

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Ю.К. Атрошенко, К.Ю. Вершинина

**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
ТЕПЛОВЫМИ УСТАНОВКАМИ**

методические указания к выполнению лабораторных работ

Томский политехнический университет
2018

УДК 621.311.22
ББК 31.37-5-05я73
А92

Атрошенко Ю.К.

Автоматизированные системы управления тепловыми установками: сборник лабораторных работ / составители Ю.К. Атрошенко, К.Ю. Вершинина; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2018. – 62 с.

Пособие предназначено для студентов, обучающихся по направлению 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника».

**УДК 621.311.22
ББК 31.37-5-05я73**

Рецензенты

Доктор физико-математических наук,
профессор ИШФВП ТПУ
Стрижак П.А.

Доктор технических наук,
профессор ТГУ *С.В. Шидловский*

© ФГАОУ ВО НИ ТПУ, 2018
© Ю.К. Атрошенко, К.Ю. Вершинина, 2018
© Оформление. Томский политехнический университет, 2018

СОДЕРЖАНИЕ

1. Исследование переходных характеристик типовых элементарных звеньев	5
2. Оценка качества переходных процессов систем автоматического регулирования	9
3. Исследование одноконтурной системы регулирования с П- и ПИ-регулятором	11
4. Исследование одноконтурной системы регулирования с ПИ- и ПИД-регулятором	15
5. Исследование одноконтурной системы регулирования с ПИ-регулятором в условиях возмущающих воздействий на объект регулирования	18
6. Повышение качества переходного процесса в системе автоматического регулирования	20
7. Исследование частотных характеристик элементарных звеньев	23
8. Влияние внешних возмущающих воздействий на переходные процессы в одноконтурной САР с запаздыванием	27
9. Исследование устойчивости систем регулирования во временной области и в плоскости корней характеристического уравнения	31
10. Исследование устойчивости систем регулирования с помощью частотного критерия Михайлова	35
11. Моделирование системы автоматического регулирования процесса нагревания (терморегулятор)	37
12. Моделирование системы автоматического регулирования уровня в промышленном резервуаре	42
13. Настройка АСР температуры методом незатухающих колебаний Циглера-Никольса	45
14. Синтез АСР давления в деаэраторе частотным методом	49
15. Частотный анализ АСР температуры воздуха в помещении	64
16. Моделирование релейной АСР уровня в промышленном резервуаре... ..	68
17. Наладка АСР температуры внутри печи	72
18. Определение передаточных функций и переходных характеристик первичных измерительных преобразователей	76

19. Изучение регулирующих органов и исполнительных устройств систем автоматического регулирования	81
20. Разработка структурной схемы одноконтурной системы регулирования	85

1. ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТИПОВЫХ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЗВЕНЬЕВ

Цели работы:

- Освоение основных процедур работы в программе МВТУ.
- Получение переходных характеристик апериодического, интегрирующего и колебательного звеньев с заданными параметрами.
- Исследование влияния параметров звена на вид его переходной характеристики.

1.1 Апериодическое звено

Порядок выполнения работы

1. Запустить программу через ярлык «МВТУ 3.7»
2. Создать проект: Файл → Создать.
3. Построить в своем проекте структурную схему вида (рис. 1):

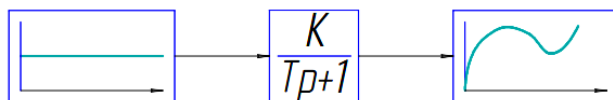


Рисунок 1 – Структурная схема модели для исследования апериодического звена

Для этого необходимо:

- Поместить на рабочее пространство блок апериодического звена с вкладки «Динамические»;
- Поместить на рабочее пространство блок генератора постоянного сигнала с вкладки «Источники»;
- Поместить на рабочее пространство блок «Временной график» с вкладки «Данные»;
- Соединить блоки между собой.

4. Задать параметры k_1 и T_1 апериодического звена (по варианту)

Для этого необходимо:

- Дважды щелкнуть левой кнопкой мыши на блок апериодического звена;
- Задать коэффициент усиления и постоянную времени;

- Подтвердить внесенные изменения нажатием кнопки «Да».
5. Построить график переходной характеристики
Для этого необходимо:
 - Дважды щелкнуть левой кнопкой мыши на блок «Временной график»;
 - Главное меню: Моделирование → Расчет (или Ctrl + F9).
 6. Сохранить полученный график, скопировав изображение в документ MS Word.
 7. Повторить пункты 4,5,6 с параметрами апериодического звена k_2 и T_2 (по варианту).

Варианты заданий

№ варианта	Коэффициент передачи k_1	Постоянная времени T_1 , с	Коэффициент передачи k_2	Постоянная времени T_2 , с
1	2	0.6	5.3	0.8
2	3	2.46	3	1.7
3	12.3	1.8	10	2
4	8.7	0.5	2	0.75
5	0.5	0.16	4.7	2.1
6	1	0.9	8	0.7
7	7.5	0.48	6	1.2
8	3.2	1.8	1	1.3
9	2.3	0.9	10	1
10	10	1.2	3.5	1.95

1.2 Интегрирующее звено

Порядок выполнения работы

Задание №1

1. В программе МВТУ построить структурную схему (рис. 2), состоящую из интегрирующего звена, на вход которого подается единичное воздействие.

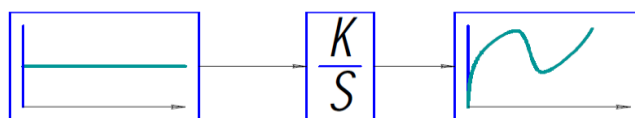


Рисунок 2 – Структурная схема для расчета и исследования переходных процессов интегрирующего звена

2. Для заданных значений коэффициента усиления k_1 и k_2 рассчитать и построить графики переходных процессов.

Задание №2

1. Подать на вход интегрирующего звена другой тип сигнала (синусоиду).
2. Для заданных значений коэффициента усиления k_1 и k_2 построить зависимости выходного сигнала от времени.

Варианты заданий

№ варианта	Коэффициент передачи k_1	Коэффициент передачи k_2
1	0.03	10.2
2	1.3	0.1
3	10	16.5
4	0.15	12.4
5	96	12
6	0.35	0.45
7	1.2	0.1
8	45.5	14.3
9	1.65	3.9
10	10.2	2.3

1.3. Колебательное звено

Порядок выполнения работы

Задание №1

1. В программе МВТУ построить структурную схему для исследования колебательного звена (рис. 3).

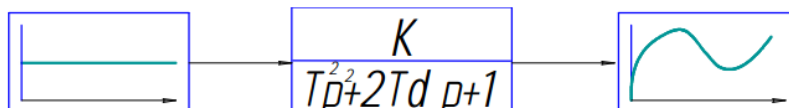


Рисунок 3 – Структурная схема для исследования колебательного звена

2. Задать параметры колебательного звена согласно варианту исходных данных и провести 2 опыта:

Опыт №1: коэффициент демпфирования равен 0.

Опыт №2: коэффициент демпфирования >0 .

Получить графики переходных процессов.

ВАЖНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Для того чтобы график переходного процесса был более наглядным и информативным, необходимо изменить параметры расчета:

Моделирование → Параметры расчета → Время интегрирования

С увеличением времени интегрирования график переходного процесса будет отображаться шире во временной области.

Варианты заданий

Вариант	Коэффициент усиления	Постоянная времени	Коэффициент демпфирования (опыт №1)	Коэффициент демпфирования (опыт №2)
1	1.2	1.3	0	0.2
2	0.9	2.1	0	0.08
3	2	2.4	0	0.06
4	3.5	1	0	0.3
5	2.7	1.5	0	0.05
6	4	2.6	0	0.2
7	1.7	3.3	0	0.1
8	6	2.5	0	0.12
9	0.8	3.5	0	0.18
10	12	10	0	0.35

Содержание отчета

1. Цель работы;
2. Исходные данные (по варианту);
3. Описание выполнения работы;
4. Анализ полученных результатов.

2. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Цели работы: изучение метода оценки качества переходных процессов систем автоматического регулирования с помощью прямых оценок.

Порядок выполнения работы

1. В программе МВТУ построить структурную схему (рисунок 4).

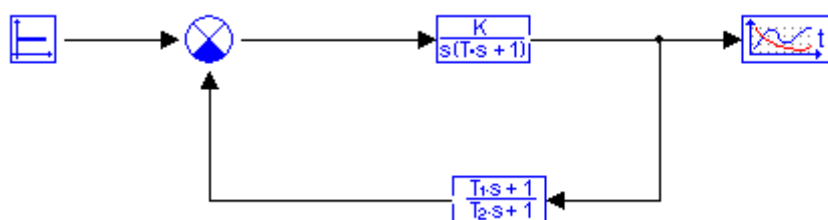


Рисунок 4 – Структурная схема

2. Задать параметры блоков в соответствии с вариантом исходных данных. Получить график переходного процесса.

ВАЖНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Для «ветвления» связей между блоками структурной схемы необходимо использовать зажатую клавишу «Ctrl» совместно с курсором.

Удерживая клавишу «Ctrl» зажатой, нужно щелкнуть левой кнопкой мыши на участок линии связи. Появится «прицел», который дает возможность создавать в схеме узлы ветвления.

3. Провести оценку качества полученного переходного процесса путем определения следующих характеристик:

1) Динамическая ошибка A_1 ;

2) Перерегулирование: $\sigma = \frac{A_1 \cdot 100\%}{y(\infty)}$;

3) Статическая ошибка: $\varepsilon_{ст} = S - y(\infty)$,

где S – величина сигнала задания.

4) Степень затухания: $\psi = \frac{A_1 - A_2}{A_1}$,

где A_2 – вторая амплитуда колебания.

5) Время регулирования t_p .

Под временем регулирования понимается время, по истечении которого отклонение регулируемой величины от установившегося значения не будет превышать некоторого заданного значения Δ . Принимается, что $\Delta=0.05 y(\infty)$.

б) Для колебательных переходных процессов определить период колебаний T , число колебаний за время регулирования t_p .

Варианты заданий

Вариант	Коэффициент усиления K	Постоянная времени T	Постоянная времени T_1	Постоянная времени T_2
1	1.8	0.9	1	3
2	2.7	10	2.6	2
3	0.6	5.6	5.7	9
4	1.5	2	2.7	3.5
5	5	3	2.6	4.5
6	15	10	2	0.9
7	0.6	5	5	9
8	3	6.4	10.3	20

Задание

Путем изменения параметров блоков добиться меньшего значения динамической ошибки A_1 по сравнению с аналогичной характеристикой, полученной для исходного переходного процесса.

Содержание отчета

1. Цель работы;
2. Исходные данные (по варианту);
3. Описание выполнения работы;
4. Выводы.

3. ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОКОНТУРНОЙ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ С П- И ПИ-РЕГУЛЯТОРОМ

Цели работы: исследование динамики работы одноконтурной системы автоматического регулирования с П- и ПИ-регулятором. Оценка влияния настроек параметров регулятора на переходный процесс системы автоматического регулирования (САР).

Порядок выполнения работы

1. Моделирование САР

В программе МВТУ смоделировать САР, структурная схема которой приведена на рисунке 5.

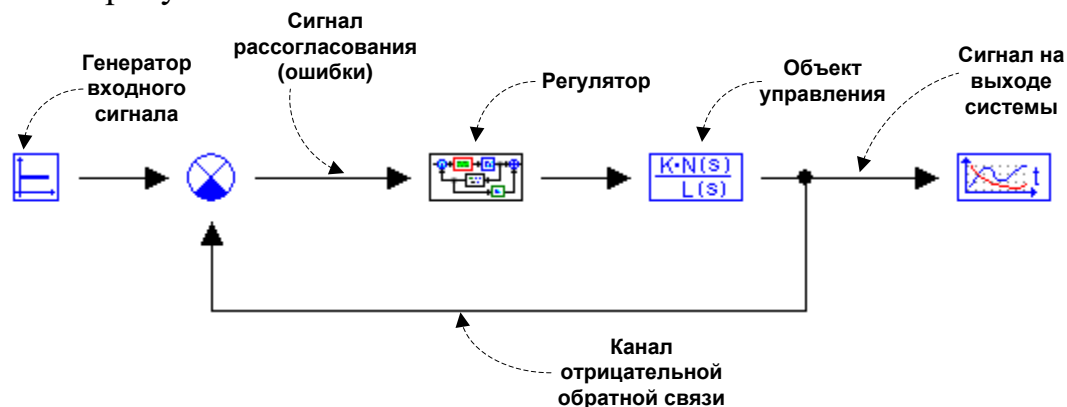


Рисунок 5 – Структурная схема одноконтурной САР

1.1 Задание объекта управления

Для задания в программе МВТУ объекта управления необходимо поместить на рабочую область **звено общего вида** (вкладка «Динамические»). Передаточная функция этого звена имеет следующий общий вид:

$$W(p) = \frac{b_0 + b_1p + b_2p^2 + \dots + b_m p^m}{a_0 + a_1p + a_2p^2 + \dots + a_n p^n} \quad (1)$$

В соответствии с выражением (1) и вариантом исходных данных необходимо задать коэффициенты передаточной функции объекта управления. Коэффициенты b_j , a_j вводятся через пробел по **возрастающим степеням p** .


1.2 Задание регулятора

Для ввода в моделируемую САР блока «Регулятор» необходимо поместить на рабочую область **Макроблок** (вкладка «Субструктуры»). Двойной щелчок мыши по данному блоку открывает его содержимое. Внутри Макроблока необходимо собрать схему пропорционального регулятора (П-

регулятора) (рисунок 6), реализующего пропорциональный закон регулирования.



Рисунок 6 – Макроблок «П-регулятор»

Для задания входа и выхода Макроблока необходимо использовать блоки **Порт входа** и **Порт выхода** (вкладка «Субструктуры»). Для выхода из режима редактирования Макроблока необходимо нажать на кнопку  на панели управления рабочей области.

2. Получение графика переходного процесса САР с П-регулятором

После создания в программе структурной схемы САР с заданными параметрами объекта управления и П-регулятором необходимо получить график переходного процесса САР. При этом необходимо оставить настройки П-регулятора по умолчанию (т.е. коэффициент передачи П-регулятора равен 1).

3. Расчет оценок качества для переходного процесса САР с П-регулятором

Определить по полученному графику следующие характеристики (см. лабораторную работу № 2).

4. Изменение закона регулирования

Следующий этап работы заключается в изменении закона регулирования с пропорционального на пропорционально-интегральный путем добавления в структуру регулятора интегральной составляющей (рисунок 7).

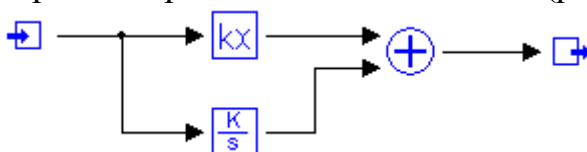


Рисунок 7 – Макроблок «ПИ-регулятор»

Примечание. Для правильной работы ПИ-регулятора необходимо установить все весовые множители блока «Сумматор» равными 1.

5. Получение графика переходного процесса САР с ПИ-регулятором

После внесенных в структурную схему изменений необходимо получить график переходного процесса САР. При этом необходимо оставить настройки ПИ-регулятора по умолчанию.

6. Расчет оценок качества для переходного процесса САР с ПИ-регулятором

Оценить качество полученного переходного процесса по аналогии с п .3.

Примечание. В случае неустойчивого переходного процесса определение прямых оценок качества не имеет смысла.

7. Улучшение качества переходной характеристики САР с ПИ-регулятором

Путем изменения настроек ПИ-регулятора добиться улучшения качества переходного процесса САР.

Возможны два варианта:

1. Полученный на предыдущем этапе работы переходный процесс является неустойчивым. В этом случае достаточно добиться устойчивости переходного процесса.
2. Полученный на предыдущем этапе работы переходный процесс является устойчивым. В этом случае необходимо добиться улучшения оценок качества.

8. Расчет оценок качества для улучшенного переходного процесса САР с ПИ-регулятором

Оценить качество полученного переходного процесса по аналогии с п .3

Варианты заданий

№ варианта	b_0	b_1	a_0	a_1	a_2
1	1	0	1	20	100
2	10	20	10	6	40
3	60	20	74	30	225
4	10.3	3.5	9	2	63
5	2	1.3	1	0.3	1
6	2	0.5	1	0.6	3
7	17	3.8	80	60	900
8	5.3	10	12	30	98

Содержание отчета

- 1) Цель работы;
- 2) Исходные данные;

- 3) Порядок выполнения работы (включая рисунки структурных схем моделируемой САР, П-, ПИ-регуляторов, а также графики полученных переходных процессов)
- 4) Расчет оценок качества (п. 3, 6, 8). Полученные значения оценок качества свести в таблицу (см. таблицу 1).

Таблица 1 – Оценки качества переходных процессов исследуемой САР

№ п/п	Оценка качества	САР с П-регулированием (настройки по умолчанию)	САР с ПИ-регулирование (настройки по умолчанию)	САР с ПИ-регулирование (ручная настройка параметров)
1	Динамическая ошибка A_1			
2	Перерегулирование σ			
3			

- 5) Анализ полученных результатов.

4. ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОКОНТУРНОЙ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ С ПИ- И ПИД-РЕГУЛЯТОРОМ

Цели работы: исследование динамики работы одноконтурной системы автоматического регулирования с ПИ- и ПИД-регулятором. Оценка влияния настроек параметров регулятора на переходный процесс САР.

Порядок выполнения работы

1. Моделирование САР

В программе МВТУ смоделировать САР с ПИ-регулятором, структурная схема которой приведена на рисунке 1. Согласно варианту исходных данных (см. Лабораторную работу № 3) задать параметры объекта управления.

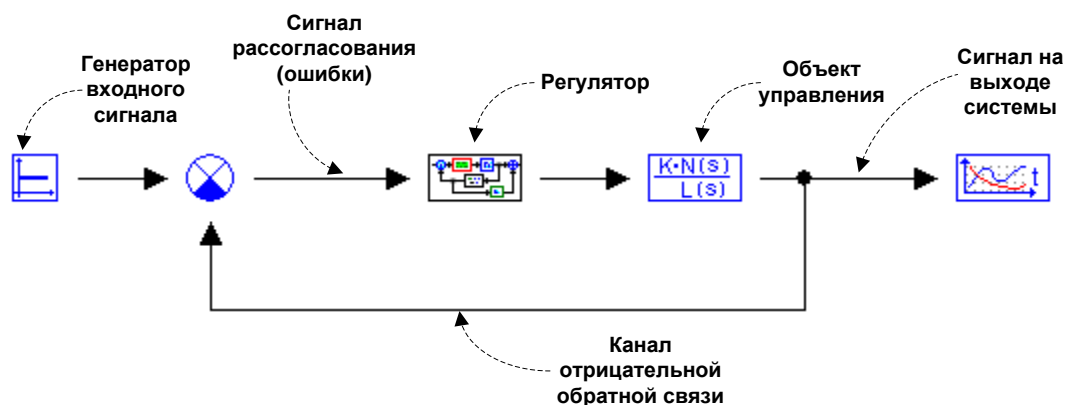


Рисунок 8 – Структурная схема одноконтурной САР

2. Получение графика переходного процесса САР с ПИ-регулятором

После создания в системе МВТУ структурной схемы САР с заданными параметрами объекта управления и ПИ-регулятором необходимо получить график переходного процесса САР. При этом нужно добиться устойчивого переходного процесса путем изменения параметров настройки ПИ-регулятора.

3. Расчет оценок качества для переходного процесса САР с ПИ-регулятором

По полученному графику переходного процесса определить следующие характеристики (см. лабораторную работу № 2).

4. Получение переходного процесса САР с ПИ-регулятором при воздействии на объект управления возмущений

Подать на вход объекта управления равномерный шум (вкладка «Источники»).

После этого необходимо получить график переходного процесса САР.

5. Изменение закона регулирования

Следующий этап работы заключается в изменении закона регулирования с пропорционально-интегрального на пропорционально-интегрально-дифференциальный путем добавления в структуру ПИ-регулятора дифференциальной составляющей (дифференциатора).

Таким образом, подключая дифференциатор параллельно к существующему ПИ-регулятору, меняется закон управления. Следовательно, регулятор становится ПИД-регулятором и функционирует по ПИД-закону.

6. Получение графика переходного процесса САР с ПИД-регулятором при воздействии на объект управления возмущений

После внесенных в структуру регулятора изменений необходимо получить график переходного процесса САР.

7. Расчет оценок качества для переходного процесса САР с ПИД-регулятором

Оценить качество полученного переходного процесса по аналогии с п .3.

8. Получение графика переходного процесса САР с ПИД-регулятором при отсутствии внешних возмущений

На следующем этапе работы следует снять внешние возмущающие воздействия на объект управления путем удаления из схемы блока генератора равномерного шума (или установления соответствующего весового коэффициента сумматора равным нулю). После этого необходимо получить график переходного процесса САР.

9. Расчет оценок качества для переходного процесса САР с ПИД-регулятором

Оценить качество полученного переходного процесса по аналогии с п .3.

Содержание отчета

- 1) Цель работы;
- 2) Исходные данные;

- 3) Порядок выполнения работы (включая рисунки структурных схем моделируемой САР, ПИ-, ПИД-регуляторов, а также графики полученных переходных процессов)
- 4) Расчет оценок качества (п. 3, 7, 9). Полученные значения оценок качества свести в таблицу (см. таблицу).

Таблица 1 – Оценки качества переходных процессов исследуемой САР

№ п/п	Оценка качества	САР с П-регулированием (настройки по умолчанию)	САР с ПИ-регулирование (настройки по умолчанию)	САР с ПИ-регулирование (ручная настройка параметров)
1	Динамическая ошибка A_1			
2	Перерегулирование σ			
3			

- 5) Анализ полученных результатов.

5. ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОКОНТУРНОЙ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ С ПИ-РЕГУЛЯТОРОМ В УСЛОВИЯХ ВОЗМУЩАЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ОБЪЕКТ РЕГУЛИРОВАНИЯ

Цели работы: исследование динамики работы одноконтурной системы автоматического регулирования с ПИ-регулятором для различных видов возмущающих воздействий.

Порядок выполнения работы

1. В программе МВТУ смоделировать САР с ПИ-регулятором, структурная схема которой приведена на рисунке 9. Согласно варианту исходных данных задать параметры объекта управления.

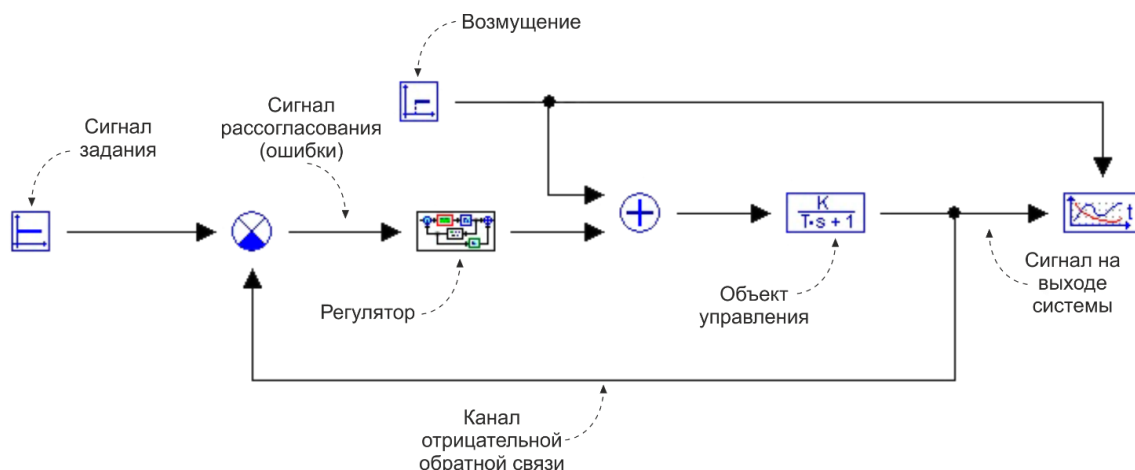


Рисунок 9 – Структурная схема одноконтурной САР

2. Получение графика переходного процесса и настройка системы

2.1. После создания в системе МВТУ структурной схемы САР с заданными параметрами объекта управления и ПИ-регулятором необходимо получить график переходного процесса в САР при заданном возмущающем воздействии.

2.2. Путем изменения параметров настройки регулятора добиться снижения времени регулирования.

3. Построение графиков переходных процессов при различных возмущающих воздействиях

Повторить указания п. 2 последовательно для генераторов возмущающих воздействия:

- «ступенька» (вывести график возмущающего воздействия на плоскость построения переходного процесса);
- «нормальный шум» (вывести график отдельно);
- «блок с кусочно-линейной характеристикой» (вывести график отдельно).

3. Расчет оценок качества для переходного процесса САР с ПИ-регулятором *отдельно* по каналу задания и каналу возмущения

По полученному графику переходного процесса определить следующие характеристики (см. лабораторную работу № 2).

Варианты заданий

№ вар.	Параметры объекта		Параметры регулятора		Параметры возмущения «Ступенька»	Дисперсия нормального шума	Блок с кусочно-линейной характеристикой (10#10)
	k	T	$k_{\text{П}}$	$k_{\text{И}}$			
					30 0 1,5	0,8	0 0 0 10 -5 1 5 10 -1 -10
1	1	10	1,5	5,0	40 0 1,6	1,0	0 0 0 8 -4 1 5 10 -1 -10
2	1	12	2,5	6,0	35 0 1,4	0,9	0 0 0 12 -1 1 7 8 -2 -10
3	2	14	1,7	5,5	50 0 1,5	0,7	0 0 0 15 -3 1 9 10 -2 -10
4	2	10	1,9	4,8	60 0 2,0	1,1	0 0 0 10 -5 1 5 10 -1 -10
5	1	15	2,2	6,3	55 0 1,6	0,8	0 0 0 8 -4 1 5 10 -1 -10
6	2	20	2,3	6,5	80 0 1,5	0,9	0 0 0 12 -1 1 7 8 -2 -10
7	2	16	2,5	7,0	55 0 1,7	1,0	0 0 0 15 -3 1 9 10 -2 -10
8	2	18	3,0	7,2	70 0 1,4	1,2	0 0 0 10 -5 1 5 10 -1 -10
9	1	12	4,5	8,0	60 0 1,3	0,7	0 0 0 8 -4 1 5 10 -1 -10
10	1	18	5,0	10,5	65 0 1,5	0,9	0 0 0 12 -1 1 7 8 -2 -10

Содержание отчета

- 1) Цель работы;
- 2) Исходные данные;
- 3) Порядок выполнения работы (включая рисунки структурных схем САР с различными типами возмущающих воздействий, ПИ-регулятора, а также графики полученных переходных процессов)
- 4) Расчет прямых оценок качества. Полученные значения оценок качества свести в таблицу.
- 5) Анализ полученных результатов.

6. ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА В СИСТЕМЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Цели работы: освоение методов коррекции и повышения качества переходного процесса в системах автоматического регулирования.

Порядок выполнения работы

1. Моделирование нескорректированной системы

Пусть задан объект управления, охваченный отрицательной обратной связью (рисунок 10). К входу системы приложено задающее воздействие $s(t)=1(t)$.



Рисунок 10 – Структурная схема нескорректированной системы

В программе МВТУ смоделировать данную замкнутую систему, согласно варианту исходных данных.

Обеспечить регистрацию переходного процесса, а также сигнала рассогласования.

2. Расчет оценок качества для переходного процесса нескорректированной системы

По полученному графику переходной характеристики определить прямые оценки качества (см. Лабораторную работу № 2).

3. Повышение качества переходного процесса

Для смоделированной системы требуется улучшить качество переходного процесса на основе навыков, полученных в предыдущих лабораторных работах. Необходимо скорректировать систему таким образом, чтобы прямые оценки качества удовлетворяли требованиям, приведенным в таблице 1.

Обеспечить регистрацию переходного процесса, а также сигнала рассогласования в скорректированной системе.

4. Расчет оценок качества для переходного процесса скорректированной системы

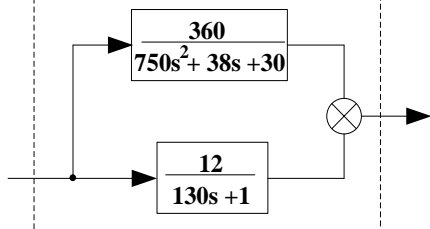
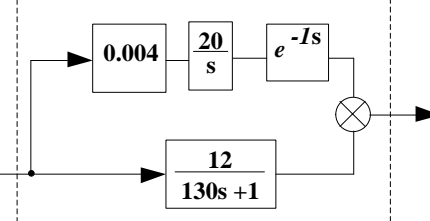
По полученному графику переходной характеристики определить прямые оценки качества

5. Вывод передаточной функции объекта управления

Согласно варианту исходных данных, вывести общее выражение для эквивалентной передаточной функции объекта управления $W_{oy}(s)$.

Варианты заданий

№ варианта	Объект управления	Требования к качеству переходного процесса
1		$\varepsilon_{cr} \leq 0,05$ $A_1 \leq 0,3$ $t_p \leq 7$ с
2		$\varepsilon_{cr} \leq 0,05$ $A_1 \leq 0,3$ $t_p \leq 5$ с
3		$\varepsilon_{cr} \leq 0,05$ $A_1 \leq 0,3$ $t_p \leq 15$ с
4		$\varepsilon_{cr} \leq 0,05$ $A_1 \leq 0,2$ $t_p \leq 15$ с
5		$\varepsilon_{cr} \leq 0,05$ $A_1 \leq 0,5$ $t_p \leq 50$ с
6		$\varepsilon_{cr} \leq 0,05$ $A_1 \leq 0,3$ $t_p \leq 15$ с

7		$\varepsilon_{ст} \leq 0,05$ $A_1 \leq 0,4$ $t_p \leq 40 \text{ с}$
8		$\varepsilon_{ст} \leq 0,05$ $A_1 \leq 0,5$ $t_p \leq 15 \text{ с}$

Содержание отчета

- 1) Цель работы;
- 2) Исходные данные;
- 3) Порядок выполнения работы;
- 4) Расчет оценок качества (п. 2, 4).
- 5) Выводы.

7. ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЗВЕНЬЕВ

Цели работы: экспериментальное определение частотных характеристик замкнутой и разомкнутой систем регулирования.

Порядок выполнения работы

1. Моделирование САР

В программе МВТУ смоделировать разомкнутую систему (рис. 11). Параметры системы взять в соответствии с таблицей исходных данных.

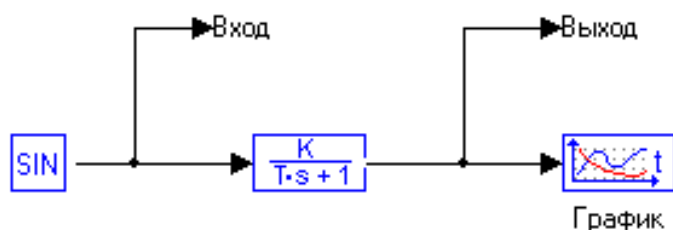


Рисунок 11 – Структурная схема исследуемой разомкнутой системы

Для создания портов «Вход» и «Выход» следует взять блок «В память» ($\Rightarrow V$) и поместить два таких блока на вход и выход системы (как показано на рис. 1). Вызвать окно редактирования названия блока двойным щелчком и назвать блоки, соответственно, «Вход» и «Выход».

2. Получение графиков частотных характеристик системы

После создания в системе МВТУ структурной схемы САР с заданными параметрами необходимо получить графики частотных характеристик. Для этого выполнить команду «Анализ» → «Частотный анализ». Появится диалоговое окно вида (рис. 12).

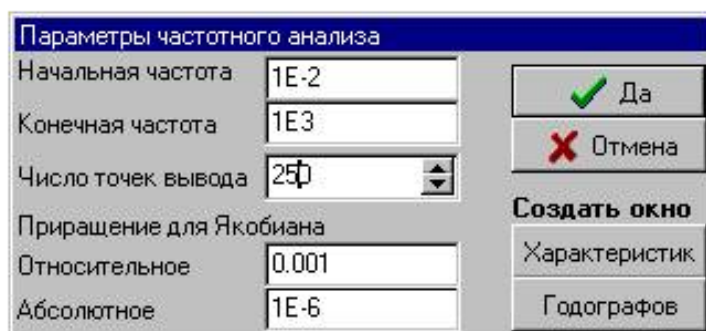


Рисунок 12 – Диалоговое окно параметров частотного анализа

1. В диалоговом окне Параметры частотного анализа параметрами «Начальная частота» (10^{-2}) и «Конечная частота» (10^3) задаются границы частотного диапазона (в рад/с), а параметром «Число точек вывода» – количество расчетных точек, равномерно распределенных (в логарифмическом масштабе) внутри частотного диапазона.
2. Значения параметров полей Приращения для Якобиана используются в расчете АФЧХ при автоматической линеаризации САР, а в чисто линейных системах расчет частотных характеристик не использует данных по относительным и абсолютным приращениям для Якобиана. В лабораторной работе рекомендуется использовать эти параметры "по умолчанию".
3. Переместите курсор на кнопку «Характеристик» и выполните щелчок левой клавишей "мыши": создается графическое окно с заголовком «Частотные характеристики» и также изменится форма диалогового окна Параметры частотного анализа (см. рис. 13). Нажмите в этом диалоговом окне курсор на крайнюю левую кнопку (с символом " + "): в таблице появится новая строка с номером 1.
4. Переместите курсор на ячейку «Входы» строки, выполните щелчок левой клавишей "мыши", нажмите на появившуюся в этой ячейке таблицы специальную кнопку и из списка переменных выберите «Вход». В столбце «Выходы» выберите «Выход». В столбце «Характеристика» выберите «Вещественная».
5. Нажмите кнопку «Расчет».

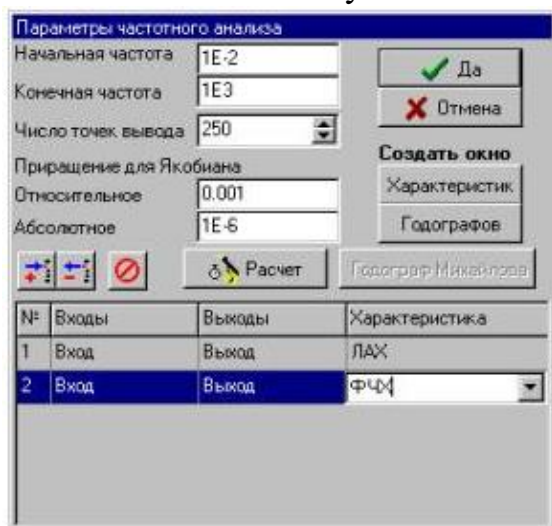


Рисунок 13

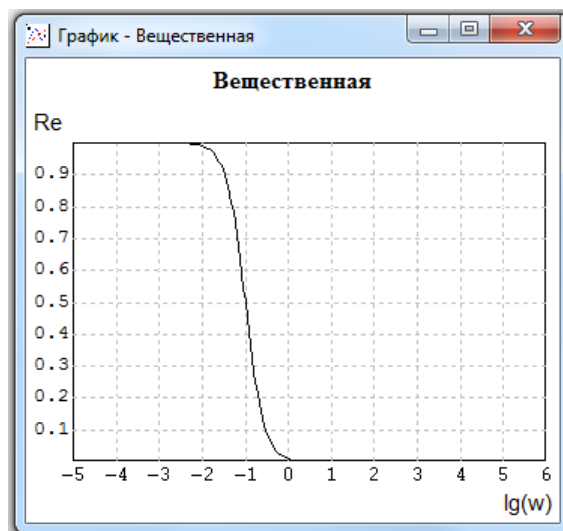


Рисунок 14

6. Рассчитанная ВЧХ будет выведена на графике (рис. 14).
7. Рассчитать аналогично последовательно ВЧХ, МЧХ, АЧХ, ФЧХ. При необходимости самостоятельно подобрать значения начальной и конечной частоты.

8. Преобразовать схему таким образом, чтобы получилась замкнутая система (рис. 15).

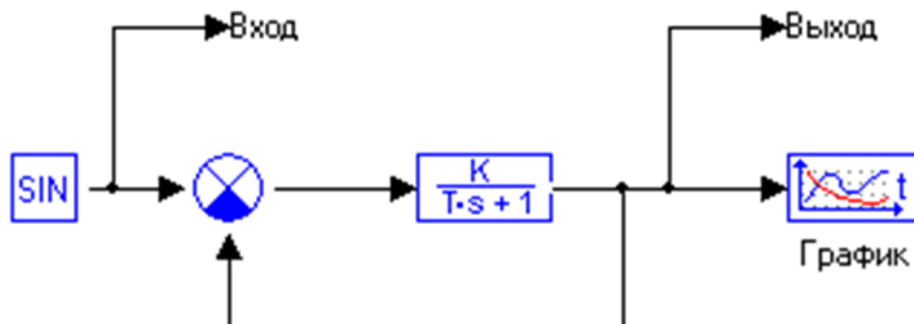


Рисунок 15 – Структурная схема исследуемой замкнутой системы

9. Повторить расчет частотных характеристик.

3. Расчет амплитудно-фазовой частотной характеристики «вручную»

1. Получить аналитическое выражение для амплитудно-фазовой частотной характеристики.
2. Выполнить расчет значений АФЧХ (с использованием пакетов Mathcad, MS Excel или др.).
3. Построить график АФЧХ.

Варианты заданий

№ варианта	Передаточная функция системы 1	Передаточная функция системы 2
1	$W_{oy}(s) = \frac{1}{10s + 1}$	$W_{oy}(s) = \frac{2}{80s^2 + 10s + 1}$
2	$W_{oy}(s) = \frac{1,5}{20s + 1}$	$W_{oy}(s) = \frac{1}{25s^2 + 10s + 1}$
3	$W_{oy}(s) = \frac{1,8}{80s + 1}$	$W_{oy}(s) = \frac{1}{225s^2 + 30s + 1}$
4	$W_{oy}(s) = \frac{2}{100s + 1}$	$W_{oy}(s) = \frac{0,86}{450s^2 + 40s + 1}$
5	$W_{oy}(s) = \frac{1}{90s + 1}$	$W_{oy}(s) = \frac{1,23}{900s^2 + 60s + 1}$
6	$W_{oy}(s) = \frac{1,3}{80s + 1}$	$W_{oy}(s) = \frac{1}{25s^2 + 10s + 1}$
7	$W_{oy}(s) = \frac{1,1}{25s + 1}$	$W_{oy}(s) = \frac{1}{100s^2 + 20s + 1}$
8	$W_{oy}(s) = \frac{1,7}{100s + 1}$	$W_{oy}(s) = \frac{2}{180s^2 + 65s + 10}$

Содержание отчета

- 1) Цель работы;
- 2) Исходные данные;
- 3) Порядок выполнения работы (включая рисунки структурных схем САР, графики полученных частотных характеристик);
- 4) Пошаговый расчет АФЧХ «вручную», график полученной АФЧХ;
- 5) Вывод.

8. ВЛИЯНИЕ ВНЕШНИХ ВОЗМУЩАЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В ОДНОКОНТУРНОЙ САР С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ

Цели работы: исследование динамики работы одноконтурной САР с запаздыванием с ПИ-регулятором при наличии воздействия внешних возмущений на объект управления.

Порядок выполнения работы

1. Моделирование САР

В программе МВТУ смоделировать одноконтурную систему автоматического регулирования с ПИ-регулятором. Параметры ПИ-регулятора и объекта управления см. в таблице 1.

Примечание. Объект управления с запаздыванием задается в виде последовательного соединения звена общего вида и звена запаздывания (вкладка «Динамические») (рисунок 16).

Объект управления с передаточной функцией

$$W(s) = W_1(s) \cdot e^{-s\tau}$$

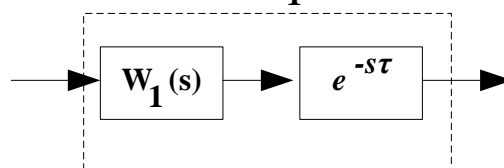


Рисунок 16 – Структурная схема объекта управления с запаздыванием

2. Получение графика переходной характеристики САР с ПИ-регулятором

После создания в системе МВТУ структурной схемы САР с заданными параметрами объекта управления и ПИ-регулятором необходимо получить график переходной характеристики САР.

3. Расчет оценок качества для переходной характеристики САР с ПИ-регулятором

По полученному графику переходной характеристики определить прямые оценки качества (см. Лабораторную работу № 2).

4. Получение графика переходной характеристики САР с ПИ-регулятором при воздействии на объект управления помехи

1. Пусть в момент времени $t=t_{\text{возм}}$ на вход объекта управления поступает ступенчатое возмущение. Для реализации этого условия необходимо по-

дать на вход объекта управления помеху в виде ступенчатого сигнала (блок «Ступенька», вкладка «Источники»). Задать параметры блока «Ступенька» согласно варианту исходных данных.

2. Следующим шагом работы является получение графиков нескольких зависимостей в одной плоскости. Для этого необходимо увеличить число входов у блока «Временной график» следующим образом – правой клавишей мыши щелкнуть на блок, открыть окно «Свойства», установить число входов, равным 3.

3. После принятых изменений в блоке «Временной график» останутся незадействованными 2 входа.

На один из оставшихся входов подать сигнал задания.

На другой вход подать сигнал ступенчатого возмущения, действующего на объект управления.

4. Таким образом, в одной плоскости будут изображены:

- кривая переходной характеристики;
- зависимость сигнала задания от времени;
- зависимость сигнала помехи от времени.

Полученный график сохранить.

5. Получение графика переходной характеристики САР с ПИ-регулятором при воздействии на объект управления высокочастотной помехи

Пусть в момент времени $t=t_{\text{возм}}$ на вход объекта управления поступает **высокочастотная помеха** (блок «Равномерный шум», вкладка «Источники»). Звено запаздывания (рисунок 17) служит для подачи на вход объекта высокочастотной помехи не ранее момента времени $\tau = t_{\text{возм}}$.

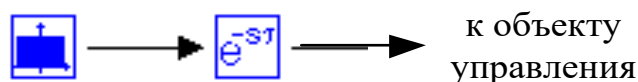


Рисунок 17 – Структурная схема реализации воздействия на объект управления высокочастотной помехи

Параметры блока «Равномерный шум» см. в таблице Исходных данных.

После внесенных изменений получить в одной плоскости следующие зависимости:

- кривая переходной характеристики;
- зависимость сигнала задания от времени;
- зависимость сигнала высокочастотной помехи от времени.

Полученный график сохранить.

6. Получение графика переходной характеристики САР с ПИ-регулятором при воздействии на объект управления ступенчатой помехи

Подать на объект возмущающее воздействие в виде ступенчатой функции в момент времени $t_{\text{возм}}$.

После внесенных изменений получить в одной плоскости следующие зависимости:

- кривая переходной характеристики;
- зависимость сигнала возмущения от времени;

Полученный график сохранить.

Варианты заданий

№ варианта	Передаточная функция ПИ-регулятора	Передаточная функция объекта управления	$t_{\text{возм}}$, с	Величина возмущения	Параметры высокочастотного возмущения
1	$W_p(s) = 1.57 + \frac{0.027}{s}$	$W_{oy}(s) = \frac{2}{70s + 1} \cdot e^{-12\tau}$	200	2	$Y_{\min}=0.3$ $Y_{\max}=0.8$ Период квантования=1
2	$W_p(s) = 0.593 + \frac{0.0878}{s}$	$W_{oy}(s) = \frac{1}{25s^2 + 10s + 1} \cdot e^{-5\tau}$	100	1.8	$Y_{\min}=0.8$ $Y_{\max}=1.5$ Период квантования=1
3	$W_p(s) = 1.9 + \frac{0.076}{s}$	$W_{oy}(s) = \frac{1}{225s^2 + 30s + 1} \cdot e^{-8\tau}$	300	1.5	$Y_{\min}=0.1$ $Y_{\max}=1.3$ Период квантования=1
4	$W_p(s) = 1.2 + \frac{0.04}{s}$	$W_{oy}(s) = \frac{0.86}{450s^2 + 40s + 1} \cdot e^{-10\tau}$	230	4.3	$Y_{\min}=0$ $Y_{\max}=1.3$ Период квантования=1
5	$W_p(s) = 1.523 + \frac{0.0345}{s}$	$W_{oy}(s) = \frac{1.23}{900s^2 + 60s + 1} \cdot e^{-10\tau}$	300	3.8	$Y_{\min}=0.5$ $Y_{\max}=2$ Период квантования=1
6	$W_p(s) = 0.7 + \frac{0.0723}{s}$	$W_{oy}(s) = \frac{1}{25s^2 + 10s + 1} \cdot e^{-9\tau}$	230	2.2	$Y_{\min}=0.8$ $Y_{\max}=1.3$ Период квантования=1
7	$W_p(s) = 2 + \frac{0.04}{s}$	$W_{oy}(s) = \frac{1}{100s^2 + 20s + 1} \cdot e^{-6\tau}$	180	2.3	$Y_{\min}=0$ $Y_{\max}=0.5$ Период квантования=1
8	$W_p(s) = 4 + \frac{0.16}{s}$	$W_{oy}(s) = \frac{2}{180s^2 + 65s + 10} \cdot e^{-15\tau}$	250	2.8	$Y_{\min}=1$ $Y_{\max}=1.5$ Период квантования=2

Содержание отчета

- 1) Цель работы;
- 2) Исходные данные;
- 3) Порядок выполнения работы (включая рисунки структурных схем САР, ПИ-регулятора, графики полученных зависимостей)
- 4) Расчет оценок качества (п. 3).
- 5) Анализ полученных результатов.

9. ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ ВО ВРЕМЕННОЙ ОБЛАСТИ И В ПЛОСКОСТИ КОРНЕЙ ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ

Цели работы: установить взаимосвязь между характером расположения корней характеристического уравнения и устойчивостью АСР, ее качеством (быстродействием, степенью затухания переходных процессов).

Порядок выполнения работы

1. Определение переходных характеристик

1. Смоделировать исследуемую систему в программе МВТУ (рис. 17).

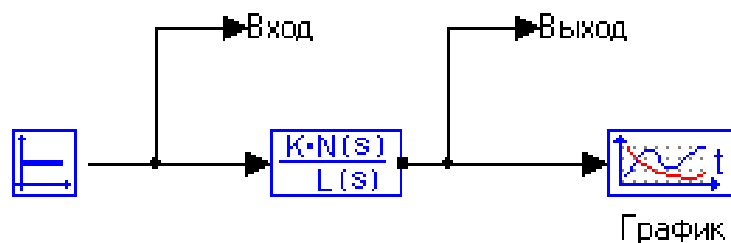


Рисунок 17 – Моделирование системы в программе МВТУ

Для обозначения «Вход» и «Выход» использовать команду «В память» (см. Лабораторную работу № 7).

2. Задать параметры передаточной функции в соответствии с Вариантами исходных данных:

$$W(P) = \frac{K}{\sum_{i=1}^n a_i \cdot P^i + a_0}, \quad K=1.$$

Построить переходную характеристику системы.

2. Определение корней характеристического уравнения

2.1. Для этого, нажав на клавишу «Анализ», в выпадающем меню выбрать «Передаточные функции». В появившемся окне (рис. 18) нажать на красную стрелку, направленную справа налево. В результате активируется строка № 1, которую заполняем, как показано на рис. 18.

2.2. При нажатии кнопки «Расчет» появляется окно с результатом расчета – рис. 19.

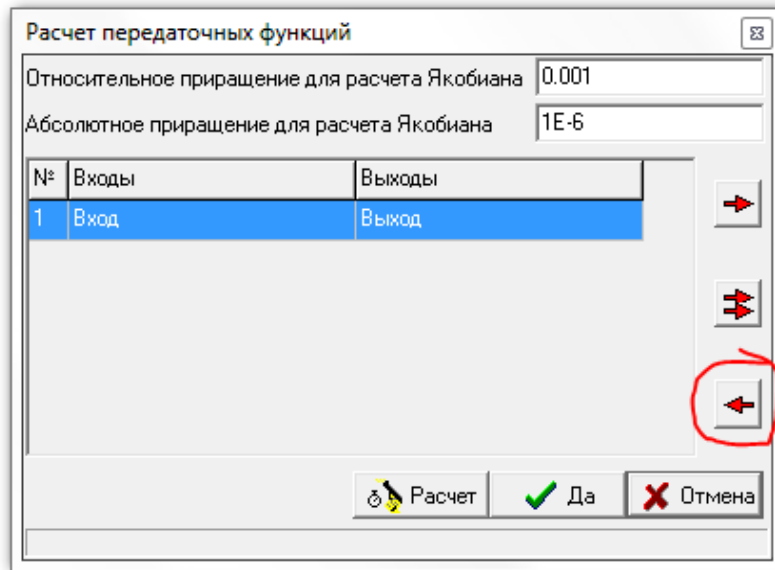


Рисунок 18 – Окно расчета корней характеристического уравнения

Результаты расчета параметров передаточных функций

ПЕРЕДАТОЧНЫЕ ФУНКЦИИ

Степень	Знаменатель	Числители (Вход - Выход)
s	L[s]	Вход-Выход
0	1	-0.997
1	999	
2	999.1	
3	0.999	

ПОЛЮСЫ и НУЛИ

Номер	Полюсы	Нули (Вход - Выход)
№	Re+ <i>j</i> Im	Вход-Выход
1	-0.001002	
2	-0.9999	
3	-999.1	

Рисунок 19 – Результат расчета корней характеристического уравнения

2.3. Зафиксировать полученный результат, с помощью пакета MS Excel сформировать картину расположения корней на комплексной плоскости.

3. Расчет оценок качества для переходной характеристики САР с ПИ-регулятором

Для каждой системы по полученному графику переходной характеристики определить прямые оценки качества (см. Лабораторную работу № 2).

4. Выводы

По результатам выполненной работы сделать выводы:

- о связи между характером расположения корней характеристического уравнения в комплексной плоскости и устойчивостью системы;
- о связи между расположением корней в комплексной плоскости и быстродействием системы;
- о связи между расположением корней характеристического уравнения в комплексной плоскости и степенью затухания переходных процессов для устойчивых систем.

Варианты заданий

№ варианта	N	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4
1	2	104	481	9615	—	—
	3	8.25	28.8	75	62.5	—
	4	8.42	-26.08	39.95	39.95	24.51
2	2	57	431	4310	—	—
	3	5.63	11.3	252	62.5	—
	4	10	59	328	1285	8790
3	2	9	90	300	—	—
	3	1.167	-8.33	-62.5	-208.3	—
	4	11	53	162	292	208
4	2	114	1724	34460	—	—
	3	12	-950	1270	25840	—
	4	4	16	80	160	150
5	2	1	20	100	—	—
	3	2.54	59.9	520	1200	—
	4	1.167	-8.33	36.9	-200	2000
6	2	1	30	9900	—	—
	3	3	-15	500	1200	—
	4	2.5	25	250	250	250
7	2	28	123	853	—	—
	3	2	0	280	3800	—
	4	31	82	305	583	420
8	2	1	0	1	—	—
	3	14	80	170	500	—
	4	1	-20	100	2000	6800

Содержание отчета

- 1) Цель работы;
- 2) Исходные данные;

- 3) Порядок выполнения работы (включая рисунки структурной схемы САР, графики полученных зависимостей, картины расположения корней характеристического уравнения). Результаты расчета корней и определения переходных характеристик сгруппировать по системам;
- 4) Расчет оценок качества (п. 3).
- 5) Анализ полученных результатов, выводы.

10. ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ ЧАСТОТНОГО КРИТЕРИЯ МИХАЙЛОВА

Цели работы: изучить критерий Михайлова, получить практические навыки их применения при машинной реализации на ЭВМ и наглядного представления.

Порядок выполнения работы

1. Определение переходных характеристик

1. Смоделировать исследуемую систему в программе МВТУ (рис. 20).

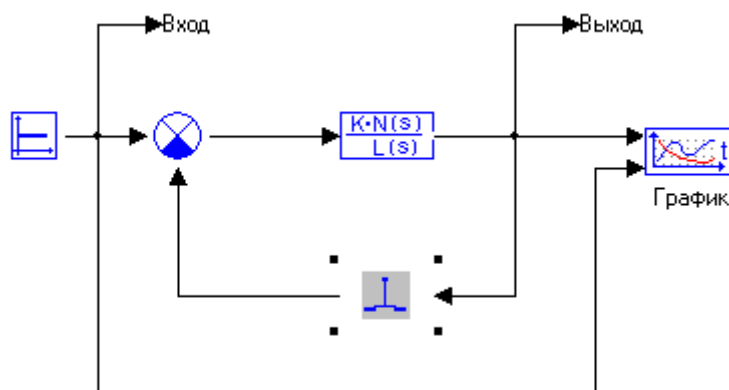


Рисунок 20 – Структурная схема системы

Для удобства замыкания-размыкания отрицательной обратной связи в ее цепь установлен ключ (Панель «Ключи»), который «двойным кликом мыши» переходит из замкнутого в разомкнутое состояние и наоборот.

2. Построение годографа Михайлова

Для этого после размыкания ОС и выполнения расчета во временной области, нажать кнопку «Анализ», в выпадающем меню выбрать «Частотный анализ». В появившемся окне задать диапазон изменения частоты (начальная частота – 10^{-5} с^{-1}) и число точек (200 точек), нажать кнопку «Годографов», затем – кнопку «Годограф Михайлова». В окне годографов появится кривая. Необходимо с помощью окна графика «Свойства» уменьшить масштаб по вертикальной и горизонтальной оси до той величины, когда положение годографа в окрестности начала координат будет подробно просматриваться.

По характеру годографа сделать вывод об устойчивости системы.

3. Задание на работу

Построить годограф Михайлова для замкнутой и разомкнутой систем, построить переходные процессы. Определить устойчивость замкнутой и разомкнутой систем.

Варианты заданий

№ варианта	N	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	ω_K, c^{-1}
1	5	1	16	80	160	150	200	1
2	4	4	16	80	160	200	—	1
3	5	2	18	82	180	155	202	1
4	5	10	52	170	280	290	208	1
5	5	1	5	15	30	36	37	1
6	5	1	5	15	30	40	100	1
7	5	2	5	15	25	25	12	2
8	5	1	6	20	40	55	42	1

Содержание отчета

- 1) Цель работы;
- 2) Исходные данные;
- 3) Порядок выполнения работы (включая рисунки структурной схемы САР, график полученных переходных характеристик и годографов для замкнутой и разомкнутой систем);
- 4) Расчет оценок качества для устойчивых систем.
- 5) Анализ полученных результатов, выводы.

11. МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА НАГРЕВАНИЯ (ТЕРМОРЕГУЛЯТОР)

Цели работы: разработать математическую модель реального нагревателя, выполнить моделирование системы управления на основе двухпозиционного реле, проанализировать свойства модели.

Порядок выполнения работы

1. Вывод дифференциального уравнения, описывающего процесс нагрева объекта

1. Из соотношений теплового баланса следует, что изменение внутреннего тепла в нагревателе $dQ/d\theta$ равно разности между подводимым теплом $dQ^+/d\theta$ и теплом, отдаваемым в окружающее пространство $dQ^-/d\theta$, тогда:

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{dQ^+}{dt} - \frac{dQ^-}{dt}. \quad (1)$$

2. Из теплотехники известно, что изменение количества тепла, содержащегося в веществе (теле) dQ пропорционально изменению его температуры $d\theta$:

$$dQ = c \cdot m \cdot d\theta, \quad (2)$$

где m – масса нагревателя, кг; c – удельная теплоемкость нагревателя, Дж/(кг·°C).

3. Количество тепла, отдаваемое в окружающее пространство за единицу времени пропорционально разности между температурой тела и температурой окружающей среды θ_{oc} :

$$\frac{dQ^-}{dt} = k(\theta - \theta_{oc}), \quad (3)$$

где k – коэффициент пропорциональности.

Тогда, учитывая (2), (3), а также, что подводимое в единицу времени тепло есть подводимая мощность N , соотношение (1) для режима нагрева представим в виде:

$$c \cdot m \frac{dQ}{dt} = N \cdot u(\theta) - k(\theta - \theta_{oc}) \quad (4)$$

или

$$\frac{cm}{k} \cdot \frac{d\theta}{dt} + \theta = \frac{N}{k} \cdot u(\theta) + \theta_{oc}, \quad (5)$$

где $T=c \cdot m/k$ – постоянная времени нагревателя, с; $u(\theta)$ – управляющая функция, отражающая включение и выключение нагревателя в зависимости от его температуры θ :

$$u = \begin{cases} 1, & \text{для режима нагревания,} \\ 0, & \text{для режима охлаждения.} \end{cases} \quad (6)$$

В уравнениях (3) и (4) неизвестна величина коэффициента пропорциональности k , который учитывает большое число факторов, влияющих на процесс теплообмена тела с окружающей средой при остывании. Это и конвективный теплообмен, и инфракрасное излучение и многое др. Учесть все эти факторы достаточно сложно, поэтому обычно используются экспериментальные данные.

Принимая коэффициент k постоянным и одинаковым для режимов нагрева и охлаждения, его определяют из следующих практических соображений.

Если тело имеет некоторую начальную температуру $\theta_{нач}$ и подвод теплоты не осуществляется, то происходит охлаждение тела от температуры $\theta_{нач}$ до температуры $\theta_{кон}$ в соответствии с законом:

$$\theta_{кон} = \theta_{нач} \cdot e^{-\frac{t_{охл}}{T}}, \quad (7)$$

где $t_{охл}$ – время охлаждения, с; T – постоянная времени нагревателя, с. Тогда:

$$T = \frac{t_{охл}}{\ln\left(\frac{\theta_{кон}}{\theta_{нач}}\right)}, \quad (8)$$

Тогда из уравнения (5) определяют коэффициент пропорциональности:

$$T = \frac{c \cdot m}{k} \Rightarrow k = \frac{c \cdot m}{T}. \quad (9)$$

Дифференциальное уравнение процесса нагревания на основе уравнения (5):

$$T \cdot \frac{d\theta}{dt} + \theta = b_1 \cdot u(\theta) + b_0, \quad (10)$$

где коэффициенты правой части $b_1 = \frac{N}{k}$, $b_0 = \theta_{oc}$.

Схема реализации уравнения (10) в программе МВТУ показана на рис. 21.

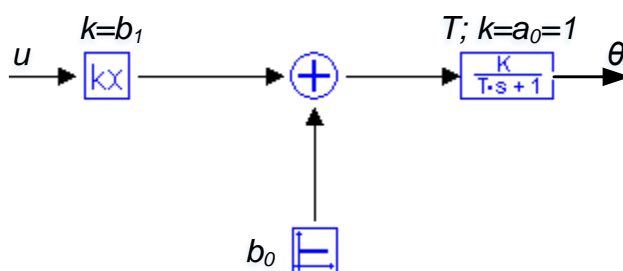


Рисунок 21 – Схема реализации уравнения (10) в программе МВТУ

2. Моделирование регулятора

1. В качестве регулятора в лабораторной работе используется двухпозиционное реле с зоной возврата. Переходная характеристика его показана на рис. 22.

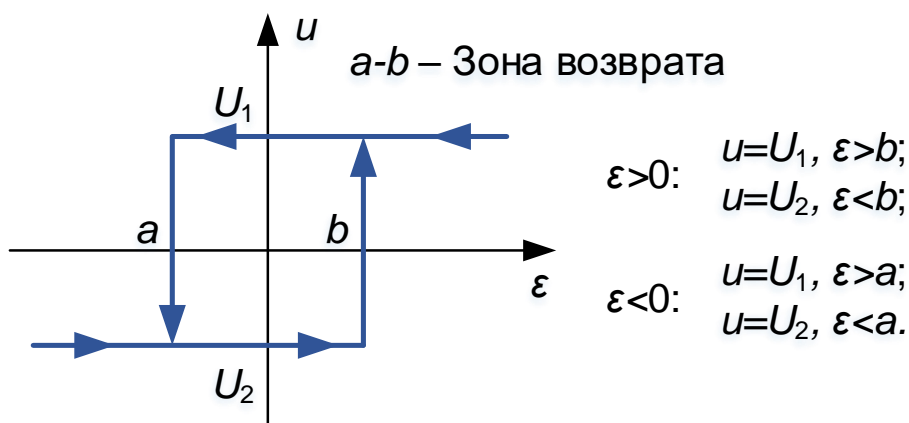


Рисунок 22 – Переходная характеристика двухпозиционного реле с зоной возврата

2. Величина ε определяет допустимую погрешность регулирования. Например, если $a = -10$, $b = 10$, то температура нагревателя будет изменяться в диапазоне ± 10 °С. В лабораторной работе $|a| = |b| = \Delta_{\text{доп}}$.

3. Так как реле будет выполнять операцию включения/выключения, следует задать $U_1 = 1$, $U_2 = 0$.

3. Моделирование системы регулирования

1. Дополнить структурную схему (рис. 21) таким образом, чтобы получилась одноконтурная система автоматического регулирования (рис. 23).

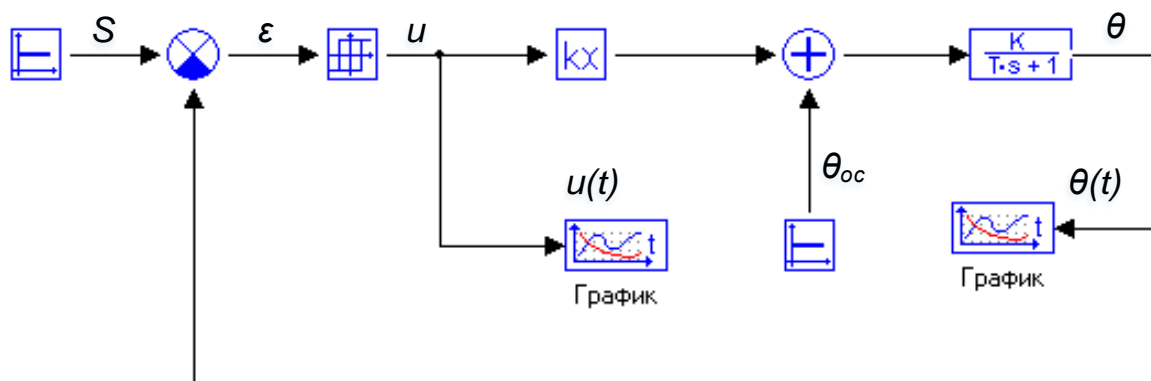


Рисунок 23 – Структурная схема системы автоматического регулирования

2. Графики управляющего воздействия ($u(t)$) и изменения температуры нагревателя ($\theta(t)$) с помощью меню «Свойства графика» назвать соответственно, «Управление» и «Температура».

3. Сохранить полученные графики управляющего воздействия и изменения выходной величины.

4. Выполнить моделирование работы системы регулирования процесса нагревания для заданных значений температур S , $S+10$, $S+20$, для различных значений мощности: N , $0,9N$, $1,2N$.

Варианты заданий

№ вар.	N , Вт	m , кг	c , Дж/(кг $^{\circ}$ С)	S , $^{\circ}$ С	$\Delta_{\text{доп}}$, $^{\circ}$ С	$\theta_{\text{ос}}$, $^{\circ}$ С	Экспериментальные данные		
							$\theta_{\text{нач}}$, $^{\circ}$ С	$\theta_{\text{кон}}$, $^{\circ}$ С	$t_{\text{охл}}$, ч
1	1000	1,5	460	250	10	19	20	200	0,6
2	1100	1,2	420	280	15	18	15	200	0,8
3	800	2,0	450	350	20	20	10	200	0,5
4	1200	1,6	430	300	15	21	20	220	0,7
5	1050	1,7	440	320	10	22	10	210	0,5
6	1150	1,4	450	150	5	23	20	200	0,6
7	1000	1,6	480	200	10	25	15	205	0,8
8	900	1,5	470	250	12	40	20	200	0,7

Содержание отчета

- 1) Цель работы;
- 2) Исходные данные;

- 3) Вывод дифференциального уравнения, передаточную функцию объекта регулирования, расчет коэффициентов уравнения;
- 4) Порядок выполнения работы (включая рисунки структурной схемы САР, график полученных переходных характеристик для всех значений N, S);
- 5) Анализ полученных результатов, выводы.

12. МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ УРОВНЯ В ПРОМЫШЛЕННОМ РЕЗЕРВУАРЕ

Цели работы: разработать математическую модель одноконтурной системы регулирования уровня в резервуаре на основе регулятора непрерывного действия.

Порядок выполнения работы

1. Вывод уравнения, описывающего процесс нагрева объекта

1. В технологическом аппарате (рис. 24) требуется поддерживать постоянным уровень h_3 рабочей среды в соответствии с заданными требованиями к автоматической системе регулирования.

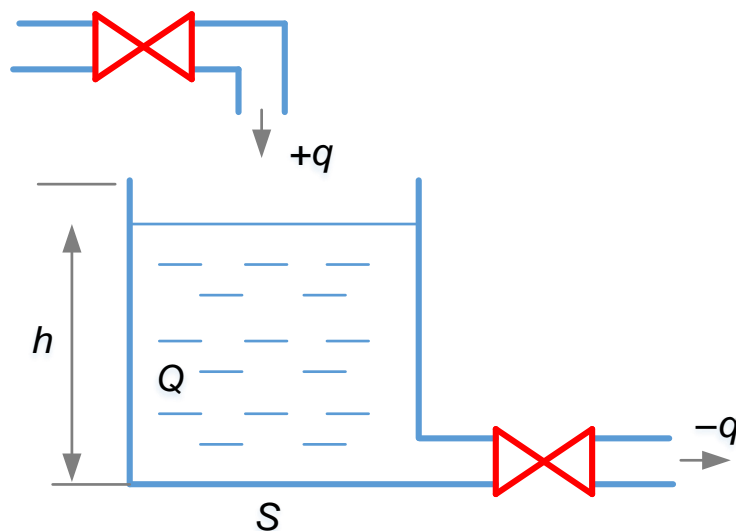


Рисунок 24 – Схема технологического аппарата

2. Объем воды в резервуаре $Q = h \cdot S$. Тогда изменение объема будет

$$\frac{dQ}{dt} = S \frac{dh}{dt} = q^+ - q^- ,$$

где $q^+ = \frac{dQ^+}{dt}$ и $q^- = \frac{dQ^-}{dt}$ приток (подача) и расход воды соответственно.

Тогда уровень воды $h(t)$ определяется соотношением:

$$h(t) = \frac{1}{S} \int_0^t (q^+ - q^-) dt .$$

3. Структурная схема реализации этого соотношения в программе МВТУ показана на рис. 25.

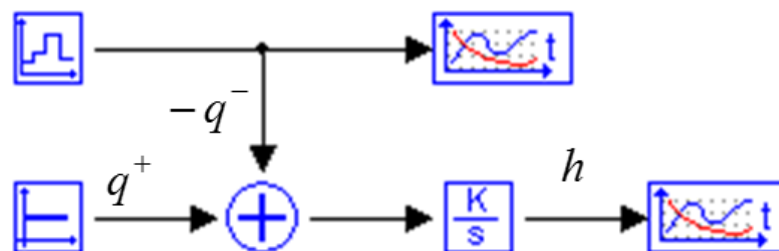


Рисунок 25 – Структурная схема модели технологического аппарата

В блоке $+q$ в соответствии с индивидуальным вариантом задается подача (приток) среды. В блоке $-q$ с помощью кусочно-постоянной функции задается расход среды. Его величина изменяется в различные промежутки времени.

Коэффициент усиления интегратора, описывающего работу резервуара, определяется площадью резервуара: $k_{об}=1/S$.

2. Моделирование АСР

1. Формируется блок задания уровня h_3 . Затем устанавливается устройство, сравнивающее текущий уровень h с его заданным значением h_3 , для этого вводится отрицательная обратная связь (рис. 26).

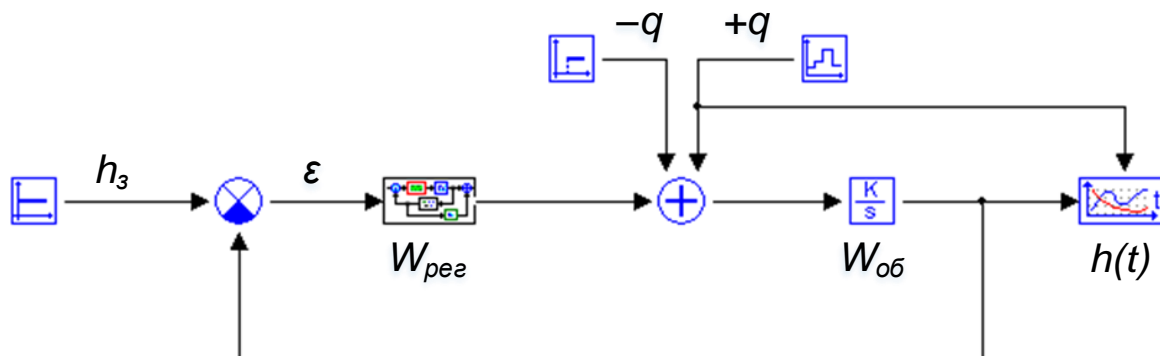


Рисунок 26 – Структурная схема моделируемой системы

2. Выходной сигнал элемента сравнения (ошибка регулирования $\varepsilon=h-h_3$) подается на вход регулятора (пропорционально-интегральный закон).
3. С помощью элемента «Макроблок» задаются структура и параметры ПИ-регулятора.

3. Определение параметров настройки регулятора

1. В соответствии с индивидуальным вариантом задать первое приближение параметров ПИ-регулятора;

2. Определить прямые оценки качества полученного переходного процесса (см. Лабораторную работу № 2).

3. При необходимости откорректировать параметры ПИ-регулятора для обеспечения соблюдения требований к системе.

Варианты заданий

№ вар.	$h_3, \text{ м}$	$S, \text{ м}^2$	q^-	$q^+ (7\#2)$	Требования к качеству	Параметры регулятора
1	3,0	100	1,0	2 7 8 0 2 8 5	$\varepsilon = 0; t_p \leq 3 \text{ с};$ $\sigma \leq 28 \%; \psi \geq 0,82$	$k_{\text{п}}=3; k_{\text{и}}=0,01$
2	2,6	80	1,2	1 3 5 2 0 4 2	$\varepsilon = 0; t_p \leq 50 \text{ с};$ $\sigma \leq 50 \%; \psi \geq 0,8$	$k_{\text{п}}=5; k_{\text{и}}=2$
3	2,8	110	1,5	2 4 5 0.5 1 3 5	$\varepsilon = 0; t_p \leq 18 \text{ с};$ $\sigma \leq 15 \%; \psi \geq 0,86$	$k_{\text{п}}=4,5; k_{\text{и}}=2,1$
4	2,5	200	2,0	4 6 5 3 0 0 1	$\varepsilon = 0; t_p \leq 19 \text{ с};$ $\sigma \leq 10 \%; \psi \geq 0,92$	$k_{\text{п}}=10; k_{\text{и}}=1,5$
5	5,0	160	1,8	6 8 20 20 3 2 1	$\varepsilon = 0; t_p \leq 20 \text{ с};$ $\sigma \leq 10 \%; \psi \geq 0,91$	$k_{\text{п}}=8; k_{\text{и}}=1,6$
6	1,8	155	1,5	2 3 8 1 5 2 3	$\varepsilon = 0; t_p \leq 10 \text{ с};$ $\sigma \leq 15 \%; \psi \geq 0,9$	$k_{\text{п}}=2; k_{\text{и}}=0,8$
7	2,1	50	1,4	2 9 3 1 3 8 1	$\varepsilon = 0; t_p \leq 10 \text{ с};$ $\sigma \leq 14 \%; \psi \geq 0,93$	$k_{\text{п}}=5; k_{\text{и}}=10$
8	2,41	120	1,6	5 0 0 0 0 0 1	$\varepsilon = 0; t_p \leq 14 \text{ с};$ $\sigma \leq 8 \%; \psi \geq 0,92$	$k_{\text{п}}=20; k_{\text{и}}=15$

Содержание отчета

- 1) Цель работы;
- 2) Исходные данные;
- 3) Вывод уравнения, описывающего работу объекта; вывод передаточную функции по каналу задания и по каналу возмущения;
- 4) Порядок выполнения работы (включая рисунки структурной схемы САР, ПИ-регулятора; графики полученных переходных характеристик);
- 5) Расчет прямых оценок качества переходных процессов для исходной и откорректированной систем;
- 6) Анализ полученных результатов, выводы.

13. НАСТРОЙКА АСР ТЕМПЕРАТУРЫ МЕТОДОМ НЕЗАТУХАЮЩИХ КОЛЕБАНИЙ ЦИГЛЕРА-НИКОЛЬСА

Цели работы:

- закрепление навыков идентификации компонентов АСР;
- изучение алгоритма настройки регулятора методом незатухающих колебаний;
- получение навыков опытной настройки АСР.

Теоретические основы алгоритма

Суть метода заключается в том, что в работающей системе в регуляторе выключается дифференциальная и интегральная составляющие, то есть реализуется только П-закон регулирования. На вход системы подается единичное ступенчатое воздействие. Коэффициент передачи регулятора последовательно увеличивается до тех пор, пока на выходе системы не установятся колебания с постоянной амплитудой и система не окажется на границе устойчивости. При этом фиксируются значения коэффициента передачи $k_{кр}$ и период колебаний $T_{кр}$. По найденным значениям $k_{кр}$ и $T_{кр}$ определяют параметры настройки регулятора (см. таблицу 1).

Таблица 1 – Параметры типовых регуляторов

Закон регулирования	Параметры настройки		
	k_p	T_u	k_d
P	$0,55 k_{кр}$	—	—
PI	$0,45 k_{кр}$	$0,54 k_{кр} / T_{кр}$	—
PID (1 вариант)	$0,6 k_{кр}$	$1,2 k_{кр} / T_{кр}$	$0,7 k_{кр} T_{кр}$
PID (2 вариант)	$0,6 k_{кр}$	$0,5 T_{кр}$	$0,125 T_{кр}$

Индивидуальное задание

В программе МВТУ смоделировать систему, структура которой показана на *Рис. 1*. Выполнить настройку регуляторов, построить переходные характеристики для всех типов регуляторов **в одной системе координат**. Для всех типов регуляторов выполнить расчет прямых оценок качества переходных процессов, свести в одну таблицу.

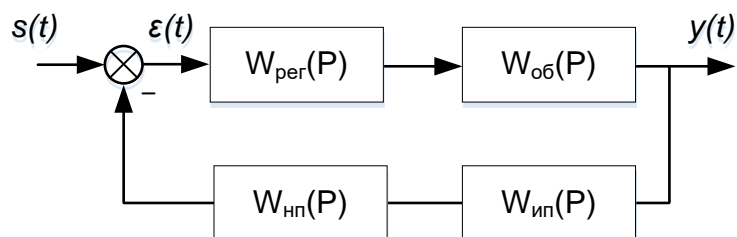


Рис. 1. Структурная схема АСР температуры

Кривые разгона для идентификации измерительных преобразователей температуры представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Данные для построения кривых разгона датчиков температуры

t, c	ТЭП 1	ТЭП 2	ТЭП 3	ТЭП 4	ТЭП 5	ТЭП 6	ТПС 1	ТПС 2
	$K(XA)$	$L(XK)$	$E(XKH)$	$S(ПП)$	$J(TЖК)$	$A(TBP)$	50M	100П
	0...600	0...600	0...200	0... 1300	0...300	300... 1000	0...150	0...400
0,0	19,472	21,878	21,347	20,873	20,912	16,136	31,170	34,652
0,5	25,239	32,592	28,700	23,336	21,662	19,281	35,031	38,975
1,0	30,771	42,104	41,334	27,344	24,661	23,596	44,098	46,295
1,5	42,052	58,012	65,715	34,122	29,892	25,397	53,237	53,629
2,0	70,255	94,555	98,606	47,713	36,804	34,026	61,446	61,192
2,5	120,655	161,151	163,336	68,638	48,658	44,173	68,032	66,762
3,0	197,189	253,985	224,853	116,540	64,280	60,650	74,074	71,393
3,5	252,068	276,774	237,520	174,229	79,997	109,037	79,105	76,307
4,0	271,962	283,751	243,006	208,156	97,531	210,260	83,718	80,567
4,5	275,871	282,671	244,121	221,509	118,323	257,590	87,858	84,766
5,0	277,582	280,936	247,891	229,647	148,420	279,365	91,288	88,424
5,5	277,274	281,106	248,669	237,409	178,789	290,436	94,608	91,744
6,0	277,131	281,776	246,843	237,847	210,145	292,287	97,322	94,938
6,5	277,430	283,429	245,548	238,092	244,984	291,809	100,044	97,719
7,0	277,453	284,685	244,755	241,308	260,995	291,212	102,006	100,086
7,5	277,653	284,260	244,162	243,002	266,743	291,495	102,531	100,315
8,0	277,706	284,055	243,653	245,169	271,317	292,110	102,649	100,737

Для того, чтобы все графики представить в одной системе координат, результат расчета переходной характеристики в программе следует представить в виде таблицы. Табличные результаты перенести в MS Excel или построить графики с помощью любого другого ПО.

Исходные данные представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Исходные данные к лабораторной работе № 1

№ варианта	Объект управления	Измерительный преобразователь температуры	Выходной сигнал нормирующего преобразователя, мА
1	$W_{об}(P) = \frac{2}{10P^2 + 4P + 1}$	ТЭП 1	0...5
2	$W_{об}(P) = \frac{3}{12P^2 + 4P + 1}$	ТЭП 2	0...20
3	$W_{об}(P) = \frac{5}{25P^2 + 3P + 1}$	ТЭП 3	0...20
4	$W_{об}(P) = \frac{1}{15P^2 + 2P + 1}$	ТЭП 4	0...20
5	$W_{об}(P) = \frac{4}{28P^2 + 12P + 1}$	ТЭП 5	4...20
6	$W_{об}(P) = \frac{2}{35P^2 + 10P + 1}$	ТЭП 6	0...5
7	$W_{об}(P) = \frac{3}{42P^2 + 12P + 1}$	ТПС 1	0...20
8	$W_{об}(P) = \frac{2}{25P^2 + 6P + 1}$	ТПС 2	0...5
9	$W_{об}(P) = \frac{8}{45P^2 + 7P + 1}$	ТЭП 2	4...20
10	$W_{об}(P) = \frac{9}{45P^2 + 2P + 2}$	ТЭП 4	4...20

Состав отчета

В отчете представить:

- 1) структурную схему системы в программе МВТУ;
- 2) передаточные функции компонентов системы;
- 3) определение значений $k_{кр}$ и $T_{кр}$ по графику переходной функции (система на границе устойчивости);
- 4) параметры настройки регуляторов в табличном виде;
- 5) графики переходных процессов в системе для всех регуляторов в одной плоскости;

- 6) результаты расчета прямых оценок качества переходных процессов в табличном виде;
- 7) выводы по полученным результатам;
- 8) ответы на контрольные вопросы

Контрольные вопросы

- 1) Передаточные функции П-, ПИ- и ПИД-законов регулирования.
- 2) Назначение нормирующего преобразователя в системе.
- 3) Определение статической характеристики термоэлектрического преобразователя.
- 4) Определение переходной характеристики;

14. СИНТЕЗ АСР ДАВЛЕНИЯ В ДЕАЭРАТОРЕ ЧАСТОТНЫМ МЕТОДОМ

Цели работы:

- закрепление навыков идентификации компонентов АСР;
- получение опыта моделирования АСР давления в теплоэнергетике;
- изучение методики машинной настройки регулятора.

АСР параметров деаэратора

Деаэратор как объект управления имеет две регулируемые величины: давление и уровень.

Возмущающими воздействиями на давление являются расход и давление греющего пара, расход и температура конденсата. Влиянием уровня воды в баке на давление можно пренебречь. Возмущающими воздействиями на уровень являются расходы пара, конденсата и питательной воды. Регулирующим воздействием для стабилизации давления является расход греющего пара, а для стабилизации уровня – расход химически очищенной воды.

Динамика деаэратора по давлению по каналу регулирования описывается дифференциальным уравнением первого порядка (1) и передаточной функцией апериодического звена (2):

$$T_{\delta} \frac{dP_{\delta}}{dt} + P_{\delta} = KD_n, \quad (1)$$

$$W(P) = \frac{K}{TP + 1}, \quad (2)$$

где P_{δ} – давление в деаэраторе (регулируемая величина), D_n – расход пара (регулирующее воздействие), K – коэффициент передачи, T_{δ} – постоянная времени. Так как постоянная времени T_{δ} при испарении и конденсации пара имеет различные значения, то деаэратор по давлению является нелинейным объектом, однако в рамках настоящей лабораторной работы этим можно пренебречь. Приближенно постоянная времени может быть определена как отношение объема парового пространства деаэратора к объемно-

му расходу пара в деаэрактор и, как правило, находится в пределах $T_{\delta} = 3 \div 6$ с.

Для регулирования давления применяется ПИ-регулятор, допустимое отклонение давления в стационарном режиме работы составляет не более 500 Па.

Регулирующим воздействием в АСР является расход пара D_p . Возмущающими воздействиями на давление пара в деаэракторе являются расход конденсата G_k , его температура θ_k и давление греющего пара $P_{гп}$. Так как регулирующий клапан (РК) устанавливается на некотором расстоянии от головки деаэратора, то участок паропровода от РК до деаэратора является апериодическим звеном с передаточной функцией $W_{пп}(P)$. Эти положения учтены при формировании структурной схемы АСР давления (рис. 2).

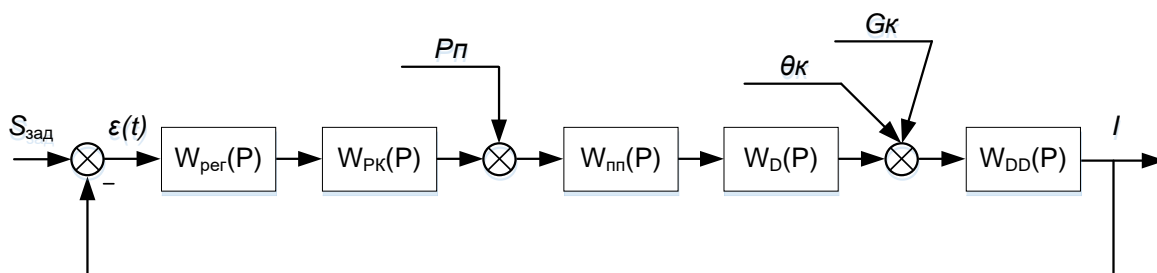


Рис. 2. Структурная схема АСР давления в деаэракторе

На схеме приняты обозначения:

$W_{рег}(P)$ – передаточная функция регулятора;

$W_{РК}(P)$ – передаточная функция регулирующего клапана;

$W_{пп}(P)$ – передаточная функция участка паропровода;

$W_{Д}(P)$ – передаточная функция деаэратора по каналу «расход пара – давление в деаэракторе»;

$W_{ДД}(P)$ – передаточная функция датчика давления.

Расходные характеристики регулирующих клапанов обычно определяются экспериментально. Пример расходной характеристики для шиберного клапана приведен в таблице 4.

Таблица 4 – Расходная характеристика шиберного клапана

Q/Q_{max}	0,05	0,14	0,28	0,40	0,52	0,63	0,74	0,83	0,91	0,96	1,00
% ИМ	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100

Регулирующий клапан описывается передаточной функцией пропорционального звена с коэффициентом передачи, определяемом по расходной характеристике для определенного диапазона изменения расхода:

$$W_{PK} = K_{PK} = \frac{\Delta Q}{\Delta \% ИМ}. \quad (3)$$

Передаточная функция участка трубопровода представляет собой модель апериодического звена:

$$W_{III}(P) = \frac{1}{T_{III} \cdot P + 1}, \quad (4)$$

где T_{III} – постоянная времени, определяемая выражением:

$$T_{III} = \frac{L \cdot Q_m \cdot \rho}{g \cdot f \cdot \Delta p}, \quad (5)$$

здесь L – протяженность участка трубопровода [м], Q_m – массовый расход среды [кг/с], ρ – плотность пара [кг/м³], $g=9,81$ м/с², f – площадь сечения трубопровода [м²], Δp – перепад давления на участке трубопровода [Па].

Коэффициент усиления K_{III} определяется как отношение давления в трубопроводе P_{max} к площади прохода при максимально открытой заслонке S_{max} [Па/м²].

Передаточную функцию датчика давления в рамках индивидуального задания принять в следующем виде:

$$W_{DD} = \frac{1}{0.63P + 1}. \quad (6)$$

Порядок синтеза системы в программном комплексе

В режиме «Синтез» программа выполняет расчет параметров регулятора, при этом может быть использован частотный или корневой метод, позволяющий конструировать регуляторы низкого порядка по заданным техническим требованиям системы. При выполнении работы формируется две модели – синтезируемая и эталонная (отвечает требованиям к системе). Синтезируемая модель создается на основе желаемого закона регулирования и заданного объекта управления, эталонная – выбирается из каталога эталонных моделей и, при необходимости, корректируется в части требований к системе (добротность по скорости / добротность по ускорению, за-

пас устойчивости по фазе). Расчет параметров регулятора выполняется интерполяционным методом.

Рассмотрим порядок синтеза ПИД-регулятора на примере АСР давления в деаэраторе. Соберем в программе схему АСР, показанную на рис. 2, в качестве закона регулирования выберем ПИД-регулятор (рис. 3).

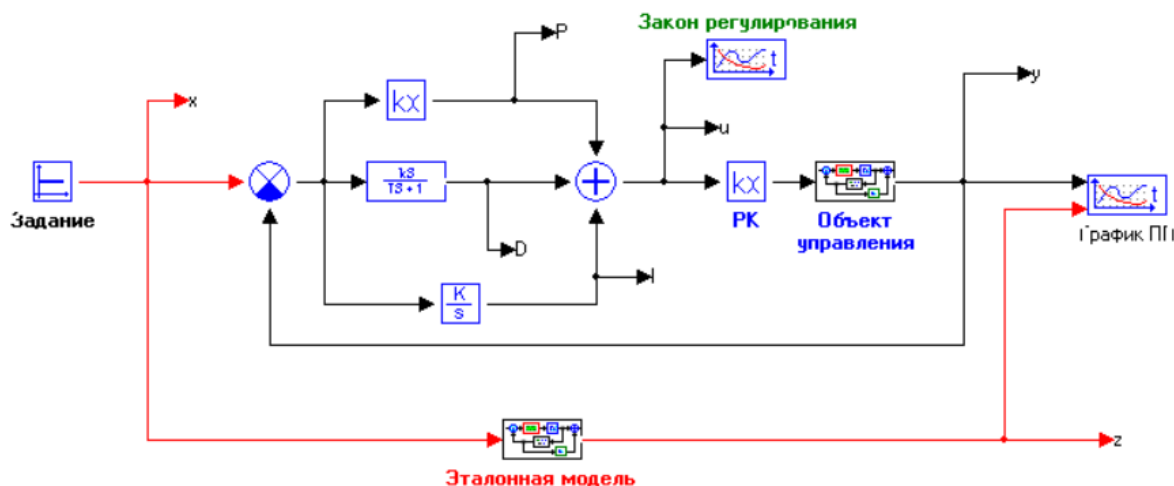


Рис. 3. Схема АСР давления в деаэраторе в ПК «МВТУ»

Входы и выходы участков системы обозначить с помощью функции «В память» (вкладка «Субструктуры»). По умолчанию входы и выходы будут иметь обозначения Y1, Y2..., их следует изменить таким образом, как показано на рис. 4. Рекомендуемые названия приведены в табл. 5.

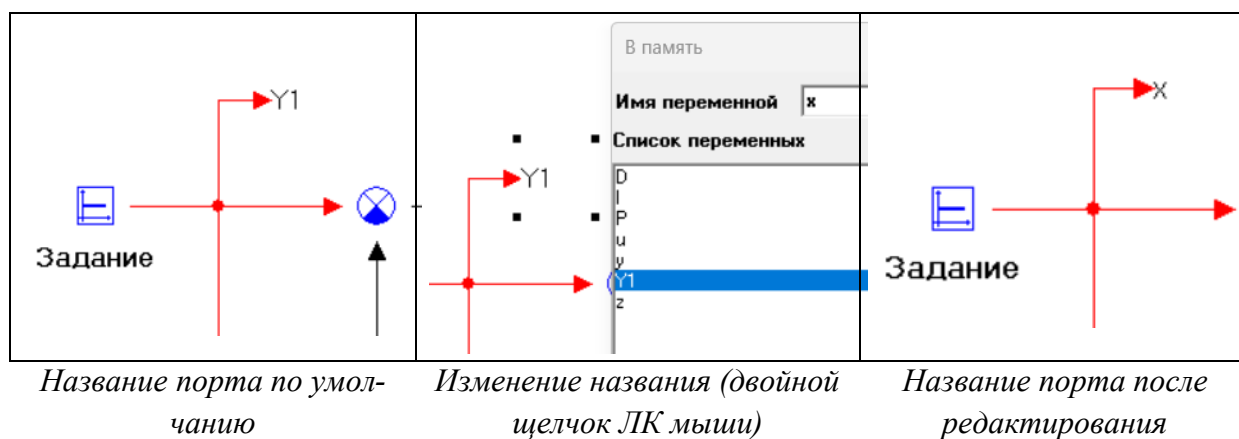


Рис. 4. Редактирование названия порта

Таблица 5 – Рекомендуемые названия портов

Описание входа/выхода	Обозначение
Входной сигнал (задающее воздействие)	x
Выходной сигнал синтезируемой системы	y

Выходной сигнал эталонной системы	z
Выходной сигнал регулятора	u
Выход П-составляющей регулятора	P
Выход И-составляющей регулятора	I
Выход Д-составляющей регулятора	D

Задачей синтеза ПИД-регулятора является определение параметров настройки регулятора – K_p , K_d , K_i . Задание варьируемых параметров выполним через поле «Весовые множители» элемента «Сумматор» в составе ПИД-регулятора. При этом весовые множители зададим в параметрической форме (рис. 5).

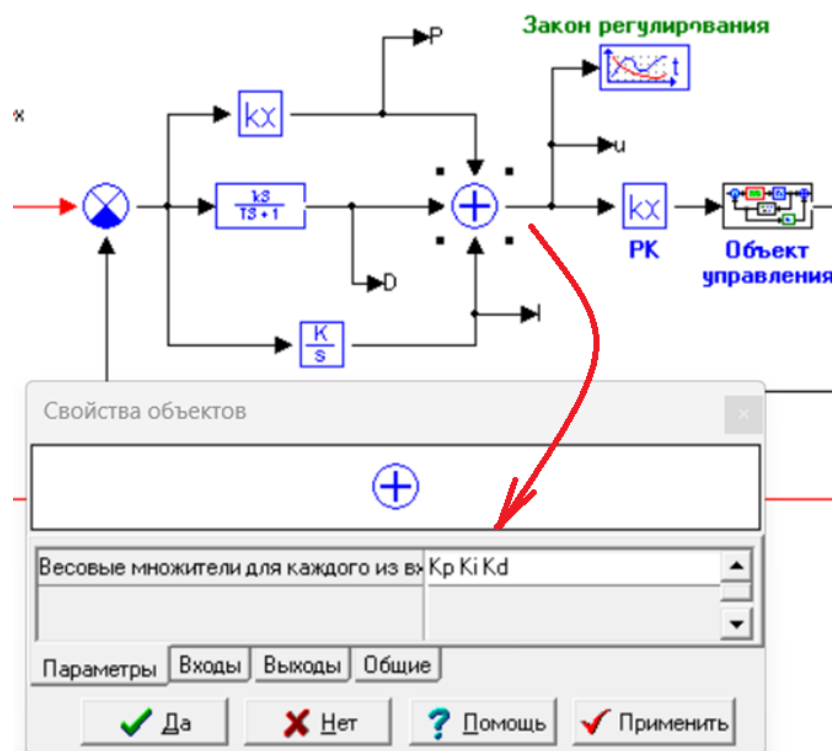


Рис. 5. Задание коэффициентов настройки регулятора в параметрической форме

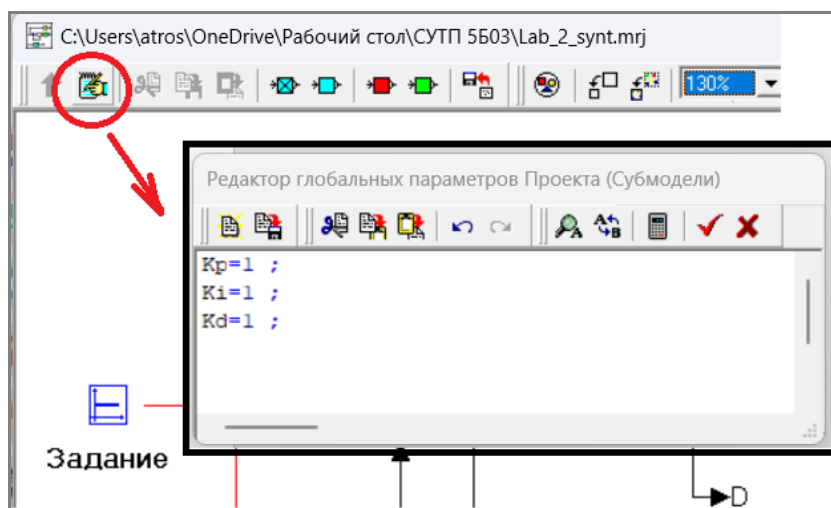


Рис. 6. Задание глобальных параметров

Эти параметры в первом приближении после сбора схемы задаются в окне «Параметры макроблока» (см. рис. 6). В качестве D-составляющей регулятора используем модель реального дифференцирующего звена с постоянной времени $T=0,01$ с.

Передаточная функция регулирующего клапана и объект управления задаются обычным образом (удобнее использовать элемент «Макроблок»).

Для задания эталонной модели используется каталог электронных моделей, в которых предусматривается варьирование требований к системе. Чтобы открыть модель из каталога выполнить команду «Открыть» каталог $C:\text{Program Files (x86)}\text{MBTU 3.5}\text{Demo}\text{Синтез}\text{Etalons}$ (см. рис. 7).

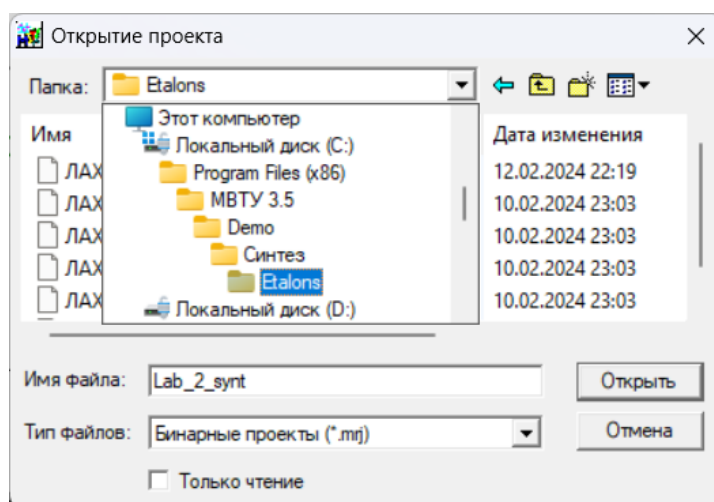


Рис. 7. Каталог эталонных моделей

В каталоге выбрать эталонную модель, например, ЛАХ_12.mgj. Откроется модель (рис. 8, а), при открытии окна глобальных параметров макроблока оно будет содержать код (рис. 8, б).

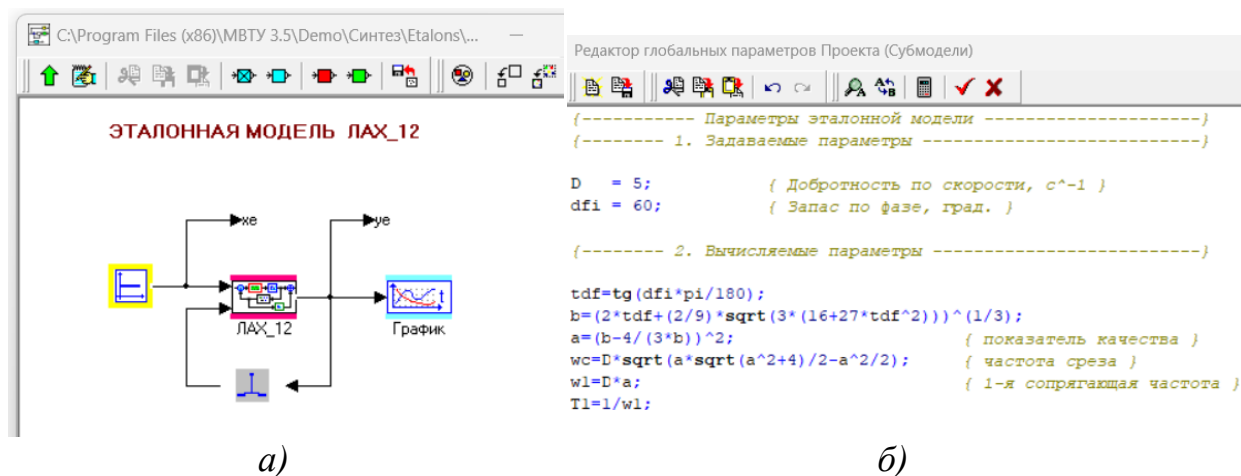


Рис. 8. Эталонная модель ЛАХ_12

Эталонную модель следует перенести в проект в субмодель «Эталонная модель» совместно с кодом, заданным в окне «Редактор глобальных параметров». После этого макроблок «Эталонная модель» в рабочем проекте выглядит так как показано на рис. 9.

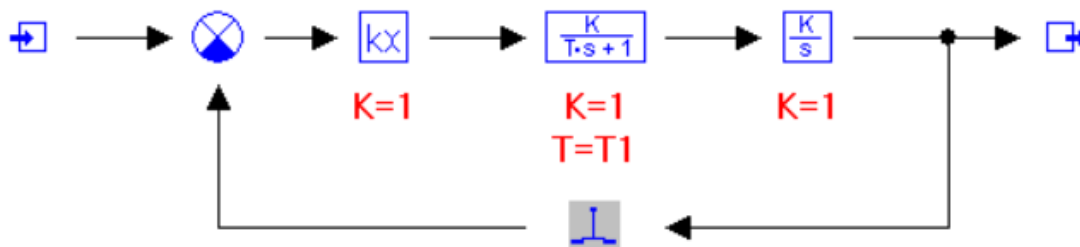


Рис. 9. Эталонная модель в проекте, соответствующая ЛАХ_12

Параметры эталонной модели задать в соответствии с исходной моделью (параметры для модели ЛАХ_12 показаны на рис. 9).

С помощью изменения параметров **добротность по скорости (ускорению)** и **запас по фазе** эталонной модели (рис. 8, б) подбирается желаемый вид переходного процесса в эталонной модели.

Для понимания параметров добротность по скорости и ускорению, рассмотрим показатели качества, характеризующие вынужденную составляющую ошибки $\varepsilon_B(t)$ системы. Если на входе системы действует сигнал $x(t)$, то установившаяся ошибка регулирования системы будет равна

$\varepsilon_B(t) = y_B(t) - x(t)$, где $y_B(t)$ – вынужденная составляющая регулируемой величины.

Если $x(t)$ дифференцируема во всем интервале $0 \leq t \leq \infty$, то ошибка системы может быть представлена в виде ряда:

$$\varepsilon_\varepsilon(t) = C_0 x(t) + C_1 \frac{dx(t)}{dt} + \frac{1}{2} C_2 \frac{d^2 x(t)}{dt^2} + \dots + \frac{1}{m} C_m \frac{d^m x(t)}{dt^m}, \quad (7)$$

где C_0, C_1, C_2, \dots – коэффициенты ошибок. Подробный вывод выражения (7) изложен в [3].

Коэффициент C_0 называется коэффициентом статической (позиционной) ошибки, коэффициент C_1 – коэффициентом скоростной ошибки, коэффициент C_2 – коэффициентом ошибки от ускорения.

Обратные ошибкам величины, соответственно, носят названия **добротность по скорости** (c^{-1}):

$$K_v = \frac{1}{C_1} \quad (8)$$

и **добротности по ускорению**:

$$K_\varepsilon = \frac{1}{C_2}. \quad (9)$$

То есть коэффициенты ошибок по скорости и ускорению уменьшаются с увеличением показателей добротности. В настоящей работе целесообразно использовать значения добротности по скорости в интервале от 2 до 10 c^{-1} в зависимости от требований к показателям качества системы.

О запасе устойчивости системы судят по расположению годографа АФХ. Чем дальше от точки $(-1, j0)$ проходит годограф АФХ разомкнутой системы, тем больше этот запас. При этом выделяют **запас устойчивости по модулю**, равный расстоянию от точки пересечения годографом АФХ разомкнутой системы отрицательной вещественной полуоси до точки $(-1, j0)$. **Запас устойчивости по фазе** определяется углом между отрицательной вещественной полуосью и лучом, проведенным из начала координат в точку пересечения годографом АФХ разомкнутой системы окружности единичного радиуса. Запас устойчивости по фазе показывает в каких пределах возможно увеличение запаздывания по фазе в разомкнутой системе, чтобы замкнутая система оставалась устойчивой. В настоящей работе целесообразно использовать значения добротности по скорости в интервале от 2 до 10 c^{-1} в зависимости от требований к показателям качества системы. В настоящей работе целесообразно использовать значения запаса

по фазе в интервале от 5 до 60° в зависимости от требований к показателям качества системы.

В качестве примера зададим добротность по скорости $D=2$, запас по фазе $df\bar{i}=20$.

После задания всех параметров системы ее следует инициализировать (команда *Моделирование* \rightarrow *Начать*) и выполнить расчет переходного процесса при заданных по умолчанию параметрах (команда *Моделирование* \rightarrow *Расчет*). Переходные процессы в эталонной и синтезируемой системе выглядят следующим образом (рис. 10, а).

При необходимости коррекции вида переходной характеристики эталонной модели следует изменить заданные требования к системе. После получения удовлетворительного переходного процесса в эталонной системе можно приступить к синтезу системы.

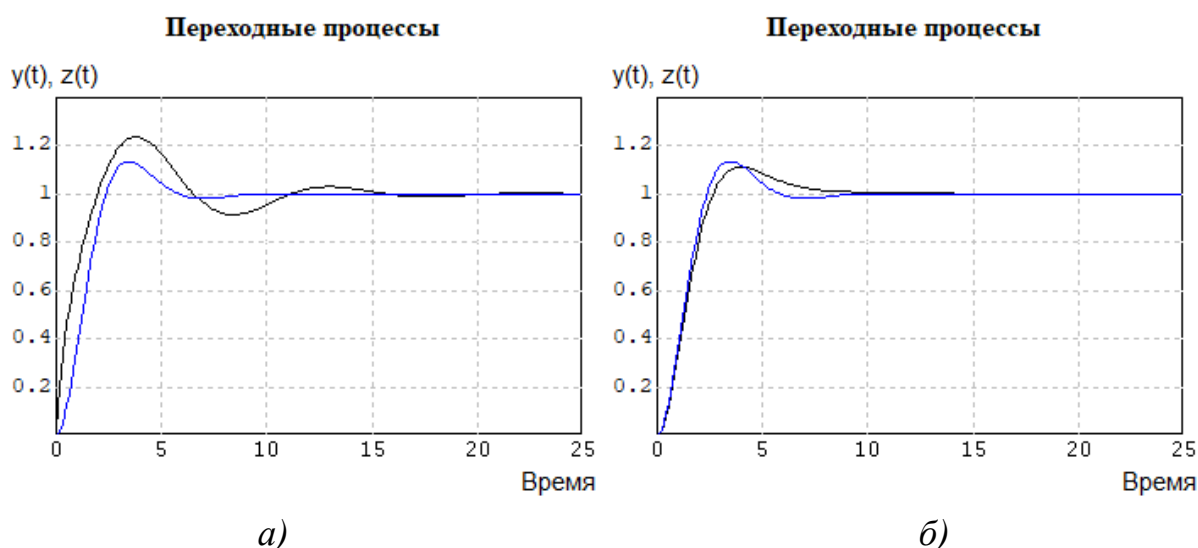


Рис. 10. Переходные процессы в синтезируемой и эталонной модели: а – с параметрами регулятора, заданными по умолчанию; б – с рассчитанными параметрами регулятора

Выполним команду *Синтез* \rightarrow *Частотный метод*, при этом появляется диалоговое окно «Параметры частотного синтеза». Первые два параметра *Абсолютное приращение для якобиана* и *Относительное приращение для якобиана* изменять не рекомендуется.

Параметры частотного синтеза

Относительное приращение для Якобиана

Абсолютное приращение для Якобиана

Тип регулятора Период квантования Узловые частоты

Система	Вход	Выход
Эталонная	x	z
Синтезируемая	x	y

Регулятор

	Выход	Знаменатель
	u	D=1
№	Входы	Числители
1	P	Kp=
2	I	Ki=
3	D	Kd=

Расчет

Применить

Да

Отмена

D=1
Kp=0.840167
Ki=0.234443
Kd=-0.016404

Рис. 11. Диалоговое окно «Параметры частотного синтеза»

Далее нужно выбрать один из трех типов регулятора ($W(s)$ – непрерывная передаточная функция, $W(z)$ – дискретная передаточная функция, $W(1/z)$ – дискретная передаточная функция обратного аргумента).

В данном случае определяются коэффициенты статического блока (Сумматора), а не передаточных функций, поэтому тип регулятора не имеет значения, результат будет одинаковым.

Параметр Интервал квантования также не нужно изменять, поскольку он имеет смысл только для дискретного регулятора.

Следующие параметры – Узловые частоты. Число узловых частот определяется числом неизвестных параметров регулятора. Если число неизвестных параметров m четное, то число узлов принимается $n = m/2$, в противном случае принимаем $n = (m+1)/2$. Для ПИД-регулятора в настоящей работе следует задать два значения узловых частот.

В качестве узловых рекомендуется задавать наиболее характерные точки в области низких и средних частот (рабочую частоту, частоту среза, частоту, определяющую запас по амплитуде). Введем через пробел в поле Узловые частоты два значения: **0.1 3.5**. Первое значение расположено в области низких частот и позволяет обеспечить заданную точность (такую

же, как в эталонной системе) при обработке входного воздействия в виде гармонического сигнала. Второе значение примерно равно частоте среза и позволяет обеспечить заданный запас устойчивости по фазе.

Зададим теперь *входы* и *выходы* эталонной и синтезируемой систем. Выполнив щелчки левой клавишей «мыши» по пустому полю в колонке *Вход* и строке *Эталонная* (см. рис. 11) и далее по специальной кнопке ▼, откроем выпадающий список имен *всех глобальных* переменных проекта, задаваемых типовыми блоками *В память*. Выберем из списка переменную *x*. Аналогично зададим *вход* синтезируемой системы (тоже переменная *x*), *выход* эталонной системы (переменная *z*) и *выход* синтезируемой системы (переменная *y*).

Теперь нужно описать (задать) структуру *Регулятора*. В общем случае регулятор имеет *один* выход и *несколько* входов, но по умолчанию используется регулятор с одним входом. В рассматриваемом примере блок (*Сумматор*), формирующий управляющий сигнал, имеет 3 входа, поэтому нужно добавить 2 входа. Выполнив два щелчка «мышью» по кнопке ← в правой части окна, добавим поля для ввода имен 2-го и 3-го входов. Аналогично тому, как ранее были выбраны имена *входов* и *выходов* эталонной и синтезируемой систем, зададим имя выхода *Регулятора* (глобальная переменная *u*) и имена трех входов *Регулятора* (глобальные переменные **P**, **I** и **D**).

В общем случае *Регулятор* описывается передаточными функциями (по каждому из входов), причем все передаточные функции имеют *одинаковый* знаменатель. Каждый из полиномов числителей (либо знаменателя) задается в виде

$$\langle \text{Имя} \rangle [\langle \text{число коэффициентов} \rangle] = \langle \text{список значений} \rangle$$

В рассматриваемом примере полиномы *вырождаются* в числа, поэтому их можно задать *без квадратных скобок* в виде

Знаменатель

$$\mathbf{D} = \mathbf{1}$$

Числители

$$\mathbf{Kp} =$$

$$\mathbf{Ki} =$$

$$\mathbf{Kd} =$$

Такое задание полиномов *Регулятора* означает, что векторная передаточная функция имеет *общий* знаменатель (равный **1**) и *три* статических

коэффициента (**K_p**, **K_i** и **K_d**), которые необходимо найти в процессе расчетов.

После заполнения *всех* полей диалогового окна **Параметры частотного синтеза** щелчком левой клавиши «мыши» по кнопке **Расчет** (в нижней части диалогового окна) выполняется расчет параметров синтезируемого *Регулятора*.

При правильном выполнении всех действий в нижней части диалогового окна должны появиться рассчитанные значения параметров, и диалоговое окно должно принять вид, представленный на рис. 11. При нажатии кнопки «Применить» рассчитанные параметры переходного процесса будут обновлены окне «Задание глобальных параметров».

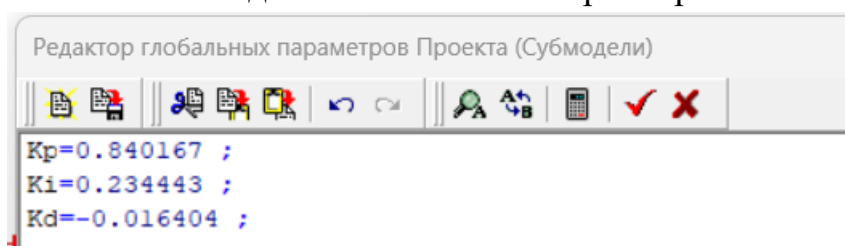


Рис. 12. Диалоговое окно «Параметры частотного синтеза» после обновления

Далее закроем окно «Параметры частотного синтеза» и убедимся в обновлении глобальных параметров (аналогично тому, как показано на рис. 6), при правильном выполнении команд значения параметров настройки станут равным полученным при расчете (см. рис. 12).

После этого повторяем расчет переходного процесса в системе (см. рис. 10, б).

Индивидуальное задание

В лабораторной работе требуется:

- 1) определить передаточные функции элементов системы;
- 2) собрать расчетную схему в программном комплексе;
- 3) подобрать структуру и параметры эталонной модели таким образом, чтобы полученный переходный процесс удовлетворял заданным показателям качества;
- 4) выполнить синтез регулятора;
- 5) выполнить прямую оценку качества переходных процессов в эталонной модели, в синтезируемой модели до и после синтеза регулятора;

- б) сделать выводы о проделанной работе, о взаимосвязи между показателями качества переходных процессов и задаваемыми параметрами электронной модели.

Состав отчета

В отчете представить:

- 1) расчетную структурную схему моделируемой АСР;
- 2) порядок расчета передаточных функций;
- 3) структуру и параметры эталонной модели;
- 4) результаты расчета параметров настройки регулятора;
- 5) переходные характеристики в эталонной модели, в синтезируемой модели до и после синтеза регулятора;
- б) результаты расчета прямых оценок качества переходных процессов;
- 7) выводы.

Таблица 6 – Исходные данные к лабораторной работе № 2

№ вар.	Параметры для идентификации участка трубопровода						Задание по давлению в деаэраторе, МПа	Параметры модели деаэратора		Требования к системе		
	Q_m	Δp	p	t	$L, м$	$d, мм$		K_d	T_d	$t_p, с$ не более	σ не более	ψ не менее
1	10,63	0,076	1,52	279,98	6,8	20	1,445	0,45	3,2	8,2	18	0,95
2	7,41	0,066	1,31	267,18	5,8	15	0,588	0,55	4,5	8,5	17	0,92
3	12,45	0,059	1,17	247,35	6,5	20	0,700	0,56	5,0	9,5	15	0,90
4	9,23	0,073	1,47	266,94	7,2	20	0,700	0,58	5,5	8,6	16	0,94
5	31,93	0,069	1,38	194,45	8,4	32	0,690	0,60	6,0	8,0	19	0,95
6	11,79	0,066	1,31	261,80	5,2	20	0,588	0,42	4,8	9,2	15	0,88
7	8,56	0,063	1,26	497,65	12,8	20	0,588	0,54	3,6	9,0	15	0,94
8	13,60	0,066	1,32	265,34	9,4	20	0,588	0,55	4,8	8,8	19	0,92
9	8,16	0,064	1,28	264,02	8,6	20	0,588	0,48	3,8	9,0	20	0,90
10	9,45	0,061	1,22	471,71	9,7	20	0,588	0,56	5,8	8,9	16	0,98

Принятые обозначения:

Q_m – массовый расход пара, кг/с

t_p – время регулирования, с

–

Δp – потери давления на участке паропровода, МПа

σ – перерегулирование, %

p – максимальное давление на участке паропровода, МПа

ψ – степень затухания переходного процесса

t – температура пара на участке паропровода, °С

L – протяженность участка трубопровода, м

d – внутренний диаметр трубопровода, мм

K_d – коэффициент передачи деаэратора, Па/мм²

T_d – постоянная времени деаэратора, с

15. ЧАСТОТНЫЙ АНАЛИЗ АСР ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В ПОМЕЩЕНИИ

Цели работы:

- изучение процедур оптимизации, предусмотренных ПК «МВТУ»;
- получение навыков применения методов оптимизации для настройки регулятора в АСР температуры в помещении;
- получение опыта настройки регулятора для заданной АСР.

АСР температуры воздуха в помещении

Рассмотрим систему регулирования температуры воздуха в помещении на базе аналогового регулятора. Объектом регулирования является непосредственно помещение, а температура воздуха внутри – регулируемой величиной. В качестве регулирующего воздействия в данной системе используется воздух из системы приточной вентиляции, то есть на выходе калорифера. В качестве основным возмущением в системе будем рассматривать температуру наружного воздуха. Принципиальная схема АСР показана на рис. 13 [4].

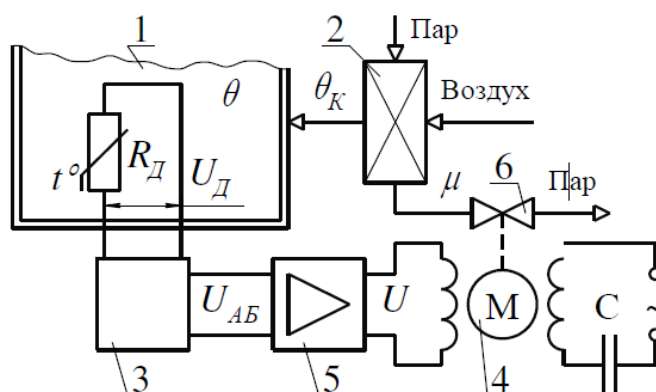


Рис. 13. Принципиальная схема АСР температуры воздуха в помещении
1 – помещение; 2 – калорифер (теплообменник); 3 – регулирующее устройство; 4 – двухфазный двигатель; 5 – усилитель; 6 – регулирующий клапан; θ – температура воздуха в помещении; θ_K – температура воздуха на выходе калорифера; U_D – падение напряжения на датчике температуры; μ – линейное перемещение клапана; U – напряжение на выходе усилителя; U_{AB} – регулирующее воздействие

Соответствующая расчетная схема АСР в программном комплексе МВТУ выглядит так, как показано на рис. 14.

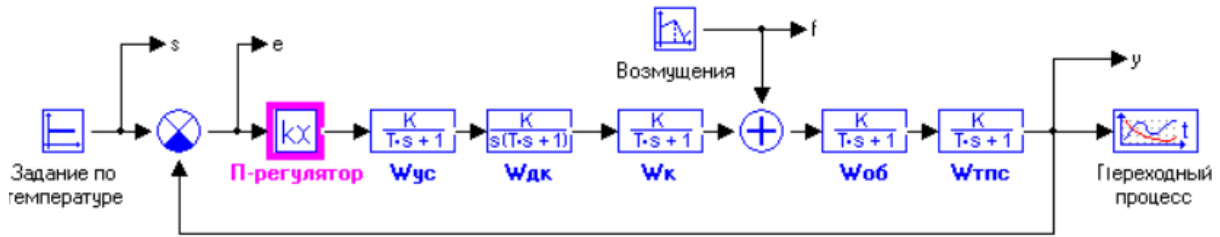


Рис. 14. Структурная схема АСР температуры воздуха в помещении

На схеме (рис. 14) используются обозначения:

S – задающее воздействие; f – возмущающее воздействие; y – выходной сигнал; e – сигнал ошибки регулирования;

$$W_{yc}(P) = \frac{U(P)}{U_{AB}(P)} = \frac{k_{yc}}{T_{yc}P + 1} \text{ – передаточная функция магнитного усилителя;}$$

$$W_{dk}(P) = \frac{\mu(P)}{U_d(P)} = \frac{k_{dk}}{T_{dk}P^2 + P} \text{ – передаточная функция двигателя совместно с}$$

клапаном;

$$W_k(P) = \frac{\theta_k(P)}{\mu(P)} = \frac{k_k}{T_kP + 1} \text{ – передаточная функция калорифера;}$$

$$W_{ob}(P) = \frac{\theta(P)}{\theta_k(P)} = \frac{1}{T_{ob}P + 1} \text{ – передаточная функция объекта регулирования}$$

(помещения);

$$W_{tps}(P) = \frac{U_d(P)}{\theta(P)} = \frac{k_{tps}}{T_{tps}P + 1} \text{ – передаточная функция датчика температуры.}$$

Настройка системы

Методом Циглера-Никольса или вручную подобрать параметр настройки П-регулятора таким образом, чтобы замкнутая АСР была устойчивой. Построить переходную характеристики, выполнить прямую оценку качества переходного процесса.

Частотный анализ автоматических систем регулирования

Под частотным анализом в данной работе понимается определение частотных характеристик системы. Для того, чтобы воспользоваться инструментами частотного анализа программного комплекса МВТУ на рас-

четной схеме следует обозначить входы и выходы системы с использованием функции «В память» панели «Субструктуры». Назвать входы и выходы рекомендуется так как показано на рис. 14. В сумматоре сигнала возмущения задать весовое значение возмущающего сигнала =0. После этого следует выполнить команду *Анализ* → *Частотный анализ* и нажать кнопку «Создать окно характеристик» (рис. 15, а).

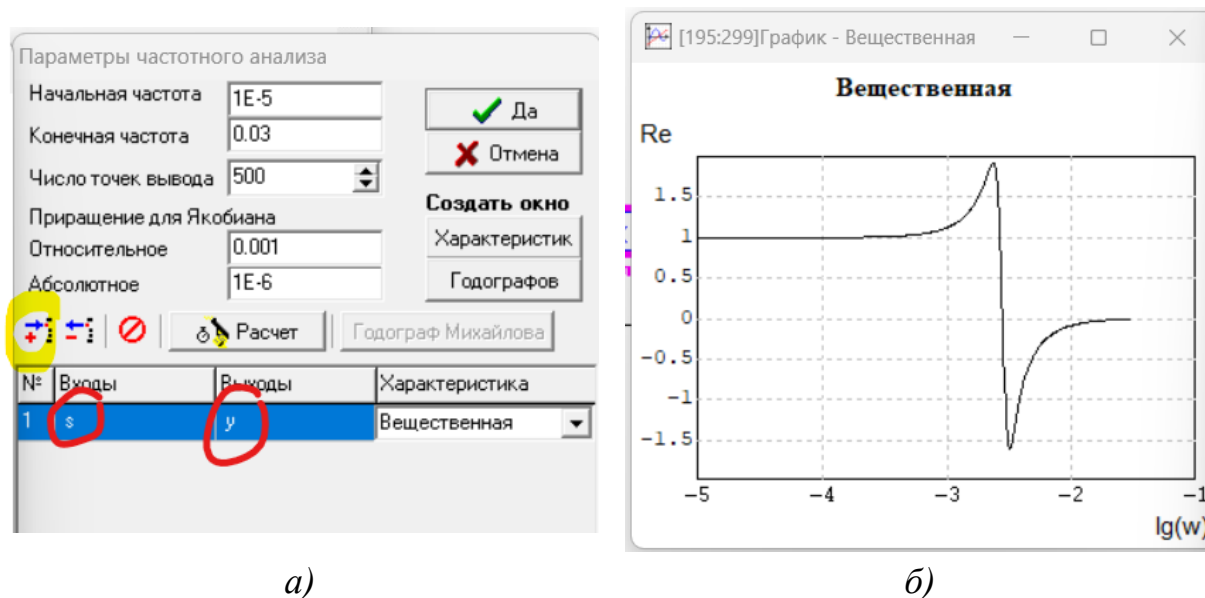


Рис. 15. Параметры частотного анализа АСР

Нажатием крайней левой кнопки добавить строку, в которой выбрать вход и выход замкнутой системы, в графе «Характеристика» выбрать «Вещественная» и нажать кнопку «Расчет». При необходимости откорректировать конечное значение частоты для корректного вывода частотной характеристики (рис. 15, б). Построить все частотные характеристики.

Индивидуальное задание

В лабораторной работе требуется:

- 1) определить передаточные функции элементов системы;
- 2) собрать расчетную схему в программном комплексе;
- 3) подобрать параметр настройки П-регулятора, обеспечивающий устойчивость системы;
- 4) выполнить прямую оценку качества переходного, задав возмущения произвольным образом;
- 5) определить частотные характеристики системы.

Таблица 7 – Исходные данные к лабораторной работе № 3

№ вар.	Параметры системы								
	k_{yc}	T_{yc}	$k_{ДК}$	$T_{ДК}$	k_K	T_K	$T_{об}$	$k_{ТПС}$	$T_{ТПС}$
1	2	0,5	0,002	0,062	20	20	600	1	1,4
2	4	0,5	0,001	0,075	15	20	550	1	1,2
3	3	0,5	0,0018	0,065	12	20	400	1	0,8
4	4	0,5	0,002	0,080	11	22	420	1	0,9
5	6	0,5	0,003	0,085	14	22	350	1	1,2
6	8	0,5	0,004	0,055	9	24	370	1	1,3
7	3	0,5	0,0025	0,060	10	18	320	1	1,0
8	5	0,5	0,0035	0,058	12	20	400	1	1,1
9	7	0,5	0,0016	0,062	14	22	500	1	1,4
10	8	0,5	0,0014	0,068	16	20	520	1	1,5

Состав отчета

В отчете представить:

- 1) расчетную структурную схему моделируемой АСР;
- 2) передаточные функции элементов системы;
- 3) график изменения возмущения;
- 4) переходные процессы и прямые оценки качества переходного процесса;
- 5) частотные характеристики;
- 6) выводы.

16. МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЛЕЙНОЙ АСР УРОВНЯ В ПРОМЫШЛЕННОМ РЕЗЕРВУАРЕ

Цели работы:

- изучение алгоритма работы релейной АСР;
- получение навыков задания позиционных регуляторов в ПК МВТУ;
- получение опыта настройки регулятора для заданной АСР.

Модель объекта управления

В технологическом аппарате (рис. 16) требуется поддерживать постоянным уровень h_3 рабочей среды в соответствии с заданными требованиями к автоматической системе регулирования.

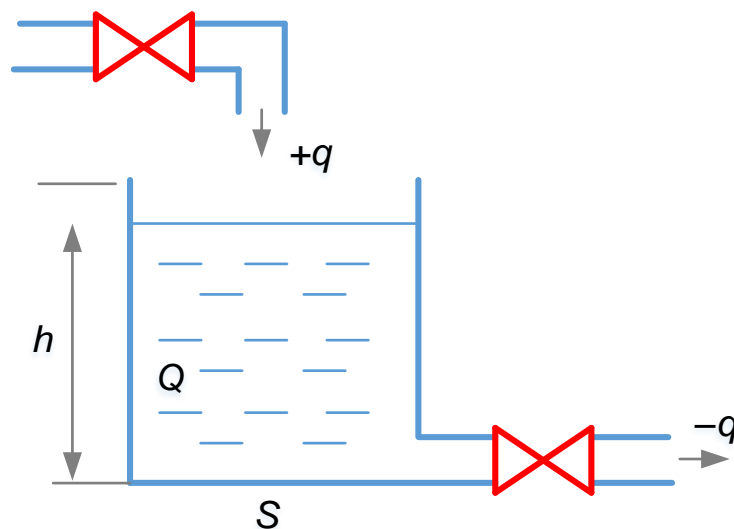


Рис. 16. Схема технологического аппарата

Объем воды в резервуаре $Q = h \cdot S$. Тогда изменение объема будет

$$\frac{dQ}{dt} = S \frac{dh}{dt} = q^+ - q^- ,$$

где $q^+ = \frac{dQ^+}{dt}$ и $q^- = \frac{dQ^-}{dt}$ приток (подача) и расход воды соответственно.

Тогда уровень воды $h(t)$ определяется соотношением:

$$h(t) = \frac{1}{S} \int_0^t (q^+ - q^-) dt .$$

Таким образом, объект управления описывается интегрирующим звеном. Коэффициент усиления интегратора, описывающего работу резервуара, определяется площадью резервуара: $k_{об}=1/S$.

Моделирование регулятора

В качестве регулятора в лабораторной работе используется двухпозиционное реле с зоной возврата. Переходная характеристика его показана на рис. 17.

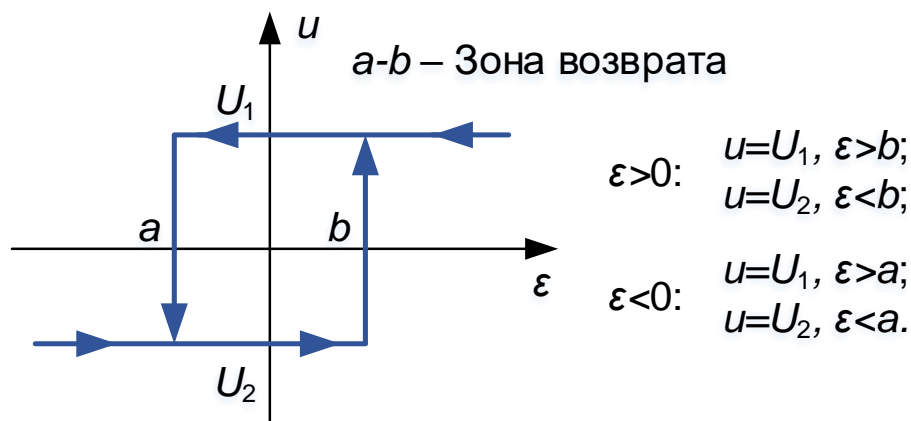


Рис. 17. Статическая характеристика двухпозиционного реле с зоной возврата

Величина ε определяет допустимую погрешность регулирования. Например, если $a = -0,5$, $b = 0,5$, то уровень будет изменяться в диапазоне $\pm 0,5$ м. В лабораторной работе $|a| = |b| = \Delta_{доп}$.

Так как реле будет выполнять операцию включения/выключения линии сброса, следует задать $U_1 = 1$, $U_2 = -1$.

Моделирование АСР

В программе МВТУ собрать схему, показанную на рис. 18.

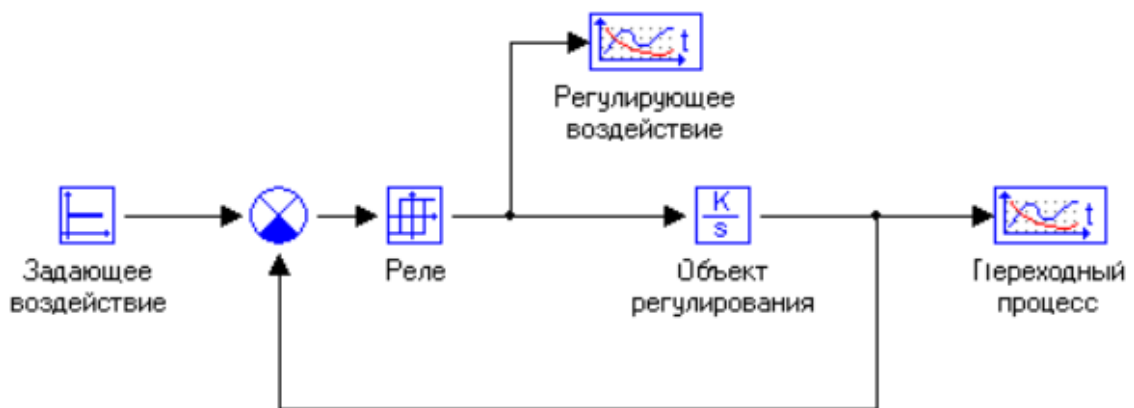


Рис. 18. Структурная схема АСР уровня в подогревателе

Пример задания регулятора для поддержания уровня в интервале $\pm 0,5$ м относительно заданного значения показан на рис. 19.

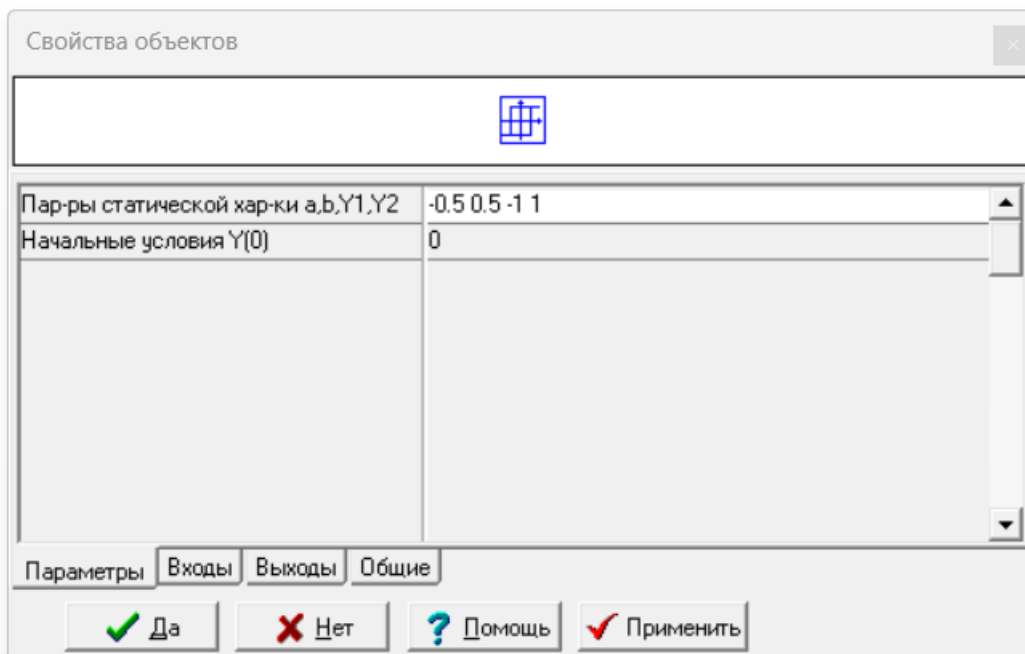


Рис. 19. Задание нелинейного регулятора

Для моделируемой системы определить параметры

- 1) диапазон колебания регулируемой величины;
- 2) длительность положительного импульса t_1 в установившемся процессе;
- 3) частота переключений регулятора в единицу времени.

Индивидуальное задание

В лабораторной работе требуется:

- 1) определить передаточные функции элементов системы;
- 2) собрать расчетную схему в программном комплексе;
- 3) получить переходные характеристики регулирующего воздействия и переходного процесса;
- 4) уменьшить требуемую точность поддержания уровня в два раза, повторить расчет
- 5) определить требуемые параметры процессов для различных требований к точности поддержания процесса (см. п. 4).

Таблица 8 – Исходные данные к лабораторной работе № 4

№ вар.	$\pm\Delta$, м	S , м ²	$h_{зад}$, м ²
1	$\pm 0,2$	10	3
2	$\pm 0,3$	12	4
3	$\pm 0,1$	15	5
4	$\pm 0,5$	8	8
5	$\pm 0,6$	14	10
6	$\pm 0,8$	12	9
7	$\pm 0,2$	10	8
8	$\pm 0,3$	11	6
9	$\pm 0,2$	8	7
10	$\pm 0,1$	16	5

Состав отчета

В отчете представить:

- 1) расчетную структурную схему моделируемой АСР;
- 2) передаточные функции элементов системы;
- 3) график изменения управляющего воздействия и уровня для различных требований к точности поддержания;
- 4) результаты определения параметров регулирующего воздействия для различных требований к поддержанию заданного значения уровня;
- 5) выводы.

17. НАЛАДКА АСР ТЕМПЕРАТУРЫ ВНУТРИ ПЕЧИ

Цели работы:

- изучение процедур оптимизации, предусмотренных ПК «МВТУ»;
- получение навыков применения методов оптимизации для настройки регулятора в АСР температуры в печи;
- получение опыта настройки регулятора для заданной АСР.

АСР температуры в печи

Рассмотрим систему регулирования температуры в печи на базе аналогового регулятора.

В данной системе печь представляет собой объект регулирования, регулируемой величиной которого является температура θ в печи, а регулирующим (управляющим) воздействием – линейное перемещение клапана μ , от величины которого зависит количество топлива, подаваемого в форсунку, а следовательно, и количество теплоты, выделяемой при его сгорании.

Внешним возмущающим воздействием f является совокупность разнообразных факторов, например, изменение температуры и влажности атмосферного воздуха. При исследовании системы можно ограничиться учетом влияния на объект регулирования исходной температуры окружающей среды, рассматривая ее как основное возмущающее воздействие.

Функции воспринимающего органа (ВО) в САР выполняет медный терморезистор R_1 , включенный в мостовую схему, обеспечивающую задание требуемого значения температуры в печи посредством резистора R_2 . Мостовая схема также сравнивает напряжение U , пропорциональное температуре в печи θ с задающим напряжением U_0 . То есть она помимо функций задающего органа (ЗО) выполняет функции сравнивающего органа (элемента). Принципиальная схема АСР показана на рис. 20 [4].

Напряжение разбаланса мостовой схемы ΔU (сигнала рассогласования) усиливается усилителем, выходное напряжение U_V которого управляет исполнительным двигателем. Последний через редуктор перемещает клапан, т.е. изменяет величину регулирующего воздействия μ на входе объекта регулирования.

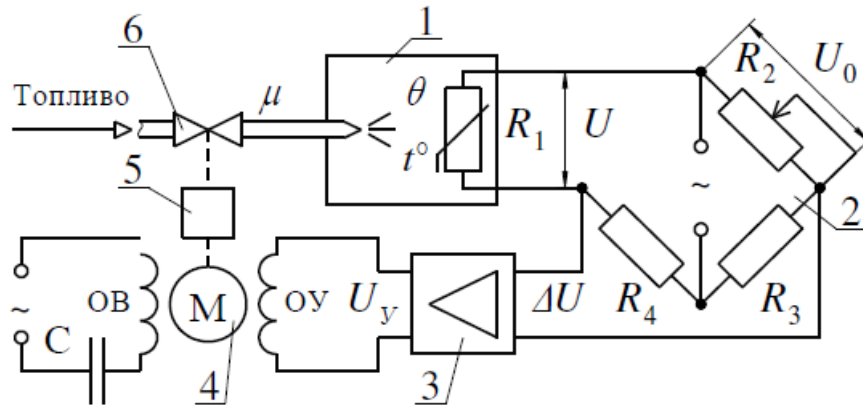


Рис. 20. Принципиальная схема АСР температуры воздуха в помещении
 1 – печь; 2 – измерительная мостовая схема; 3 – дифференциальный магнитный усилитель; 4 – двухфазный электродвигатель; 5 – редуктор; 6 – клапан; μ – линейное перемещение клапана; θ – температура в печи; U – падение напряжения на терморезисторе; U_y – напряжение на выходе магнитного усилителя; ΔU – сигнал рассогласования

В устройстве сопряжения микроЭВМ с объектом регулирования датчик (R_1) подключен по потенциометрической схеме, сигнал которого U обрабатывается в микроЭВМ следующим образом:

- формируется задающее воздействие U_0 ;
- вычисляется сигнал рассогласования $\Delta U = U_0 - U$;
- реализуется ПИД-закон регулирования в соответствии с передаточной функцией:

$$W_{\text{пид}} = k_p + \frac{k_u}{P} + \frac{k_d P}{T_d P + 1}.$$

Параметры ПИД-регулятора подлежат определению в результате лабораторной работы. Динамические свойства объекта регулирования и элементов системы описываются передаточными функциями:

$$W_{\text{об}} = \frac{\theta(P)}{\mu(P)} = \frac{k_{\text{об}}}{T_{\text{об}} P + 1} \text{ – объект регулирования;}$$

$$W_{\text{д}} = \frac{U(P)}{\theta(P)} = \frac{k_T}{T_T P + 1} \text{ – преобразователь температуры;}$$

$$W_{\text{у}} = \frac{U_y(P)}{\Delta U(P)} = \frac{k_y}{T_y P + 1} \text{ – дифференциальный магнитный усилитель;}$$

$$W_y = \frac{\mu(P)}{U_y(P)} = \frac{k_{ДК}}{T_{ДК}P + 1} - \text{исполнительный двигатель с редуктором и клапа-}$$

НОМ.

Индивидуальное задание

В лабораторной работе требуется:

- 1) составить структурную схему АСР температуры в печи, заданное значение температуры в печи принять $\theta=960$ °С;
- 2) датчик температуры и его параметры задать самостоятельно;
- 3) смоделировать систему в ПК МВТУ, подобрать параметры настройки ПИД-регулятора, обеспечивающего устойчивость системы с $\psi > 0,92$, по алгоритму, описанному в Лабораторной работе № 2;
- 4) выполнить прямую оценку качества переходного процесса.

Таблица 9 – Исходные данные к лабораторной работе № 5

№ вар.	Параметры системы					
	$k_{об}$	$T_{об}$	k_y	T_y	$k_{ДК}$	$T_{ДК}$
1	50	1,9	5	0,05	0,08	0,054
2	45	2,0	4	0,04	0,09	0,045
3	40	2,1	2	0,06	0,08	0,048
4	38	2,5	5	0,05	0,09	0,052
5	37	1,8	4	0,05	0,10	0,050
6	43	1,7	3	0,05	0,12	0,055
7	44	1,6	6	0,06	0,08	0,045
8	28	1,5	4	0,04	0,07	0,062
9	26	1,6	5	0,07	0,06	0,060
10	30	1,3	4	0,06	0,05	0,058

Состав отчета

В отчете представить:

- 1) расчетную структурную схему моделируемой АСР;
- 2) передаточные функции элементов системы;
- 3) структуру и параметры эталонной модели;
- 4) результаты расчета параметров настройки регулятора;
- 5) переходные характеристики в эталонной модели, в синтезируемой модели до и после синтеза регулятора;

- б) результаты расчета прямых оценок качества переходных процессов;
- 7) выводы.

18. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРЕДАТОЧНЫХ ФУНКЦИЙ И ПЕРЕХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕРВИЧНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Цели работы: получить практические навыки определения передаточных функций и расчета переходных характеристик первичных измерительных преобразователей

Порядок выполнения работы

1. Измерительные преобразователи температуры

1. Измерительные преобразователи температуры (термоэлектрические преобразователи, термопреобразователи сопротивления) являются инерционными, так как для них требуется время для установления выходного сигнала), поэтому их динамические свойства описываются апериодическим звеном:

$$W_{III} = \frac{K}{T \cdot P + 1},$$

где K – коэффициент передачи датчика, численно равный отношению выходного сигнала к величине входного сигнала $K = \Delta E / \Delta t$. Так как номинальная статическая характеристика первичных измерительных преобразователей температуры не линейна, коэффициент передачи принимается усредненным в определенном диапазоне температур Δt . Величина T – постоянная времени, определяемая из экспериментально полученной кривой разгона датчика (рис. 27).

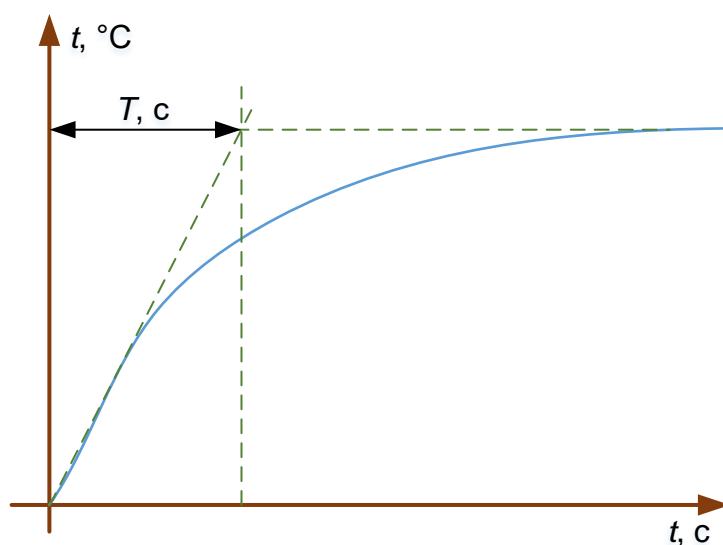


Рисунок 27 – Определение постоянной времени датчика температуры

Результаты экспериментального получения кривых разгона датчиков температуры приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты экспериментального определения кривых разгона датчиков температуры

t, c	ТЭП 1	ТЭП 2	ТЭП 3	ТЭП 4	ТЭП 5	ТЭП 6	ТПС 1	ТПС 2
0,0	19,472	21,878	21,347	20,873	20,912	16,136	31,170	34,652
0,5	25,239	32,592	28,700	23,336	21,662	19,281	35,031	38,975
1,0	30,771	42,104	41,334	27,344	24,661	23,596	44,098	46,295
1,5	42,052	58,012	65,715	34,122	29,892	25,397	53,237	53,629
2,0	70,255	94,555	98,606	47,713	36,804	34,026	61,446	61,192
2,5	120,655	161,151	163,336	68,638	48,658	44,173	68,032	66,762
3,0	197,189	253,985	224,853	116,540	64,280	60,650	74,074	71,393
3,5	252,068	276,774	237,520	174,229	79,997	109,037	79,105	76,307
4,0	271,962	283,751	243,006	208,156	97,531	210,260	83,718	80,567
4,5	275,871	282,671	244,121	221,509	118,323	257,590	87,858	84,766
5,0	277,582	280,936	247,891	229,647	148,420	279,365	91,288	88,424
5,5	277,274	281,106	248,669	237,409	178,789	290,436	94,608	91,744
6,0	277,131	281,776	246,843	237,847	210,145	292,287	97,322	94,938
6,5	277,430	283,429	245,548	238,092	244,984	291,809	100,044	97,719
7,0	277,453	284,685	244,755	241,308	260,995	291,212	102,006	100,086
7,5	277,653	284,260	244,162	243,002	266,743	291,495	102,531	100,315
8,0	277,706	284,055	243,653	245,169	271,317	292,110	102,649	100,737

2. Нормирующие преобразователи температуры являются безынерционными элементами, преобразующими естественный сигнал первичного преобразователя (E или R) в унифицированный токовый сигнал в диапазоне ($I_{\min} \dots I_{\max}$), поэтому описываются передаточной функцией пропорционального звена:

$$W_{III} = K,$$

где K – коэффициент передачи, определяемый из соотношения входного и выходного сигнала:

$$K = \frac{I_{\min}}{E_{\min}} = \frac{I_{\max}}{E_{\max}} \text{ – для нормирующих преобразователей, работающих в комплексе с термоэлектрическими преобразователями;}$$

плекте с термоэлектрическими преобразователями;

$$K = \frac{I_{\min}}{R_{\min}} = \frac{I_{\max}}{R_{\max}} \text{ – для нормирующих преобразователей, работающих в комплексе с термопреобразователями сопротивления.}$$

плекте с термопреобразователями сопротивления.

3. В программе МВТУ смоделировать измерительный канал температуры (рис. 28). В соответствии с вариантами исходных данных, выполнить рас-

чет переходной характеристики измерительного канала при измерении заданной температуры.

4. Вывести эквивалентную передаточную функцию измерительной системы, аналитическое выражение для переходной характеристики.

Варианты заданий

№ вар.	Датчик	НСХ	Диапазон измерения датчика, °С	Выходной сигнал НП, мА	Измеряемая температура, °С
1	ТЭП 1	K (ХА)	0...600	0...5	216
2	ТЭП 2	L (ХК)	-50...200	0...20	120
3	ТЭП 3	E (ХКн)	0...200	4...20	104
4	ТЭП 4	S (ПП)	0...1300	4...20	850
5	ТЭП 5	J (ТЖК)	0...300	0...20	252
6	ТЭП 6	A (ТВР)	300...1000	0...20	555
7	ТПС 1	50М	0...150	4...20	95
8	ТПС 2	100П	0...400	0...5	125

В отчете представить расчет параметров передаточных функций элементов измерительного канала, графики кривой разгона датчика, участок статической характеристики датчика температуры, статическую характеристику нормирующего преобразователя, структурную схему измерительного канала, результат расчета переходной характеристики измерительной системы температуры.

2. Измерительный преобразователь расхода

1. Выходной сигнал комплекта измерения расхода методом переменного перепада давления формируется преобразователем разности давлений в зависимости от величины перепада давлений на сужающем устройстве, определяемой текущим расходом. В общем случае связь расхода Q и перепада давления ΔP описывается выражением:

$$Q = k \cdot \sqrt{\Delta P},$$

где k – коэффициент пропорциональности, зависящий от типа сужающего устройства, диаметров трубопровода и проходного сечения диафрагмы, характеристик измеряемой среды.

2. С учетом уравнения расхода выходной сигнал I преобразователя разности давлений определяется выражением:

$$I = \left(\frac{Q}{Q_{\max}} \right)^2 \cdot (I_{\max} - I_{\min}),$$

где Q – текущий расход среды, т/ч; Q_{\max} – верхний предел измерения расхода, т/ч; $I_{\min} \dots I_{\max}$ – диапазон изменения выходного сигнала преобразователя расхода, мА.

Для «выравнивания» статической характеристики расходомера используется блок извлечения корня. Статическая характеристика расходомера с блоком извлечения корня описывается выражением:

$$I = \frac{Q}{Q_{\max}} \cdot (I_{\max} - I_{\min}).$$

3. Передаточная функция расходомера представляет собой апериодическое звено с коэффициентом передачи, определяемым по статической характеристике:

$$K = \frac{\Delta I}{\Delta Q}.$$

4. Постоянная времени T преобразователя разности давлений определяется свойствами датчика.

5. В программе МВТУ построить переходную характеристику расходомера при измерении расхода в соответствии с вариантом.

6. Вывести аналитическое выражение для переходной функции.

Варианты заданий

№ вар.	Диапазон измерения расхода, т/ч	Диапазон изменения выходного сигнала, мА	Измеряемый расход, т/ч	Постоянная времени, с
1	100...420	0...5	380	0,55
2	50...250	0...20	150	0,60
3	200...500	4...20	450	0,65
4	160...650	4...20	480	0,58
5	50...320	0...20	295	0,59
6	160...500	0...20	385	0,75
7	50...250	4...20	240	0,68
8	100...500	0...5	495	0,76

В отчете представить расчет передаточной функции комплекта расходомера, графики полученной переходной характеристики, статической характеристики расходомера с блоком извлечения корня и без него, а также указанные статические характеристики в табличном виде, вывод аналитического выражения переходной функции.

3. Измерительный преобразователь уровня

1. Выходной сигнал комплекта измерения уровня методом переменного перепада давления формируется преобразователем разности давлений в зависимости от величины перепада давлений в импульсных трубках.

2. Передаточная функция уровнемера представляет собой аperiodическое звено с коэффициентом передачи, определяемым по статической характеристике:

$$K = \frac{\Delta U}{\Delta H}.$$

Результаты экспериментального определения статической характеристики преобразователя уровня приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты экспериментального определения статической характеристики уровнемера

№ вар.	Параметр	1	2	3	4	5	6
1	H , мм	0	50	100	150	200	250
	U , мВ	0	250	500	750	1000	1250
2	H , мм	0	50	100	150	200	250
	U , мВ	0	200	400	600	800	1000
3	H , мм	0	70	100	140	250	350
	U , мВ	0	84	120	168	300	420
4	H , мм	0	40	80	140	160	220
	U , мВ	0	64	128	224	256	352
5	H , мм	0	18	288	648	800	1250
	U , мВ	0	0,14	2,30	5,18	6,40	10,00
6	H , мм	0	30	80	150	180	220
	U , мВ	0	36	96	180	216	264
7	H , мм	0	60	110	180	200	250
	U , мВ	0	108	198	324	360	450
8	H , мм	0	120	220	360	400	500
	U , мВ	0	189,5	347,4	568,4	631,6	789,5

4. Постоянная времени T преобразователя разности давлений определяется свойствами датчика и соответствует значениям для преобразователей расхода.

5. В программе МВТУ построить переходную характеристику уровнемера при измерении уровня (взять среднее значение для диапазона измерения уровня).

6. Вывести аналитическое выражение для переходной функции.

19. ИЗУЧЕНИЕ РЕГУЛИРУЮЩИХ ОРГАНОВ И ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Цели работы: изучение основных характеристик регулирующих органов и электрических исполнительных устройств, применяемых в системах автоматического регулирования параметров тепловых процессов.

Порядок выполнения работы

1. Регулирующие клапаны

1. Регулирующие клапаны – регулирующая арматура, предназначенная для автоматического управления трубопроводными потоками жидких и газообразных сред.

Конструкция регулирующего клапана показана на рис. 28.

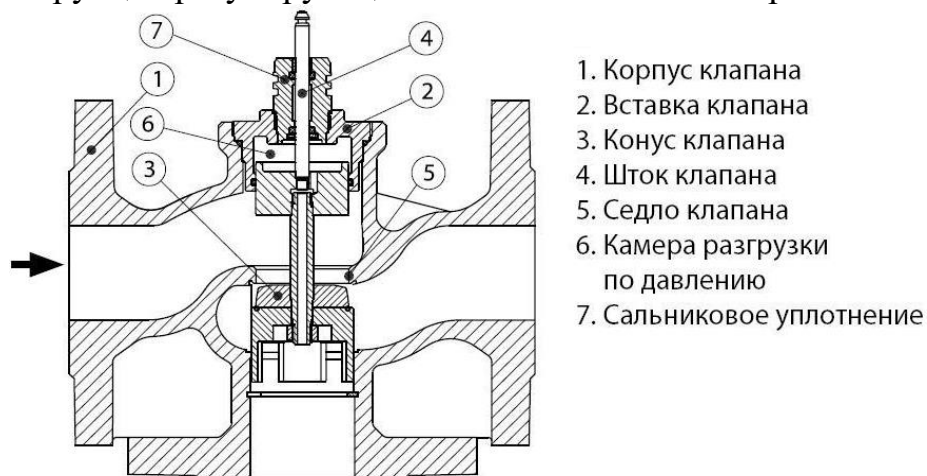


Рисунок 28 – Конструкция регулирующего клапана

Регулирующий клапан состоит из неподвижного корпуса и перемещаемого дросселирующего элемента.

Поверхность, с которой соприкасается плунжер, называется седлом. По виду седла клапаны различаются: односедельные и двухседельные. Двухседельные клапаны применяются для разгрузки штока клапана от осевого усилия при больших значениях расхода среды.

Для клапанов количество протекающей жидкости зависит не только от площади проходного сечения, но и от гидравлической картины движения потока через клапан, которая не может быть определена теоретическим путем. Поэтому расходные характеристики регулирующих клапанов обычно определяются экспериментально.

Экспериментально полученная расходная характеристика для шиберного клапана приведена в таблице 3.

Таблица 3 – Расходная характеристика шиберного клапана

Q/Q_{\max}	0,05	0,14	0,28	0,40	0,52	0,63	0,74	0,83	0,91	0,96	1,00
% ИМ	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100

Регулирующий клапан описывается передаточной функцией пропорционального звена с коэффициентом передачи, определяемом по расходной характеристике для определенного диапазона изменения расхода:

$$W_{PO} = K = \frac{\Delta\% \text{ ИМ}}{\Delta Q}.$$

2. Исполнительные механизмы

Под термином «исполнительный механизм» в системе автоматического регулирования и дистанционного управления понимается автоматическое устройство, осуществляющее перемещение конечного звена системы автоматики (регулирующего органа) в соответствии с сигналами, поступающими от чувствительного или управляющего элемента.

В простейшем случае передаточная функция представляет собой интегрирующее звено с передаточной функцией:

$$W_{ИМ} = \frac{1}{T_u \cdot P},$$

где T_u – электромеханическая постоянная времени, равная времени полного движения исполнительного механизма от положения «закрыто» до положения «открыто полностью». Значение постоянной времени определяется характеристиками конкретного исполнительного механизма.

Для подбора исполнительного механизма вычисляется величина требуемого крутящего момента. Расчет представляет собой сложную задачу, поскольку значение будет зависеть от многих факторов, таких как плотность, вязкость, давление, температура среды, прокачиваемого по трубопроводу, местных сопротивлений в области расположения запорной арматуры и т.д. Так как целью лабораторной работы не является точный расчет запорной арматуры, то при расчете максимального значения крутящего момента можно воспользоваться формулой:

$$M_{\max} = 6,89 \cdot D - 338,$$

где D – условный диаметр трубопровода, мм.

Далее по полученному значению выбирается исполнительный механизм, удовлетворяющий полученному значению (то есть имеет не меньшее значение момента). Примеры исполнительных механизмов приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Характеристики исполнительных механизмов

№ п/п	Типоразмер механизма	Номинальный момент на валу, Н·м	Время полного хода $T_{и}$, с	Масса, кг
1	МЭО-250/63-0,25-92	250	25	74
2	МЭО-400/63-0,25 У-99К	400	63	32
3	МЭО-630/63-0,25 Р-92К	630	63	74
4	МЭО-1000/10-0,25-ПВТ4Gb	1 000	10	100
5	МЭО-6000/63-0,25 Р-97К	6 000	63	270

3. Моделирование канала управления

В программе МВТУ смоделировать систему, структурная схема которой показана на рис. 29, а.

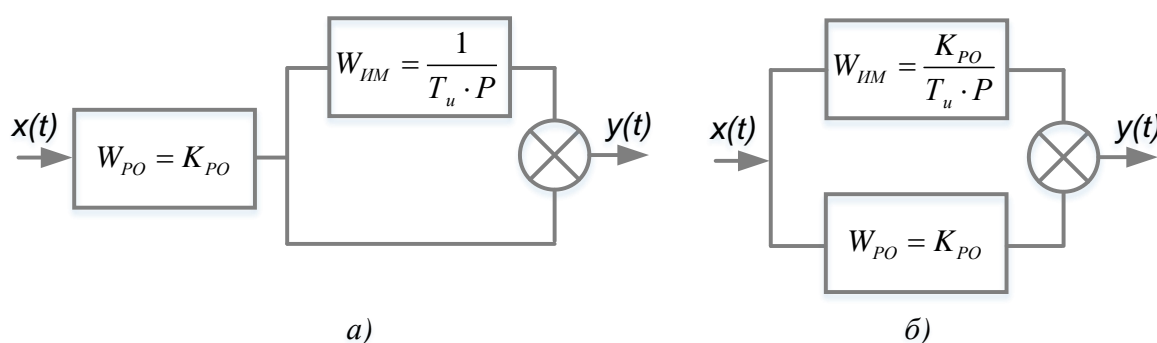


Рисунок 29 – Структурная схема канала управления

Подключение регулирующего органа и исполнительного механизма выполняется так, как показано на рис. 29, а. После преобразования схему можно представить таким образом, как показано на рис. 29, б. Таким образом, полученная система представляет собой практическую реализацию пропорционально-интегрального закона регулирования.

Полученная в программе МВТУ структурная схема канала управления показана на рис. 30. Здесь $k_{и}=1/T_{и}$.

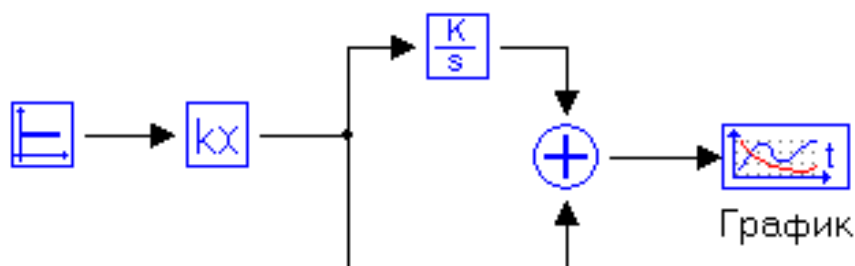


Рисунок 30 – Структурная схема канала управления в программе МВТУ

Для полученной системы построить переходную характеристику.

Варианты заданий

№ вар.	Условный диаметр, мм	Скорость течения среды, м/с
1	85	6,5
2	100	8,3
3	150	11,1
4	900	7,7
5	76	6,9
6	125	9,3
7	150	10,7
8	125	9,9

В отчете представить расходную характеристику клапана, расчет передаточных функций регулирующего клапана и исполнительного механизма, график переходной характеристики.

20. РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ ОДНОКОНТУРНОЙ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ

Цели работы: получение навыков разработки структурной схемы одноконтурной системы автоматического регулирования с помощью программных средств.

Структурные схемы систем автоматического контроля и регулирования

Структурная схема содержит в общем виде основные решения по организационной, функциональной и технической структурам системы управления при соблюдении иерархии построения системы, а также данные о взаимосвязи между пунктами управления и контроля. При этом принципы организации оперативного управления технологическим объектом, состав и обозначения отдельных элементов структурной схемы, принятые при выполнении структурной схемы, сохраняются во всех документах проекта автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУ ТП).

Элементы структурной схемы изображаются, как правило, прямоугольниками, внутри которых обозначается их производственная структура. При этом выделяются цехи, участки, технологические линии, которые являются существенными для раскрытия в документах проекта всех взаимосвязей.

Проектирование структурных схем автоматических систем управления начинается с определения компонентов системы: составляющих измерительную часть АСУ ТП и управляющую часть. Компоненты измерительной части определяются измеряемыми параметрами и методами измерения.

1. Измерение температуры

При измерении температуры используются термоэлектрические преобразователи (ТЭП) или термопреобразователи сопротивления (ТПС), которые могут иметь выходной сигнал в виде ТЭДС (для ТЭП) и сопротивления (для ТПС) или унифицированный выходной токовый сигнал (0...5 мА, 0...20 мА или 4...20 мА). Если постоянный контроль температуры не предусмотрен, а ее измерение требуется только для функционирования АСУ ТП, то преобразователь температуры, не имеющий унифицированного выходного сигнала, комплектуется только нормирующим преобразователем с соответствующей номинальной статической характеристикой и выходным унифицированным сигналом. Если в АСУ ТП предусмотрен постоянный контроль измеряемой температуры, то сигнал от нормирующего

преобразователя поступает в АСУ ТП и на регистрирующий прибор. Описанные структурные схемы приведены на рис. 31.

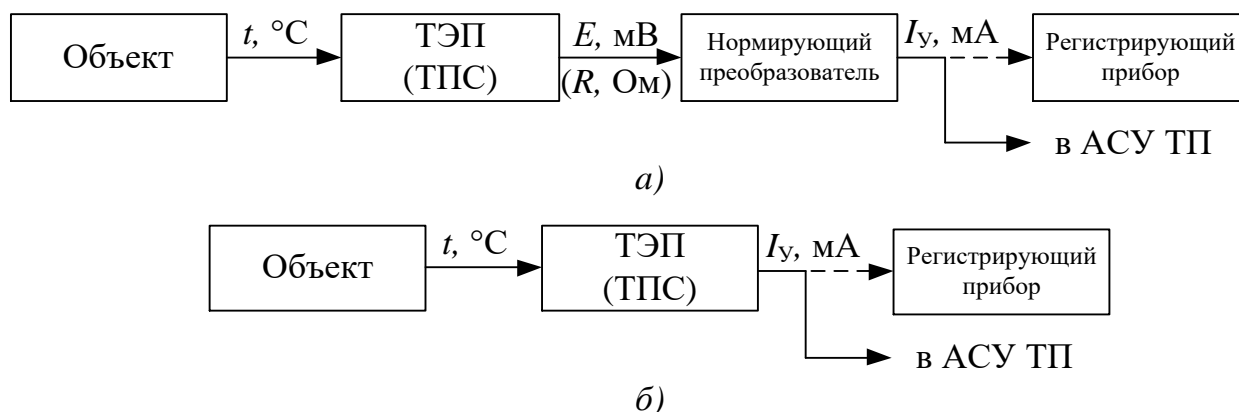


Рисунок 31 – Структурные схемы измерительного канала температуры: а – с использованием нормирующего преобразователя; б – без использования нормирующего преобразователя

2. Измерение давления

При измерении давления используются преобразователи давления, имеющие выходные сигналы в виде постоянного тока, напряжения постоянного тока и др. Наиболее распространёнными являются преобразователи давления с выходным унифицированным токовым сигналом. Если требуется постоянный контроль давления, сигнал от преобразователя поступает к регистрирующему прибору и подается в АСУ ТП. Примеры структурных схем при измерении давления приведены на рис. 32.

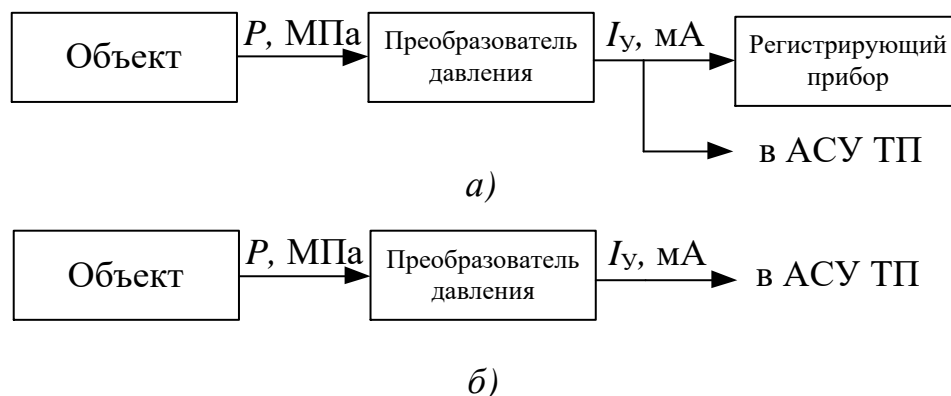


Рисунок 32 – Структурные схемы канала измерения давления: а – с постоянным контролем давления; б – без постоянного контроля давления

3. Измерение расхода

Структурная схема измерительного канала расхода главным образом определяется методом измерения. В случае использования метода переменного перепада давления составляющими измерительной системы будут: сужающее устройство, вспомогательное устройство (конденсацион-

ный/уравнительный сосуд), преобразователь перепада давления, блок преобразования сигнала (для преобразователей перепада давления с квадратичной характеристикой), регистрирующий прибор. Примеры структурных схем измерительного канала расхода приведены на рис. 33.

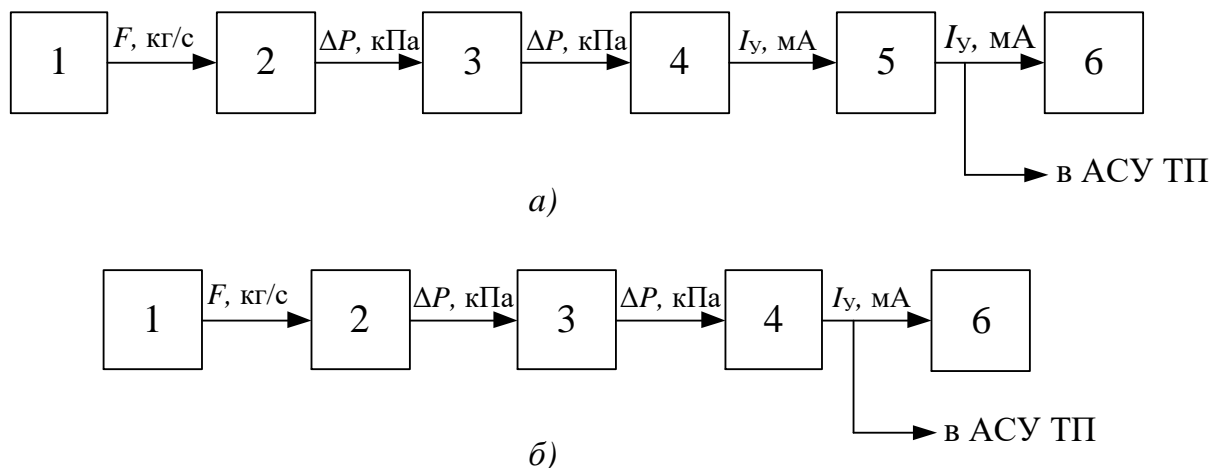


Рисунок 33 – Структурные схемы измерительного канала расхода методом переменного перепада давления:

а – с преобразователем перепада давления с квадратичной характеристикой; б – с преобразователем перепада давления с линейной характеристикой; 1 – объект управления; 2 – сужающее устройство; 3 – вспомогательное устройство; 4 – преобразователь разности давлений, 5 – блок преобразования сигналов; 6 – регистрирующий прибор

4. Измерение концентрации и уровня

Структурные схемы измерения концентрации и уровня также определяются методом измерения и типов средств измерений. Примеры структурных схем приведены на рис. 34.

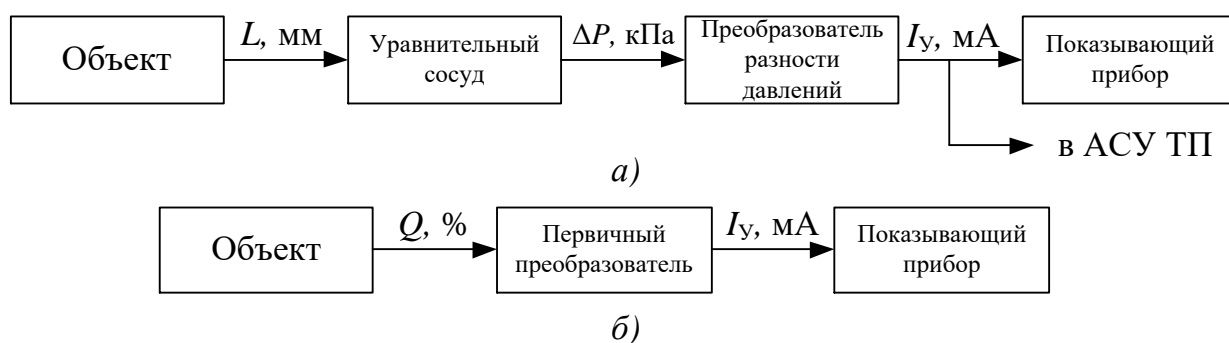


Рисунок 34 – Структурные схемы измерительных каналов:
а – уровня; б – концентрации

После разработки структуры измерительного канала, разрабатывается структура управляющего канала.

На вход регулирующего устройства от измерительного канала поступает текущее значение регулируемого параметра и заданное значение этого параметра, формируемое с помощью задатчика регулируемого параметра. При появлении отличия между этими значениями – рассогласования, регулирующее устройство вырабатывает воздействие, которое направлено на уменьшение появившегося рассогласования и приближение регулируемого параметра к заданному значению. Управляющее воздействие через блок ручного управления поступает на пусковое устройство. Блок ручного управления имеет два режима работы и выступает в роли коммутатора цепей. Так, в автоматическом режиме работы управление регулирующим органом выполняется регулирующим устройством, в ручном режиме работы управление осуществляется оператором. Пусковое устройство предназначено для усиления сигнала до уровня, необходимого для запуска исполнительного механизма, который в свою очередь воздействует на регулирующийся орган.

Если АСУ ТП построена на основе микропроцессорного контроллера, связанного с автоматизированным рабочим местом оператора с помощью SCADA-системы, то выполнять переключение режима работы между ручным и автоматическим, а также задавать значения регулируемого параметра можно напрямую при помощи мнемосхемы.

Порядок выполнения работы

1. Интерфейс пакета Microsoft Visio

1. Основные используемые инструменты расположены на вкладке меню «Главная». Здесь располагаются инструменты для редактирования свойств текста, а также основные инструменты для редактирования разрабатываемых изображений.

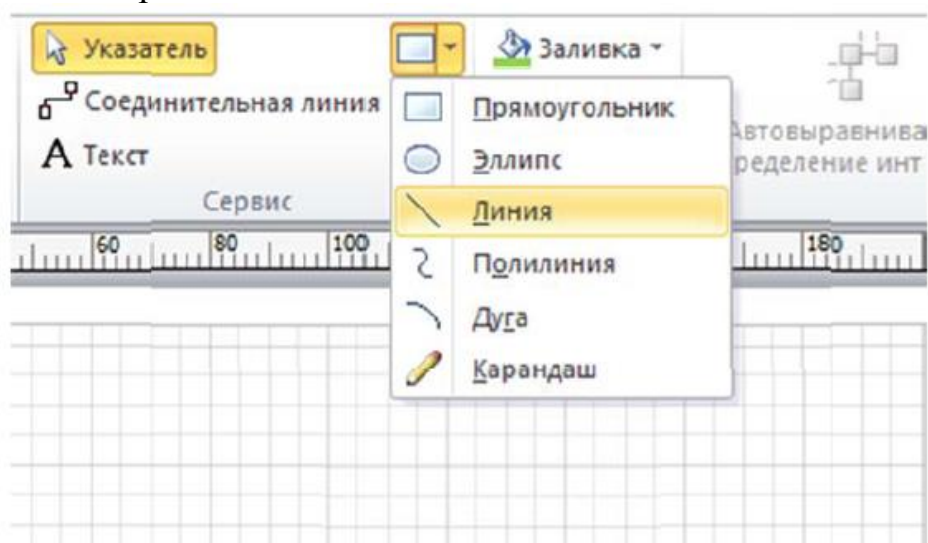


Рисунок 35 – Инструменты редактирования графики

Для создания элементов схемы используется меню, показанное на рис. 35. Здесь наиболее часто используемые инструменты – прямоугольник и линия.

Взаимное расположение объектов редактируется при помощи меню «Положение» (рис. 36).

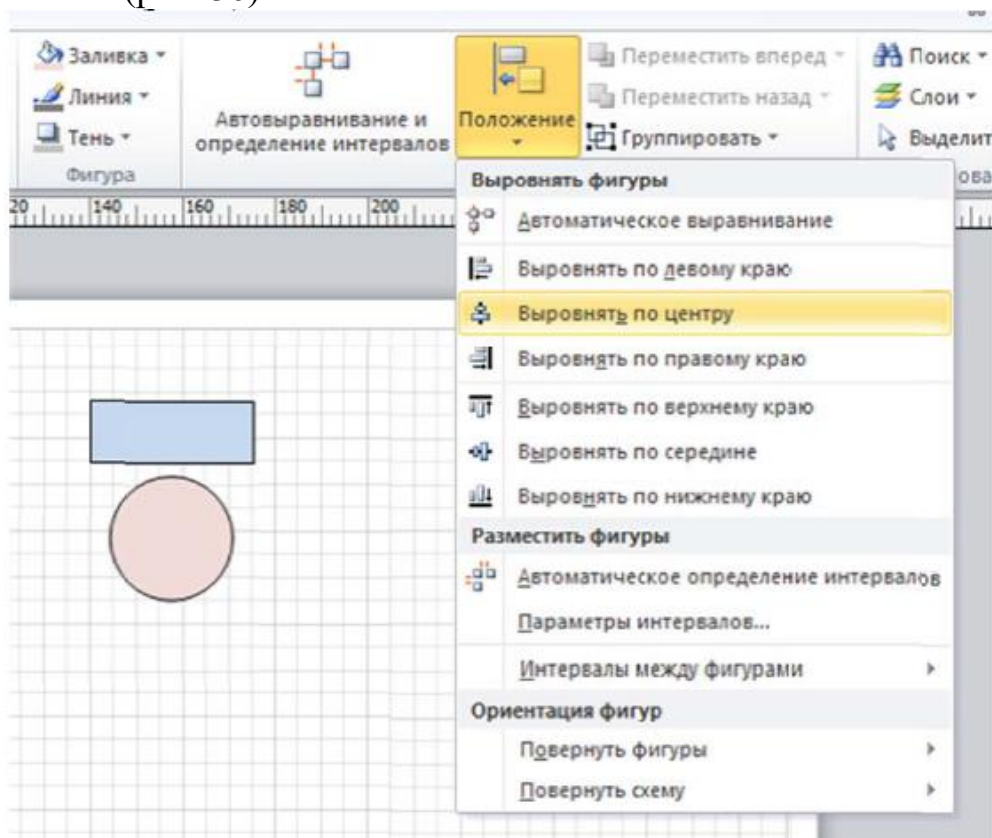


Рисунок 36 – Инструменты редактирования положения объектов

Меню «Положение» содержит ряд команд, описание которых приведено в таблице 5.

Таблица 5 – Команды взаимного выравнивания фигур

Название команды	Действие
Автоматическое выравнивание	Выравнивание по начальному положению
Выровнять по левому краю	Выравнивание всех фигур по их левому краю (горизонтально расположение фигур не меняется)
Выровнять по правому краю	Выравнивание всех фигур по их правому краю (горизонтально расположение фигур не меняется)
Выровнять по центру	Фигуры располагаются на одной вертикальной оси
Выровнять по верхнему краю	Линия верхнего края фигур совпадает

Название команды	Действие
Выровнять по нижнему краю	Линия верхнего края фигур совпадает
Выровнять по середине	Фигуры располагаются на одной вертикальной оси

Команда «Группировать/разгруппировать» позволяет объединить фигуры в одну, в этом случае действия (изменение размера, цвета и др.) будет применено к выделенной группе фигур.

Увеличение формата листа, на котором создается чертеж, выполняется автоматически при превышении границ имеющегося листа, при этом границы форматов будут показаны пунктирной линией. По умолчанию при создании нового чертежа формат листа будет А4, расположение горизонтальное. Изменить формат и положение начального листа можно с помощью команд «Размер» и «Ориентация» вкладки «Конструктор».

Добавление основных видов фигур выполняется с помощью меню «Фигуры» (рис. 37).

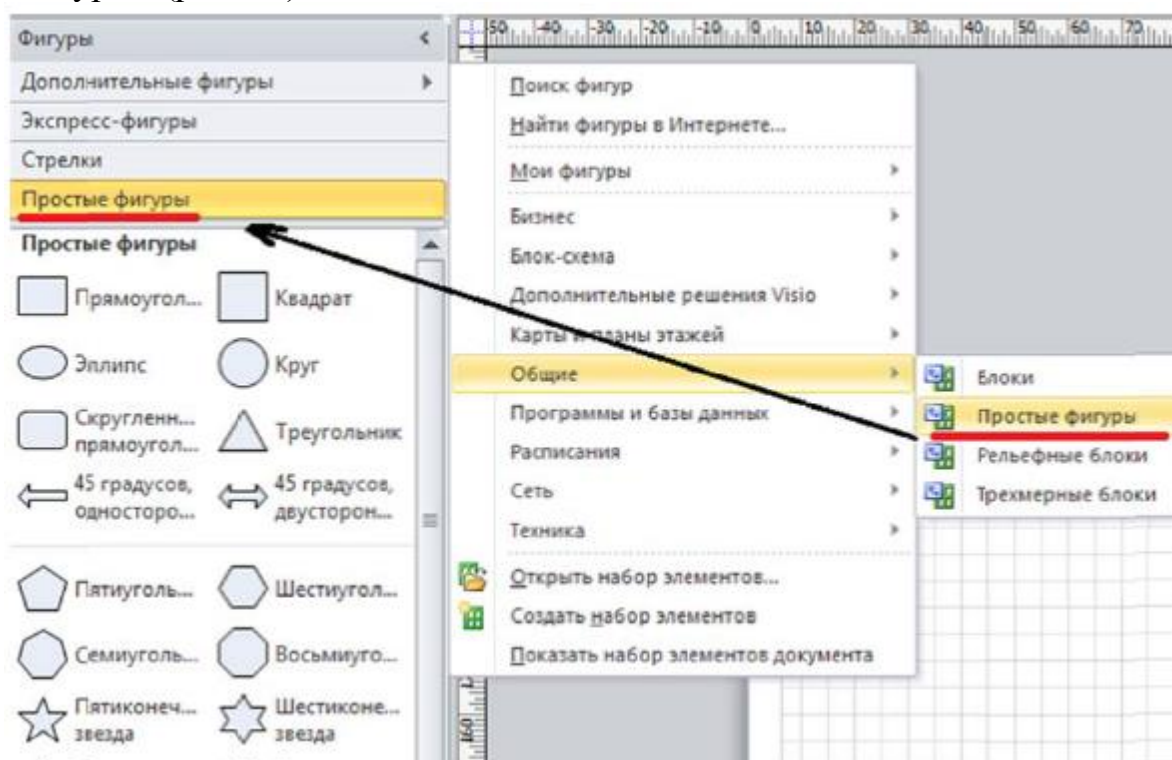


Рисунок 37 – Меню дополнительных фигур

После выбора типа выбранный тип появится в меню слева. Выбор нужной фигуры из меню осуществляется перетаскиванием фигуры из меню в левой части в рабочую зону.

2. Разработка чертежа

Структурная схема вычерчивается на листе формата А4 с рамкой и основной надписью (рис. 38).

185							
				ФЮРА.421000.009 С1			
				Паровой котел ТПП-312			
Разраб.	Иванов В.В.		3.09	Система теплотехнического контроля	Станд	Лист	Листов
Проб.	Сергеев П.С.		7.09		ТРП	1	1
				Схема структурная	ТПУ ЭНИИ 5БМ43		

Рисунок 38 – Основная надпись чертежа

Размеры основной надписи 55×185 мм. Высота строк основной надписи – 5 мм.

Для выполнения рамки используется инструмент «Линия» вкладки «Главная». Толщина линии должна составлять 1 мм. Отступ от левого края должен быть 2 см, от верхнего, нижнего и правого – 0,5 см. Разметка для основной надписи также выполняется с помощью инструмента «Линия». Чертеж должен выглядеть таким образом как показано на рис. 39.

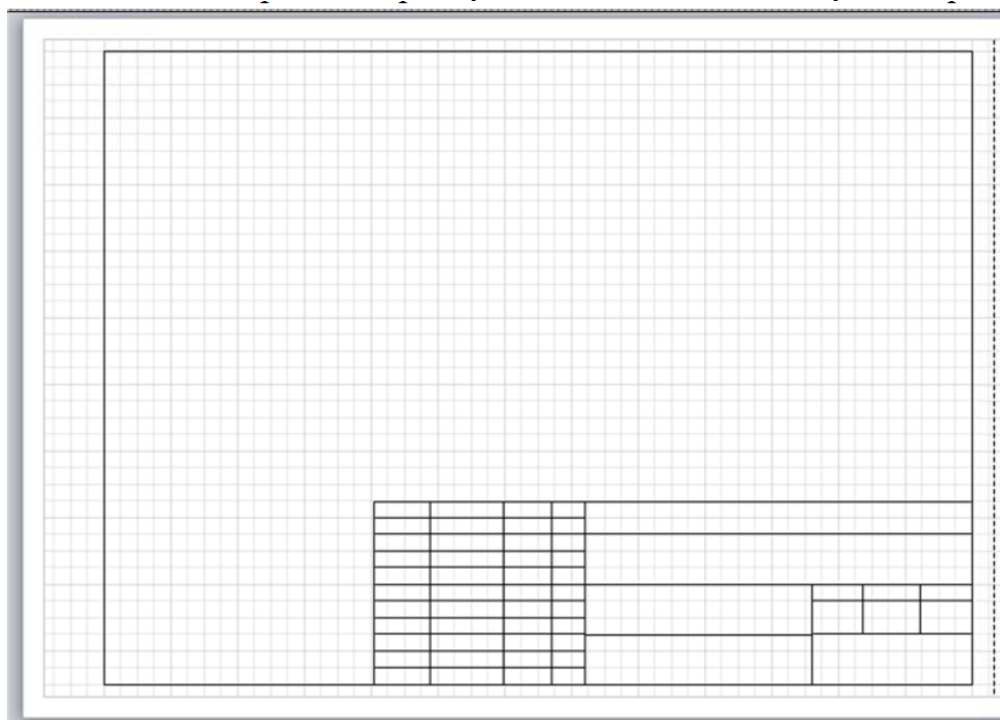


Рисунок 39 – Рамка чертежа

Создание основной надписи осуществляется с помощью инструмента «Прямоугольник». После добавления прямоугольника в поле чертежа, выделите его и впишите текст надписи, после этого необходимо отредактировать свойства объекта. Параметры линии: *Формат* → *Линия*, тип

Варианты заданий

№ варианта	Заданная АСР
1	АСР питания барабанного парового котла
2	АСР давления в ПНД
3	АСР давления в деаэраторе
4	АСР уровня в деаэраторе
5	АСР температуры сетевой воды
6	АСР уровня в конденсаторе
7	АСР температуры пара после РОУ
8	АСР давления пара после РОУ
9	АСР уровня воды в парогенераторе
10	АСР уровня в ПНД

Содержание отчета

- 1) Цель работы;
- 2) Описание работы системы регулирования;
- 3) Описание работы измерительных каналов;
- 4) Порядок выполнения работы;
- 5) Чертеж структурной схемы на формате А4.

Учебное издание

СОСТАВИТЕЛИ:

АТРОШЕНКО Юлиана Константиновна

ВЕРШИНИНА Ксения Юрьевна

**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛО-
ВЫМИ УСТАНОВКАМИ**
Сборник лабораторных работ

Методическое пособие