИ**

|  |
|--|
|  |
|--|

**5. ПРОГРАММА РАСЧЕТА ПЕРЕДАТОЧНОЙ ФУНКЦИИ В СИАМ:**

|  |
|--|
|  |
|--|

**6. ВЫВОДЫ:**

Подпись исполнителя \_\_\_\_\_

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7

### ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГЕБРАИЧЕСКИХ КРИТЕРИЕВ УСТОЙЧИВОСТИ САУ С ПОМОЩЬЮ ЭВМ

#### 7.1. Цель работы

Закрепление теоретических знаний по дисциплине и практических навыков исследования САУ с помощью СИАМ. Приобретение навыков исследования устойчивости САУ с использованием алгебраических критериев и с помощью системы СИАМ.

#### 7.2. Задание на выполнение лабораторной работы

3.4.1.1. Отработать навыки решения задач по оценки устойчивости САУ с помощью алгебраических критериев.

3.4.1.2. Оценить устойчивость системы стабилизации температуры в термокамере с ПИ - регулятором, заданной на рис.7.1 структурной схемой, для вариантов параметров системы, заданных преподавателем и представленных в табл. 7.1.

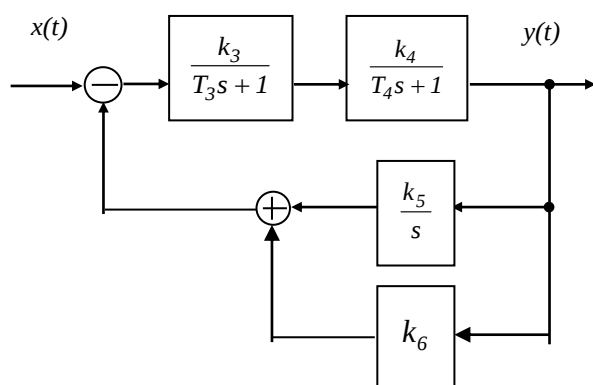


Рис. 7.1

**Таблица 7.1.**

| Вар.№ | $T_3, c$ | $T_4, c$ | $k_3$ | $k_4$ | $k_5$ | $k_6$ | $t_k, c$ |
|-------|----------|----------|-------|-------|-------|-------|----------|
| 1     | 3        | 2        | 2     | 1     | ?     | 1     | 50       |
| 2     | 3        | 1        | 2     | 2.5   | 1     | ?     | 50       |
| 3     | 4        | 5        | 2.5   | 2     | ?     | 1     | 50       |
| 4     | 3        | 2        | 3     | 2     | ?     | 2     | 50       |
| 5     | 3        | 2        | 3     | 2     | 2     | ?     | 50       |
| 6     | 4        | 5        | 2     | 2.5   | ?     | 1     | 50       |
| 7     | 3        | 5        | 2     | 2.5   | 1     | ?     | 50       |
| 8     | 2        | 3        | 2     | 2.5   | 2     | ?     | 50       |
| 9     | 5        | 4        | 2     | 3     | ?     | 0.5   | 50       |

Знаком ? в таблице указаны параметры системы, значения которых необходимо рассчитать из условия нахождения САУ на границе устойчивости ( $k_{крит}$ ).

3.4.1.3. С помощью системы СИАМ рассчитать переходные функции, оценить устойчивость и определить основные показатели качества: перерегулирование и время регулирования, для заданного варианта САУ и найденных значений параметров:  $k_{крит}$ ,  $0.5 \cdot k_{крит}$ ,  $2 \cdot k_{крит}$ , результаты занести в табл. 7.2.

Таблица 7.2.

| Значение параметра   | $t_p, c$ | $\sigma, \%$ | Оценка устойчивости |          |
|----------------------|----------|--------------|---------------------|----------|
|                      |          |              | Теория              | Практика |
| $k_{крит}$           |          |              |                     |          |
| $0.5 \cdot k_{крит}$ |          |              |                     |          |
| $2 \cdot k_{крит}$   |          |              |                     |          |

### 7.3. Методические указания

1. Повторить особенности исследования САУ с использованием системы СИАМ в режимах:

- набора модели;
- расчета переходных функций;
- вывода результатов в виде таблиц и графиков.

2. Для получения допуска к выполнению лабораторной работы по конспекту лекций и рекомендованной литературе подготовиться к ответам на следующие вопросы:

- а) Назвать критерии оценки устойчивости САУ.
- б) Сформулировать необходимые и достаточные условия устойчивости САУ, необходимые условия, критерий Гурвица, Вышнеградского.
- в) Как при использовании СИАМ вводится модель САУ?
- г) Как в СИАМ выбрать метод и параметры интегрирования?
- д) Как с использованием системы СИАМ найти переходную функцию и определить время регулирования и перерегулирование?

### 7.4. Краткие теоретические сведения

Любая САУ должна удовлетворять заданным требованиям к качеству и устойчивости. Для оценки качества САУ используют показатели качества переходной функции (см.рис.7.2): время регулирования, перерегулирование и др.

Временем регулирования  $t_p$  называется момент времени, когда график переходной функции входит в «трубку»  $\pm 5\%$  от установившегося значения  $h(\infty)$  и больше не выходит из нее.

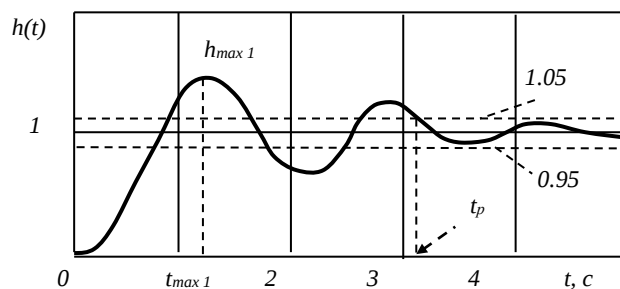


Рис 7.2.

Перерегулированием называется величина, определяемая по формуле

$$\sigma = \frac{h_{max} - h(\infty)}{h(\infty)} 100\%$$

В примере на рис.4.2 перерегулирование

$$\sigma \approx \frac{1.3 - 1.0}{1.0} 100\% = 30\%,$$

время регулирования  $t_p = 3.1 c$ .

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ДВИЖЕНИЯ**

САУ называется устойчивой, если она, будучи выведенной из состояния невозмущенного движения некоторым возмущением, приходит вновь в это состояние или близкое к нему после прекращения действия этого возмущения.

САУ называется асимптотически устойчивой, если при указанных выше условиях она приходит строго в исходное состояние.

Необходимые и достаточные условия устойчивости САУ

Для того, чтобы линейная стационарная САУ была асимптотически устойчивой по Ляпунову необходимо и достаточно, чтобы корни её характеристического уравнения имели отрицательные действительные части (находились слева от мнимой оси на комплексной плоскости).

Если часть корней характеристического уравнения САУ находятся на мнимой оси, а все остальные корни расположены в левой полуплоскости, то говорят, что САУ находится на границе устойчивости.

Необходимое условие устойчивости

Если линейная стационарная САУ устойчива, то все коэффициенты её характеристического полинома

$$A(p) = a_n p^n + a_{n-1} p^{n-1} + \dots + a_1 p + a_0,$$

больше нуля.

Из этого условия следует, что

1) если хотя бы один из коэффициентов характеристического полинома  $a_i \leq 0$ ,  $i = \overline{1, n}$ , то система устойчивой быть не может;

2) если все коэффициенты  $a_i > 0$ ,  $i = \overline{1, n}$ , то факт устойчивости необходимо дополнительно исследовать.

**Задача 1.** Оценить устойчивость САУ, если корни ее характеристического уравнения расположены на комплексной плоскости так, как показано на рис. 7.3.

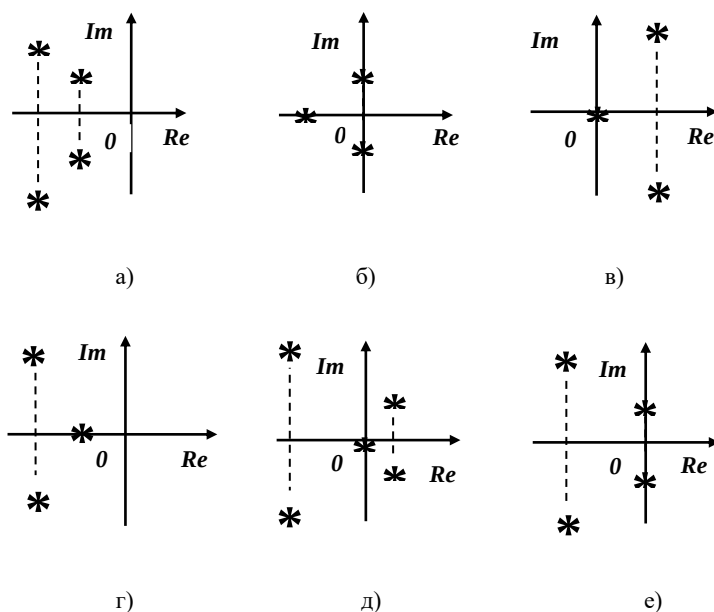


Рис.7.3.

Ответы: а) устойчивая; б) нейтральная; в) неустойчивая;

г) устойчивая; д) неустойчивая; с) нейтральная.

### КРИТЕРИЙ ГУРВИЦА

Алгебраический критерий устойчивости Гурвица определяет необходимые и достаточные условия устойчивости линейных стационарных САУ без определения корней характеристического уравнения. На основании этого критерия получены критерии устойчивости САУ второго и третьего порядка.

Для САУ второго порядка ( $n = 2$ ):

$$A(p) = a_2 p^2 + a_1 p + a_0,$$

необходимые условия устойчивости являются и достаточными.

Для того, чтобы САУ третьего порядка ( $n=3$ ) была устойчивой, необходимо и достаточно, чтобы все коэффициенты её характеристического полинома

$$A(p) = a_3 p^3 + a_2 p^2 + a_1 p + a_0,$$

были положительны и произведение средних членов было больше произведения крайних:

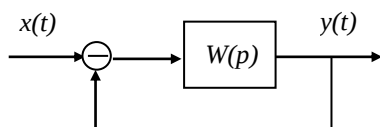
$$a_2 \cdot a_1 > a_3 \cdot a_0$$

Полученный результат называется критерием Вышнеградского.

**Задача 2.** Оценить устойчивость САУ, если ее характеристический полином имеет вид:

- |                                   |                                                              |
|-----------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| 1) $A(p) = p^2 + p + 10$          | (устойчивая: все $a_i > 0$ , $n=2$ );                        |
| 2) $A(p) = 10p^3 + 2p^2 + 3p + 1$ | (неустойчивая: $a_1 a_2 < a_3 a_0$ );                        |
| 3) $A(p) = p(p+7)^3$              | (нейтральная: $p_1 = 0$ ; $p_1 - p_3 = -7 < 0$ );            |
| 4) $A(p) = 10p - 1$               | (неустойчивая: $p_1 = 0.1 > 0$ );                            |
| 5) $A(p) = p^3 + 2p^2 + 2p + 4$   | (нейтральная: $a_1 a_2 = a_3 a_0$ , все $a_i > 0$ );         |
| 6) $A(p) = 2p^3 + 4p^2 + p + 2$   | (нейтральная: $a_1 a_2 = a_3 a_0$ , все $a_i > 0$ );         |
| 7) $A(p) = p^2 - 4$               | (неустойчивая: $p_{1,2} = \pm 2$ );                          |
| 8) $A(p) = 3p^3 + 5p^2 + p + 1$   | (устойчивая: $a_1 a_2 > a_3 a_0$ , все $a_i > 0$ );          |
| 9) $A(p) = (p^2 + 1)(p + 2)$      | (нейтральная: $p_{1,2} = \pm \sqrt{-1}$ , $p_3 = -2 < 0$ );  |
| 10) $A(p) = (p^2 + 1)(p - 2)$     | (неустойчивая: $p_{1,2} = \pm \sqrt{-1}$ , $p_3 = +2 > 0$ ); |
| 11) $A(p) = p^3 + p + 4$          | (неустойчивая: $a_2 = 0$ );                                  |
| 12) $A(p) = -p + 1$               | (неустойчивая: $p_1 = +1 > 0$ );                             |
| 13) $A(p) = (p + 10)^5$           | (устойчивая: $p_{1-5} = -10 < 0$ );                          |
| 14) $A(p) = 100p^2 + 1000p$       | (нейтральная: $p_1 = -10$ ; $p_2 = 0$ );                     |
| 15) $A(p) = 100p^2 + 1000p + 9$   | (устойчива: все $a_i > 0$ , $n=2$ );                         |
| 16) $A(p) = p^3 + 2p^2 + p + 1$   | (устойчивая: $a_1 a_2 > a_3 a_0$ , все $a_i > 0$ );          |
| 17) $A(p) = p^5 + 2p^4 + 3p + 4$  | (неустойчивая: $a_2 = 0$ , $a_3 = 0$ );                      |
| 18) $A(p) = p^2 + 1$              | (нейтральная: $p_{1,2} = \pm \sqrt{-1}$ ).                   |

**Задача 3.** Даны: структурная схема замкнутой САУ и передаточная функция разомкнутой системы:



$$W(p) = \frac{5}{p^3 + 2 \cdot p^2 + 4 \cdot p - 2}.$$

Требуется определить устойчивость разомкнутой и замкнутой САУ.

**Решение:**

1) Оцениваем устойчивость разомкнутой САУ, ее характеристическое уравнение

$$Q(p) = p^3 + 2 \cdot p^2 + 4 \cdot p - 2 = 0.$$

Разомкнутая система неустойчива, так как не выполняются необходимые условия устойчивости:  $a_0 = -2 < 0$ .

2) Определяем передаточную функцию и характеристический полином замкнутой САУ:

$$\Phi(p) = \frac{W(p)}{1 + W(p)} = \frac{\frac{5}{p^3 + 2 \cdot p^2 + 4 \cdot p - 2}}{1 + \frac{5}{p^3 + 2 \cdot p^2 + 4 \cdot p - 2}} = \frac{5}{p^3 + 2 \cdot p^2 + 4 \cdot p + 3},$$

$$A(p) = p^3 + 2 \cdot p^2 + 4 \cdot p + 3.$$

Так как все коэффициенты характеристического полинома **A(p)** больше нуля и  $2 \cdot 4 > 1 \cdot 3$ , то в соответствии с критерием Вышнеградского замкнутая САУ устойчива.

Ответ: разомкнутая САУ неустойчива,  
замкнутая – устойчива.

Предлагается самостоятельно решить эту же задачу для 7 вариантов, представленных в табл. 7.3.

**Таблица 7.3.**

| №<br>п/п | W(p)                                                     | Ответ об устойчивости<br>САУ |             |
|----------|----------------------------------------------------------|------------------------------|-------------|
|          |                                                          | разомкнут<br>ой              | замкнутой   |
| 1        | $W(p) = \frac{5}{p^3 + 2 \cdot p^2 + 4 \cdot p - 15}$    | неустойчи<br>ва              | неустойчива |
| 2        | $W(p) = \frac{5}{p^3 + p^2 + 3 \cdot p - 2}$             | неустойчи<br>ва              | нейтральна  |
| 3        | $W(p) = \frac{10}{p^3 + 2 \cdot p^2 + 10 \cdot p + 15}$  | устойчива                    | неустойчива |
| 4        | $W(p) = \frac{10 \cdot p + 1}{p^5 + p^4 - p^3 - 20}$     | неустойчи<br>ва              | неустойчива |
| 5        | $W(p) = \frac{2 \cdot p + 1}{p^3 + 2 \cdot p^2 + p + 2}$ | нейтральн<br>а               | устойчива   |

**Задача 4.** Для системы, структурная схема которой изображена на рис.7.4.,  $k_5 = 5$ , определить значение коэффициента  $k_6$ , при котором замкнутая САУ находится на границе устойчивости.

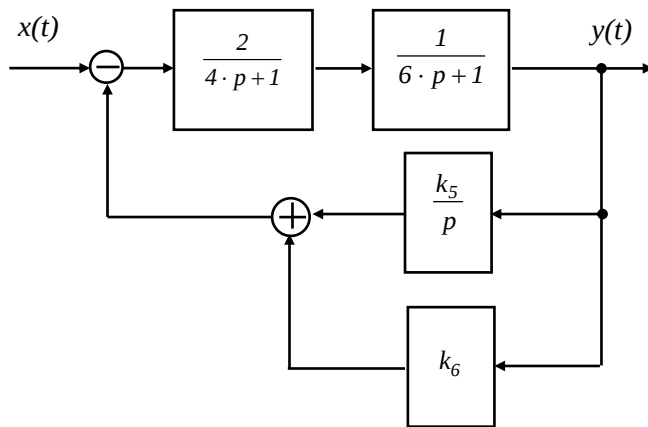


Рис.7.4.

**Решение:**

1) Определяем передаточные функции последовательного и параллельного соединений звеньев:

$$W_{\text{эк.1}}(p) = \frac{2}{4 \cdot p + 1} \frac{1}{6 \cdot p + 1},$$

$$W_{\text{эк.2}}(p) = \frac{k_5}{p} + k_6 = \frac{k_6 \cdot p + 5}{p}.$$

Определяем передаточную функцию замкнутой системы:

$$\Phi(p) = \frac{W_{\text{эк.1}}(p)}{1 + W_{\text{эк.1}}(p)W_{\text{эк.2}}(p)} = \frac{\frac{2}{(4 \cdot p + 1)} \frac{1}{(6 \cdot p + 1)}}{1 + \frac{2}{(4 \cdot p + 1)} \frac{1}{(6 \cdot p + 1)} \frac{(k_6 \cdot p + 5)}{p}} =$$

$$= \frac{2 \cdot p}{24 \cdot p^3 + 10 \cdot p^2 + (2 \cdot k_6 + 1) \cdot p + 10},$$

уравнение:

$$A(p) = 24 \cdot p^3 + 10 \cdot p^2 + (2 \cdot k_6 + 1) \cdot p + 10 = 0.$$

2) Оцениваем устойчивость по критерию Вышнеградского:

$$a_i > 0, \quad \forall i = \overline{0, 3}, \quad k_6 > -1/2,$$

$$10 \cdot (2 \cdot k_6 + 1) > 24 \cdot 10, \quad \text{или} \quad k_6 > 11.5.$$

Отсюда определяем значение  $k_6 = k_{6 \text{ крит.}}$ , при котором замкнутая САУ находится на границе устойчивости:  $k_{6 \text{ крит.}} = 11.5$ .

Ответ:  $k_{6 \text{ крит.}} = 11.5$ .

**Задача 5.** Для системы из задачи 4 с помощью ЭВМ проверить найденные условия устойчивости:  $k_6 > 11.5$ .

**Решение:**

Для оценки устойчивости системы с помощью ЭВМ необходимо рассчитать ее переходные функции при условиях:

1)  $k_6 = k_{6 \text{ крит.}} = 11.5$ ;

2)  $k_6 > k_{6 \text{ крит.}}$  (принимаем произвольно  $k_6 = 2 \times k_{6 \text{ крит.}} = 23$ );

3)  $k_6 < k_{6 \text{ крит.}}$  (принимаем произвольно  $k_6 = 0.5 \times k_{6 \text{ крит.}} = 5.75$ ).

Для расчета переходных функций используем систему СИАМ. Схема набора задачи

в СИАМ представлена на рис.7.5.

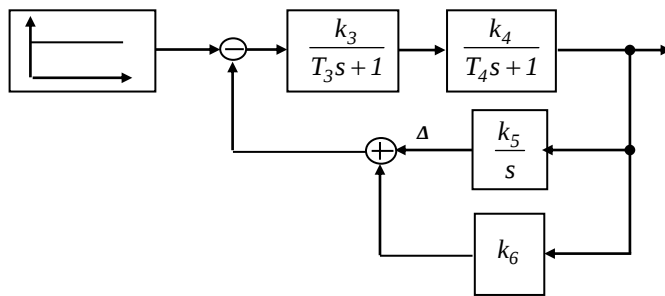
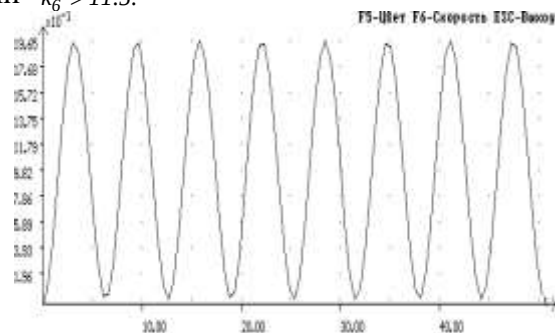


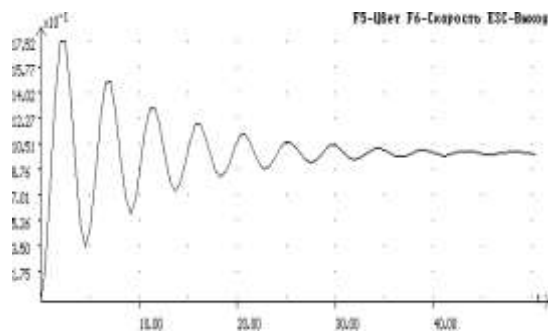
Рис.7.5. Схема набора задачи в СИАМ:

$$k_3 = 2, \quad k_4 = 1, \quad T_3 = 4 \text{ с},$$

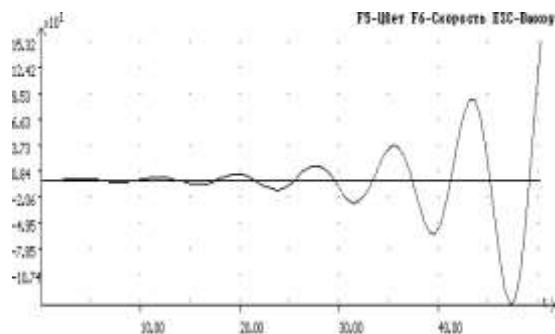
Графики переходных функций для сигнала управления в точке **А** представлены на рис.7.6. Их анализ показывает, что на рис. 7.6, а САУ находится на границе колебательной устойчивости, на рис.7.6, б САУ устойчива, на рис.7.6, в САУ неустойчива, что соответствует полученным в **Задаче 4** теоретическим результатам: САУ устойчива, если  $k_6 > 11.5$ .



а)



б)



в)

Рис.7.6. а)  $k_6 = k_{6 \text{ крит.}}$ , б)  $k_6 > k_{6 \text{ крит.}}$ , в)  $k_6$

#### 7.5. Порядок выполнения работы

- 1) Решить все варианты задач №№ 1-5.
- 2) Для заданного преподавателем варианта САУ, схема которой представлена на рис.7.2.,
  - определить передаточную функцию и характеристическое уравнение замкнутой системы;
  - оценить устойчивость САУ и определить критическое значение заданного параметра;
  - набрать в СИАМ структурную схему САУ;
  - рассчитать переходные функции для сигнала управления в точке А для значений:
$$k_6 = k_{6 \text{ крит.}}, \quad k_6 = 2 \cdot k_{6 \text{ крит.}}, \quad k_6 < 0.5 \cdot k_{6 \text{ крит.}};$$
  - по переходным функциям оценить устойчивость замкнутой САУ, результаты занести в таблицу 7.2.
  - на основании графиков и таблиц переходных функций для сигнала управления в точке А определить время регулирования и перерегулирование, результаты занести в таблицу 7.2.

#### 7.6. Контрольные вопросы

- 1) Сформулируйте необходимые и достаточные условия устойчивости САУ, необходимые условия устойчивости, критерии устойчивости Гурвица и Вышнеградского.
- 2) Решите один из вариантов задач №№ 1-5.
- 3) Как с использованием системы СИАМ найти переходную функцию? оценить устойчивость САУ?
- 4) Выберите характеристический полином устойчивой САУ:
  - а)  $A(p) = (p+1)(p^2 + p + 1);$
  - б)  $A(p) = p^3 + 3p^2 + p + 3;$
  - в)  $A(p) = p^3 - 2p^2 - 2p + 1;$
  - г)  $A(p) = p(p+3);$
  - д)  $A(p) = p^3 + 2p^2 + 2p + 1;$
  - е)  $A(p) = (p+1)(p-4).$
- 5) Что называется временем регулирования и перерегулированием, как они обозначаются?

#### 7.7. ОБОРУДОВАНИЕ

1. Персональный компьютер

#### 7.8. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алейников, А.К. Системы управления химико-технологическими процессами / А.К. Алейников, Е.П. Решетняк, А.В. Комиссаров. - Саратов: ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2008. - 416 с. ISBN 978-5-9758-0740-3
2. Беспалов, А.В. Системы управления химико-технологическими процессами. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2007. - 690 с. ISBN 978-5-94628-311-3
3. Алейников, А.К. Лабораторный практикум по дисциплине «Системы управления химико-технологическими процессами» Методическое пособие для студентов специальностей: 260303 – «Технология мяса и мясопродуктов», 260301 – «Технология молока и молокопродуктов»/ А.К. Алейников, Е.П. Решетняк, И.В. Харина. - Саратов: Из-во ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2008. - 64с.

## ОТЧЕТ О ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ №7

### Исследование устойчивости САУ с помощью ЭВМ

| Ф.И.О.<br>исполнителя | Учебная<br>группа № | Дата<br>проведения | Отметка<br>преподавателя |
|-----------------------|---------------------|--------------------|--------------------------|
|                       |                     |                    |                          |

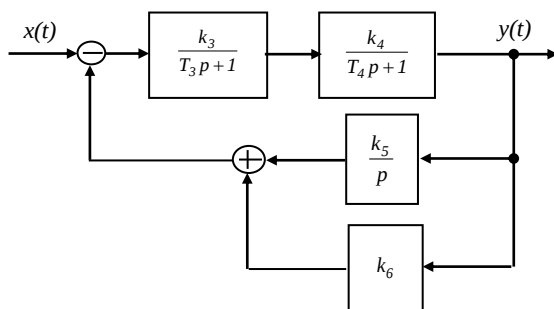
### 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Закрепление теоретических знаний по дисциплине и приобретение навыков исследования устойчивости САУ с использованием алгебраических критериев и с помощью системы СИАМ.

### 2. ЗАДАНИЕ НА ВЫПОЛНЕНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

1. Отработать навыки решения задач по оценки устойчивости САУ с помощью алгебраических критериев.

2. С помощью алгебраических критериев оценить устойчивость системы стабилизации температуры в термокамере с ПИ – регулятором, заданной структурной схемой

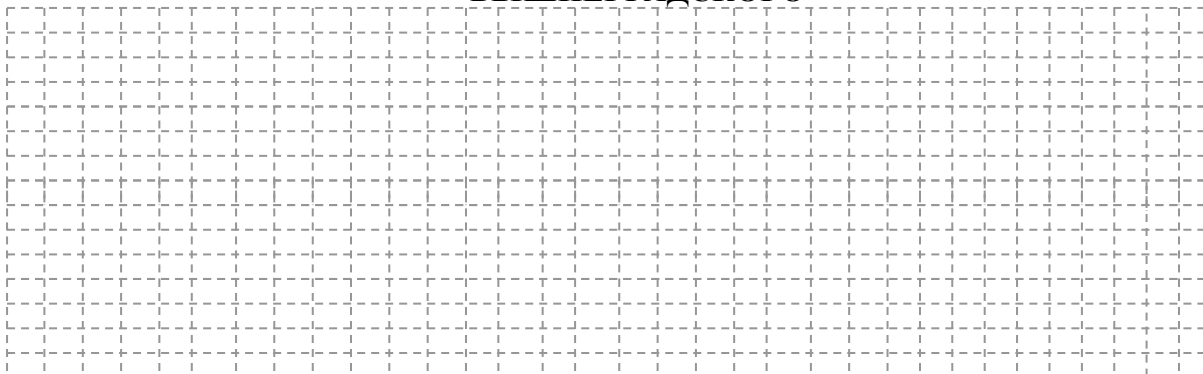


Вар.№ \_\_\_\_:  $k_3 =$  ,  $k_4 =$  ,  $k_5 =$  ,  
 $k_6 =$  ,  $T_3 =$  ,  $T_4 =$  .

Для заданного преподавателем варианта системы, рас-считать условие нахождения САУ на границе устойчивости ( $k_{крит}$ ).

3. С помощью системы СИАМ рассчитать переходные функции, оценить устойчивость и определить основные показатели качества: перерегулирование и время регулирования, для заданного варианта САУ и найденных значений параметров:  $k_{крит}$  ,  $0.5 \cdot k_{крит}$  ,  $2 \cdot k_{крит}$  . Результаты занести в таблицу.

### 3. ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ С ПОМОЩЬЮ КРИТЕРИЯ ВЫШНЕГРАДСКОГО



#### 4. ТАБЛИЦА С РЕЗУЛЬТАТАМИ ИССЛЕДОВАНИЙ

| Значение параметра   | $t_p, c$ | $\sigma, \%$ | Оценка устойчивости |          |
|----------------------|----------|--------------|---------------------|----------|
|                      |          |              | Теория              | Практика |
| $k_{крит}$           |          |              |                     |          |
| $0.5 \cdot k_{крит}$ |          |              |                     |          |
| $2 \cdot k_{крит}$   |          |              |                     |          |

#### 5. ВЫВОДЫ:

Результаты аналитических и численных исследований системы стабилизации температуры в термокамере с ПИ - регулятором показали, что она устойчива при следующих условиях:  $k_6 <>$  , при этом  $t_p =$  с ,  $\sigma =$  %.

Подпись исполнителя \_\_\_\_\_

---

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №8**

### **ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ С ПОМОЩЬЮ ТЕРМОМЕТРОВ СОПРОТИВЛЕНИЯ И МОСТОВЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СХЕМ**

#### **1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ.**

1.1. Ознакомление с принципом действия и техническим устройством термометров сопротивления.

1.2. Ознакомление с устройством и работой автоматических электронных мостов.

1.3. Изучение двух и трех проводной схемы подключения термометров сопротивления.

#### **2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ.**

2.1. Устройство и работа термометров сопротивления.

Термометры сопротивления применяют для измерения температуры в пределах от  $-200$  до  $+650$  °C.

Принцип действия металлических термометров сопротивления основан на свойстве проводников увеличивать электрическое сопротивление при нагревании. Теплочувствительный элемент термометра сопротивления представляет собой тонкую проволоку (медную или платиновую), спирально намотанную на каркас и заключенную в чехол.

Электрическое сопротивление проволоки при температуре 0°C строго определенное. Измеряя прибором сопротивление термометра сопротивления, можно точно определить его температуру. Чувствительность термометра сопротивления определяется температурным коэффициентом сопротивления материала, из которого сделан термометр, т.е. относительным изменением сопротивления теплочувствительного элемента термометра при нагревании его на 100°C. Так, например, сопротивление термометра, выполненного из платиновой проволоки, при изменении температуры на 1 °C изменяется примерно на 36 процентов.

Термометры сопротивления, например, по сравнению манометрическими обладают рядом преимуществ: более высокой точностью измерения; возможностью передачи показаний на большие расстояния; возможностью централизации контроля путем присоединения нескольких термометров к одному измерительному прибору (через переключатель).

Недостаток термометров сопротивления - необходимость в постороннем источнике питания.

В качестве вторичных приборов в комплекте с термометром сопротивления применяются обычно автоматические электронные мосты. Для полупроводниковых термосопротивлений измерительными приборами обычно служат неуравновешенные мосты.

Для изготовления термометров сопротивления, как отмечалось выше, применяются чистые металлы (платина, медь) и полупроводники.

Платина наиболее полно отвечает основным требованиям, предъявляемым к материалу для термометров сопротивления. В окислительной среде она химически инертна даже при очень высоких температурах, но значительно хуже работает в восстановительной среде. В условиях восстановительной среды чувствительный элемент платинового термометра должен быть герметизирован.

Изменение сопротивления платины в пределах температур от 0 до  $+650$  °C описывается уравнением

$$R_t = R_0 (1 + \alpha t + \beta t^2),$$

где  $R_t$ ,  $R_0$  -сопротивление термометра соответственно при  $0^\circ\text{C}$  и температуре  $t$   
 $\alpha$ ,  $\beta$  -постоянные коэффициенты, значения которых определяются при градуировке термометра по точкам кипения кислорода и воды.

К достоинствам меди, как материала для термометров сопротивления, следует отнести ее дешевизну, легкость получения в чистом виде, сравнительно высокий температурный коэффициент и линейную зависимость сопротивления от температуры:

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

где  $R_t$ ,  $R_0$  - сопротивление материала термометра, соответственно при  $0^\circ\text{C}$  и температуре  $t$ ;

$\alpha$  - температурный коэффициент сопротивления ( $\alpha = 4,26 \cdot 10^{-3} \text{ 1/град.}$ )

К недостаткам медных термометров относится малое удельное сопротивление и легкая окисляемость при температуре выше  $100^\circ\text{C}$ . Полупроводниковые термосопротивления. Существенным преимуществом полупроводников является их большой температурный коэффициент сопротивления. Кроме того, вследствие малой проводимости полупроводников из них можно изготовить термометры малых размеров с большим начальным сопротивлением, что позволяет не учитывать сопротивление соединительных проводов и других элементов электрической схемы термометра. Отличительной особенностью полупроводниковых термометров сопротивления является отрицательный температурный коэффициент сопротивления. Поэтому при повышении температуры сопротивление полупроводников уменьшается.

Для изготовления полупроводниковых термосопротивлений применяют окислы титана, магния, железа, марганца, кобальта, никеля, меди и др. или кристаллы некоторых металлов (например германия) с различными примесями. Для измерения температуры наиболее часто применяют термосопротивления типов ММТ-1, ММТ-4, ММТ-5, КМТ-1 и КМТ-4. Для всех термосопротивлений типов ММТ и КМТ в рабочих интервалах температур сопротивление меняется от температуры по экспоненциальному закону.

Серийно выпускаются платиновые термометры сопротивления (ТСП) для температур от  $-200$  до  $+180^\circ\text{C}$  и медные термометры сопротивления (ТСМ) для температур от  $-60$  до  $+180^\circ\text{C}$ . В этих пределах температур существует несколько стандартных шкал.

Все серийно выпускаемые платиновые термометры сопротивления имеют условные обозначения: 50П, 100П, что соответствует при  $0^\circ\text{C}$  50 ом и 100 ом. Медные термометры сопротивления имеют обозначения 50М и 100М.

Как правило, измерение сопротивления термометров сопротивления производится с помощью мостовых измерительных схем (уравновешанные и неуравновешенные мосты).

## 2.2. Устройство и работа автоматических электронных равновесных мостов.

Автоматические электронные мосты - это приборы, работающие с различными датчиками, в которых измеряемый технологический параметр (температура, давление и т.п.) может быть преобразован в изменение сопротивления. Наиболее широко автоматические электронные мосты применяются в качестве вторичных приборов при работе с термометрами сопротивления.

Принципиальная схема уравновешенного моста приведена на рис.8.1. На рис.8.1-а показана схема уравновешенного моста при двухпроводном включении измеряемого

сопротивления  $R_t$ , являющегося вместе с соединительными проводами плечом моста. Плечи  $R_1$  и  $R_2$  имеют постоянное сопротивление, а плечо  $R_3$  является реохордом (переменным сопротивлением). В диагональ  $ab$  включен источник питания схемы, а в диагональ  $cd$  — нуль-прибор 2.

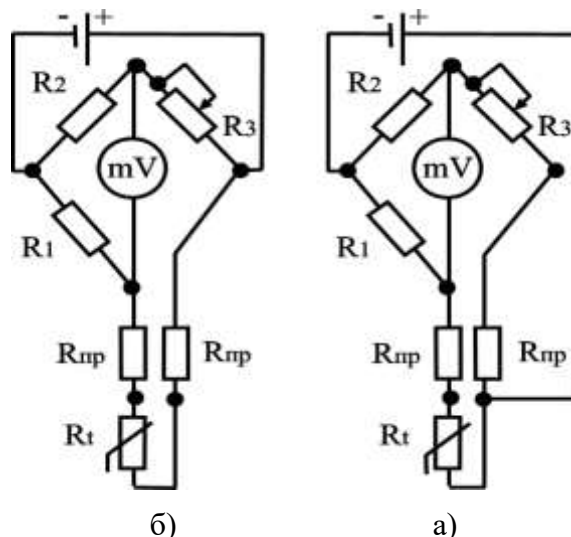


Рис.8.1. Принципиальная схема уравновешенного моста.

- а) двухпроводная схема подключения
- б) трехпроводная схема подключения.

Шкала моста располагается вдоль реохорда, сопротивление которого при изменении  $R_t$  изменяют путем перемещения движка 1 до тех пор, пока стрелка нуля прибора 2 не установится на нулевую отметку. В этот момент ток в измерительной диагонали отсутствует. Движок 1 связан с указателем шкалы.

При равновесии моста имеет место равенство

$$R_1 \cdot R_3 = R_2 \cdot (R_t + 2 \cdot R_{\text{пр}})$$

откуда

$$R_t = (R_1/R_2) \cdot R_3 - 2 \cdot R_{\text{пр}}$$

Отношение сопротивлений  $R_1/R_2$ , а также сопротивление соединительных проводов  $R_{\text{пр}}$  для данного моста величины постоянные. Поэтому каждому значению  $R_t$  соответствует определенное сопротивление реохорда  $R_3$ , шкала которого градуируется либо в Омах, либо в единицах неэлектрической величины, для измерения которой предназначена схема, например, в градусах Цельсия.

При наличии длинных проводов, соединяющих датчик с мостом по двухпроводной схеме, изменение сопротивления и в зависимости от температуры окружающей среды (воздуха) может внести значительные погрешности в измерение сопротивления  $R_t$ . Радикальное средство устранения указанной погрешности — замена двухпроводной схемы трехпроводной (рис.8.1-б).

В схеме уравновешенного моста изменение напряжения источника питания не влияет на результаты измерения.

В автоматических уравновешенных электронных мостах для уравновешивания схемы используется следующая схема. Принципиальная схема электронного моста типа КСМ изображена на рис.8.2. В основу работы электронного моста положен принцип измерения сопротивления методом равновесного моста.

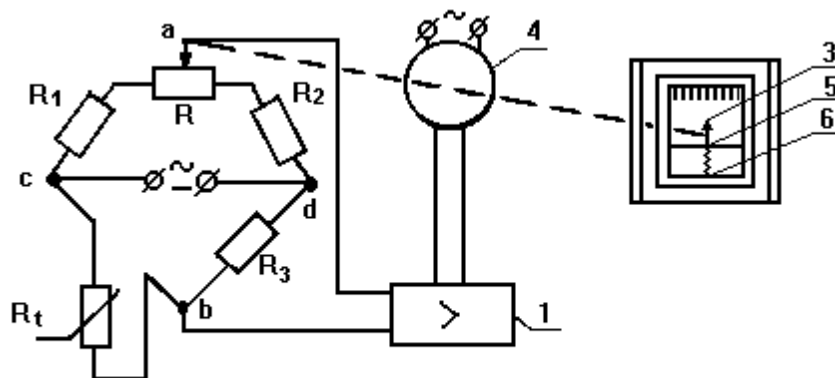


Рис. 8.2. Принципиальная схема электронного автоматического моста КМС.

Мостовая схема состоит из трех плеч с сопротивлениями  $R_1, R_2, R_3$ , реохорда  $R$  и четвертого плеча, содержащего измеряемое сопротивление  $R_t$ . К точкам  $c$  и  $d$  подключен источник питания.

При определении значения сопротивления протекающие по плечам моста токи создают в точках  $a$  и  $b$  напряжение, фиксируемое нуль-индикатором 1, подключенным к этим точкам. Перемещая движок 2 реохорда  $R$  с помощью реверсивного двигателя 4, можно найти такое положение равновесия схемы, при котором напряжения в точках  $a$  и  $b$  будут равны. Следовательно, по положению движка 2 реохорда можно найти величину измеряемого сопротивления  $R_t$ .

В момент равновесия измеряемой схемы положение стрелки 3 определяет значение измеряемой температуры (сопротивление  $R_t$ ). Регистрация измеряемой температуры приводится с помощью пера-5 на диаграмме 6.

Электронные мосты подразделяют по числу точек измерения и записи на одноточечные и многоточечные (3-, 6-, 12- и 24 точечные), с ленточной диаграммой и приборы с дисковой диаграммой. Электронные мосты выпускаются с классами точности 0,5 и 0,25.

Записывающее устройство многоточечного прибора состоит из печатающего барабана с нанесенными на его поверхности точками и цифрами.

Приборы питаются от сети переменного тока напряжением 127 и 220В, а измерительная цепь моста питается постоянным током напряжением 6,3 В от силового трансформаторного прибора. Приборы с питанием от сухого элемента применяются в тех случаях, когда датчик устанавливается в пожароопасных помещениях.

### 3. КАЛИБРОВКА ДАТЧИКОВ ТЕМПЕРАТУРЫ

Термопреобразователь сопротивления подключают к измерительному прибору с помощью медных (иногда алюминиевых) проводов, сечение, протяженность, а следовательно, и сопротивление которых определяется конкретными условиями измерения.

В зависимости от способа присоединения термопреобразователя сопротивления к измерительному прибору - по двухпроводной или трехпроводной схеме (рис.8.1, вариант "а" и "б"), сопротивление проводов входит целиком в одно плечо мостовой схемы прибора, либо делится поровну между ее плечами. В обоих случаях

показания прибора определяются не только сопротивлением термопреобразователя сопротивления, но и соединительных проводов. Степень влияния соединительных проводов на показания прибора зависит от величины их сопротивления. Так, в каждом конкретном условиях измерения, т.е. при каждом конкретном значении этого сопротивления, показания одного и того же прибора, измеряющего одну и ту же температуру (когда термопреобразователь имеет одно и то же сопротивление) будут различными. Для устранения такой неопределенности измерительные приборы градуируют при каком-либо определенном стандартном сопротивлении соединительных проводов, которое обязательно указывается на их шкале записью, например  $R_{\text{вн}}=50\text{ Ом}$ . Если при эксплуатации прибора соединительная линия будет иметь такое же сопротивление, показания прибора будут правильными. Поэтому измерениям должна предшествовать операция подгонки соединительной линии, заключающаяся в доведении ее сопротивления до указанного градуировочного значения  $R_{\text{вн}}$ .

Сопротивление соединительной линии даже при тщательной подгонке равно градуировочному значению только в том случае, когда температура окружающего воздуха не отличается от той, при которой велась подгонка. Изменение температуры линии приведет к изменению сопротивления медных (алюминиевых) проводов, нарушению правильности подгонки и в конечном счете, к появлению температурной погрешности показаний прибора. Эта погрешность особенно сказывается при 2-х проводной линии связи, когда температурное приращение сопротивления линии имеет место только в одном плече мостовой схемы. При 3-х проводной линии температурное приращение сопротивления линии получают два смежных плеча и состояние мостовой схемы изменяется меньше, чем в первом случае. В результате этого, величина температурной погрешности оказывается меньшей. Поэтому 3-х проводная линия оказывается более предпочтительной, несмотря на больший расход материала, применяемого для изготовления соединительных проводов.

#### **4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.**

4.1. Ознакомиться с принципом действия и конструкцией термометров сопротивления и электротехническими устройствами стенда. Собрать двухпроводную схему измерения в соответствии с рис. 8.1.а.

4.2. Установить тумблер в положение 2-проводная схема, а переключатель в положение 0.

4.3. Установить мостом МС, имитирующим термометр сопротивления, сопротивление в Омах, соответствующие табличным данным (Таблица 8.1), снять показания температуры в  $^{\circ}\text{C}$  по шкале МПР51 и провести расчет абсолютной и относительной погрешности измерений, указанных в таблице 8.1 температур.

Исследование 2- проводной схемы.

4.4. Установить тумблер в положение 2-х проводная схема подключения.

4.5. Установить переключатель сопротивления соединительных проводов в положение 1 (соответствует  $R_{\text{пр}}=1,72\text{ Ом}$ ).

4.6. Выполнить пункт 4.3 и результаты измерения занести в таблицу 8.1 по строкам 5-7, соответствующим 2-х проводной схеме подключения при  $R_{\text{пр}}=1,72\text{ Ом}$ .

4.7. Установить переключатель сопротивления соединительных проводов в положение 2 (соответствует  $R_{\text{пр}}=5\text{ Ом}$ ).

4.8. Выполнить пункт 4.3 и результаты измерения занести в таблицу 8.1 по строкам 8-10 соответствующим 2-х проводной схеме подключения при  $R_{\text{пр}}=5\text{ Ом}$ .

Исследование 3 - х проводной схемы.

4.9. Установить тумблер в положение 3-х проводной схемы подключения (рис. 8.3. б).

4.10. Выполнить пункты 4.5-4.8 и занести результаты в строки 11-16 таблицы 8.1 соответствующие сопротивлениям соединительных проводов  $R_{пр}=1,72$  Ом и  $R_{пр}=5$  Ом.

4.11. Дать анализ точности измерений при двухпроводной и трехпроводной схеме измерения.

4.12. В отчете привести выводы по протоколу испытаний (таблица 8.1).

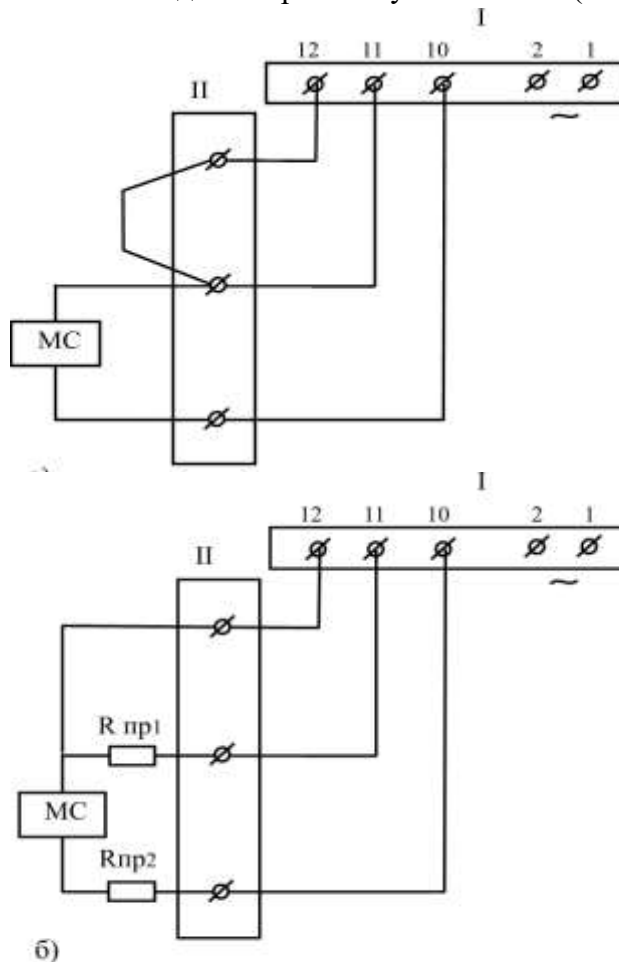


Рис. 8.3. Схема подключения МС к ТРМ 5

а) по двухпроводной схеме

б) по трехпроводной схеме

I - колодка соединительная ТРМ 5

II – клеммы на панели стенда

$R_{пр1}$ ,  $R_{пр2}$  – сопротивление соединительных проводов

МС – магазин сопротивлений

5.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.

1. Назовите типы термометров сопротивления и принцип их действия.
2. Назовите достоинства и недостатки термометров сопротивления.
3. Приведите примеры использования термометров сопротивления в системах автоматического контроля и регулирования.
4. Каково назначение автоматических электронных равновесных мостов?
5. Принцип действия уравновешанных мостов.

6. Назовите особенности измерительной схемы автоматических электронных мостов.

7. Какие преимущества имеет трехпроводная схема включения термометра сопротивления и когда она применяется?

### **ОБОРУДОВАНИЕ**

1.Лабораторный стенд

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Алейников, А.К. Системы управления химико-технологическими процессами / А.К. Алейников, Е.П. Решетняк, А.В. Комиссаров. - Саратов: ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2008. - 416 с. ISBN 978-5-9758-0740-3

2. Беспалов, А.В. Системы управления химико-технологическими процессами. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2007. - 690 с. ISBN 978-5-94628-311-3

3. Алейников, А.К. Лабораторный практикум по дисциплине «Системы управления химико-технологическими процессами» Методическое пособие для студентов специальностей: 260303 – «Технология мяса и мясопродуктов», 260301 – «Технология молока и молокопродуктов»/ А.К. Алейников, Е.П. Решетняк, И.В. Харина. - Саратов: Из-во ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2008. - 64с.

Таблица 8.1.

| R <sub>пр</sub><br>Ом           | N<br>стр | Заданная<br>температура гр.С                           | 20    | 30    | 40    | 50    | 60    | 70    | 80    | 90    | 100   |
|---------------------------------|----------|--------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0                               | 1        | Сопротивление,<br>устанавливаемое<br>на магазине МС,Ом | 53,96 | 55,93 | 57,90 | 59,86 | 61,81 | 63,75 | 65,70 | 67,63 | 69,56 |
| 0                               | 2        | Показания t по прибору,<br>гр.С                        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 0                               | 3        | Абсолютная<br>погрешность                              |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 0                               | 4        | Относительная<br>погрешность                           |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| ДВУХПРОВОДНАЯ СХЕМА ПОДКЛЮЧЕНИЯ |          |                                                        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 1,72                            | 5        | Показания t по прибору,<br>гр.С                        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 1,72                            | 6        | Абсолютная<br>погрешность                              |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 1,72                            | 7        | Относительная<br>погрешность                           |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 5                               | 8        | Показания t по прибору,<br>гр.С                        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 5                               | 9        | Абсолютная<br>погрешность                              |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 5                               | 10       | Относительная<br>погрешность                           |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| ТРЕХПРОВОДНАЯ СХЕМА ПОДКЛЮЧЕНИЯ |          |                                                        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 1,72                            | 11       | Показания t по прибору,<br>гр.С                        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 1,72                            | 12       | Абсолютная<br>погрешность                              |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 1,72                            | 13       | Относительная<br>погрешность                           |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 5                               | 14       | Показания t по прибору,<br>гр.С                        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 5                               | 15       | Абсолютная<br>погрешность                              |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
| 5                               | 16       | Относительная<br>погрешность                           |       |       |       |       |       |       |       |       |       |

Градуировочная таблица ТС

Таблица 8.2

| Температура<br>гр. С | Сопротивление<br>Ом | Температура<br>гр.С | Сопротивление<br>Ом |
|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| - 50                 | 39,35               |                     |                     |
| - 37,5               | 40,01               |                     |                     |
| 12,5                 | 52,66               |                     |                     |
| 75                   | 65,98               |                     |                     |
| 137,5                | 79,29               |                     |                     |
| 187,5                | 89,94               |                     |                     |
| 200                  | 92,60               |                     |                     |
|                      |                     |                     |                     |
|                      |                     |                     |                     |

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №9 ИЗМЕРЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ С ПОМОЩЬЮ МПР51

### 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ.

- 1.1. Ознакомление с принципом действия и техническим устройством МПР51.
- 1.2. Ознакомление с устройством влажного термометра.
- 1.3. Изучение измерения влажности психрометрическим способом.

### 2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ.

2.1. Относительная влажность вычисляется в приборе по психрометрическому методу.

Психрометрический метод основан на измерении разности температур «сухого» и «влажного» («мокрого») термометров, температура последнего всегда ниже из-за испарения воды с поверхности фитиля. Чем суше воздух (ниже влажность), тем интенсивнее испаряется вода с поверхности фитиля, тем ниже температура «влажного» термометра.

На основе полуэмпирических психрометрических формул выведена общепринятая формула для расчета относительной влажности воздуха  $\Psi$ , %:

$$\Psi = \frac{E_m}{E_c} - \frac{A \cdot p \cdot (T_c - T_m)}{E_c},$$

где  $E_m$  - максимально возможное парциальное давление водяного пара при температуре воздуха  $T_m$ , °C;

$E_c$  - максимально возможное парциальное давление водяного пара при температуре воздуха  $T_c$ , °C;

$p$  - атмосферное давление;

$T_c$  - температура «сухого» термометра, °C;

$T_m$  - температура «влажного» термометра, °C;

$A$  - психрометрический коэффициент (психрометрическая постоянная).

2.2. Психрометрический коэффициент зависит от многих факторов, влияющих на тепло и массообмен чувствительного элемента "влажного" термометра с окружающей средой:

- размера и формы чувствительного элемента "влажного" термометра;
- вида и состояния смачиваемого фитиля;
- температуры смачивающей воды и теплопроводности фитиля;
- влияния тепловой радиации.

Среди факторов внешнего воздействия наибольшее значение имеет скорость воздуха. Коэффициент  $A$  быстро убывает с ростом скорости воздушного потока и при скорости большей 2,5 м/сек приближается к постоянной величине, поэтому предпочтительнее использование вентиляторов со скоростью перемещения воздуха не менее 2,5 м/с.

2.3. Увлажняющий фитиль должен обладать максимальной всасывающей способностью. Чаще всего фитиль изготавливается из тонких хлопчатобумажных неотбеленных тканей - марли, батиста, муслина и т.п. Для удаления аппретуры ткань предварительно можно прокипятить.

Фитиль изготавливается так: взять кусок марли (4...6 слоёв) такого размера, чтобы длина одной стороны куска покрывала датчик температуры желательно на всю его длину, а длина другой стороны куска была в 2 раза больше расстояния от датчика температуры до дна резервуара с водой. Сложить кусок пополам и сделать шов (или просто застегнуть) около места перегиба так, чтобы можно было просунуть в образовавшееся отверстие датчик. Желательно, чтобы марля плотно облегла датчик.

Вместо марли можно использовать более плотные материалы, сложенные в 2...3 слоя.

Если нет возможности закрыть фитилем датчик на всю его длину, необходимо, чтобы конец датчика был закрыт на длину хотя бы 6 см с тем, чтобы чувствительный элемент, находящийся в самом конце гильзы, был закрыт фитилем.

2.4. Крепить датчики температуры следует один над другим на расстоянии 50...100 мм друг от друга, перпендикулярно стенке резервуара (рис.9.1), или параллельно (рис. 9.2). Под "влажным" термометром поместить резервуар с водой так, чтобы до поверхности воды было 60...100 мм.

Материал для изготовления резервуара может быть любым, длительно выдерживающим условия эксплуатации. Например, нержавеющая сталь, оцинкованное железо, термостойкая пластмасса, стекло или другой материал, который в конкретных условиях эксплуатации не будет разрушаться или выделять вредные вещества.

Увеличивать запас воды в резервуаре можно двумя способами:

- увеличивая глубину резервуара;
- увеличивая ширину резервуара.

В первом случае необходимо увеличивать длину фитиля, при этом появляется опасность его высыхания, во втором случае - увеличивается площадь испарения воды.

Для снижения площади испарения воды из резервуара можно рекомендовать резервуар с «бутылочным» горлом (рис. 9.3). В этом случае ширину резервуара можно увеличить в 3 -4 раза (до 150... 200 мм).

В случаях, когда требуется доливать в резервуар воду, не входя в рабочую камеру, вне камеры можно поставить дополнительный резервуар и соединить его с внутренним, что позволяет пополнять запас воды в резервуаре, не входя в камеру.

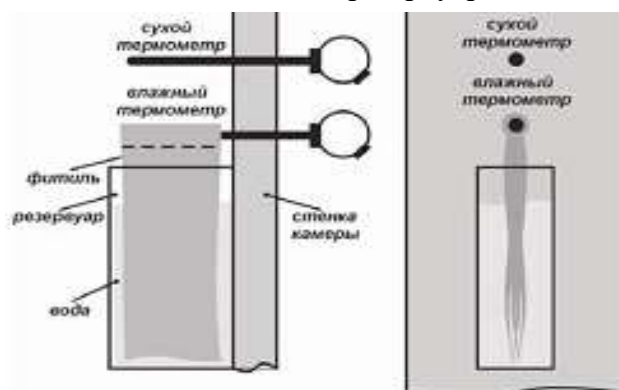


Рис.9.1. Крепление датчиков перпендикулярно стенке резервуара.

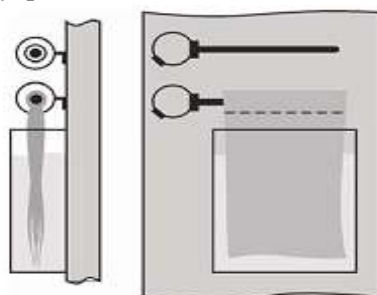


Рис.9.2. Крепление датчиков параллельно стенке резервуара.



Рис.9.3. Форма резервуара с  
«бутылочным горлом».

### 3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ.

1. Проверить наличие необходимого оборудования на стенде.
2. Подключить термосопротивления к МПР51 для измерения влажности.
3. Установить задатчиком регулятора МПР51 заданные значения (по указанию преподавателя). Для этого в режиме ПРОГРАММИРОВАНИЯ зайти на уровень L2 выбираем параметр *003* и устанавливаем значение *001* (это означает что индикатор указывает влажность).
4. Замерить влажность в аудитории.

### 4.ОБОРУДОВАНИЕ

- 1.Лабораторный стенд

### 5.СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алейников, А.К. Системы управления химико-технологическими процессами / А.К. Алейников, Е.П. Решетняк, А.В. Комиссаров. - Саратов: ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2008. - 416 с. ISBN 978-5-9758-0740-3
2. Беспалов, А.В. Системы управления химико-технологическими процессами. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2007. - 690 с. ISBN 978-5-94628-311-3
3. Алейников, А.К. Лабораторный практикум по дисциплине «Системы управления химико-технологическими процессами» Методическое пособие для студентов специальностей: 260303 – «Технология мяса и мясопродуктов», 260301 – «Технология молока и молокопродуктов»/ А.К. Алейников, Е.П. Решетняк, И.В. Харина. - Саратов: Из-во ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2008. - 64с.