

# ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
"МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ»

СОГЛАСОВАНО:

Выпускающей кафедрой  
«Железнодорожная автоматика, телемеханика и связь»

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ А.В. Горелик  
(подпись, Ф.И.О.)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор - директор Российской -  
открытой академии транспорта

\_\_\_\_\_ В.И. Апатцев  
(подпись, Ф.И.О.)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

Кафедра: «Железнодорожная автоматика, телемеханика и связь»  
(название кафедры)

Авторы: Орлов А.В., к.т.н, доц.  
(ф.и.о., ученая степень, ученое звание)

## ЗАДАНИЕ НА КУРСОВОЙ ПРОЕКТ С МЕТОДИЧЕСКИМИ УКАЗАНИЯМИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ

«Теоретические основы автоматике, телемеханики и связи»

(название дисциплины)

Направление/специальность: **190901.65. Системы обеспечения движения поездов**  
(код, наименование специальности /направления)

Профиль/специализация: «Энергоснабжение железных дорог», «Автоматика и телемеханика на железнодорожном транспорте», «Телекоммуникационные системы и сети железнодорожного транспорта»

Квалификация (степень) выпускника: **специалист**

Форма обучения: **заочная**

Одобрена на заседании Учебно-методической комиссии РОАТ Протокол № _____ « ____ » _____ 20 ____ г Председатель УМК _____ (подпись, Ф.И.О.)	Одобрена на заседании кафедры «Железнодорожная автоматика, телемеханика и связь» Протокол № _____ « ____ » _____ 20 ____ г. Зав. кафедрой _____ А.В. Горелик (подпись, Ф.И.О.)
---	--

Москва 2014 г.

## ЗАДАНИЕ НА КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

Название проекта: «Синтез и исследование системы автоматического регулирования параметров технологического процесса с передачей информации о его параметрах по телемеханическому каналу связи»

В процессе выполнения задания студенту необходимо:

1. Разработать устройства организации телемеханического канала связи между пунктом управления и объектом управления, осуществить их настройку и исследовать их характеристики. Для этого:
  - синтезировать структурные схемы кодирующего и декодирующего устройства для передачи сообщений по телемеханическому каналу в заданном помехозащищенном коде;
  - разработать модели канала связи с возможностью имитации ошибок при передаче данных, а также анализатора, для оценки достоверности передачи данных при наличии ошибок;
  - рассчитать корректирующие способности заданного помехозащитного кода и оценить достоверность передачи данных при известной вероятности одиночных искажений символов.
2. Для объекта управления с заданными характеристиками разработать структурную схему системы автоматического регулирования замкнутого типа, осуществить её настройку и анализ качества регулирования. Для этого:
  - по кривой разгона определить характеристики объекта управления;
  - выбрать тип регулятора и настроить его параметры для обеспечения заданных показателей качества переходного процесса, снять и проанализировать характеристики процесса регулирования.
3. Синтезировать модель передачи уставок параметров технологического процесса по заданной программе и получить график процесса регулирования при отсутствии искажений в канале связи;
4. Сформировать перечень технических характеристик разработанной системы.
5. Сформулировать выводы по работе.

Исходные данные для выполнения курсового проекта:

- количество передаваемых уставок по телемеханическому каналу связи – 16
- в случае обнаружения ошибок в принимаемом сообщении должна использоваться уставка с десятичным номером «0»;
- используемый для передачи сообщений помехозащитный код, а также режим работы декодирующего устройства определяются из таблицы 1 по предпоследней и последней цифре шифра студента (самой правой) соответственно

Таблица 1

Предпоследняя цифра шифра	Помехозащитный код	Последняя цифра шифра	Режим работы
0	Инверсный код	0	Обнаружение ошибок
1	Инверсный код	1	Обнаружение и исправление ошибок
2	Модифицированный код Бауэра	2	Обнаружение ошибок
3	Модифицированный код Бауэра	3	Обнаружение и исправление ошибок
4	Код Хемминга	4	Обнаружение ошибок
5	Код Хемминга	5	Обнаружение и исправление ошибок
6	Модифицированный код Хемминга	6	Обнаружение ошибок
7	Модифицированный код Хемминга	7	Обнаружение и исправление ошибок
8	Модифицированный код Бауэра	8	Обнаружение ошибок
9	Модифицированный код Хемминга	9	Обнаружение и исправление ошибок

– вероятности искажения одиночных символов в канале связи определяются младшим символом суммы предпоследней и последней цифр шифра студента из таблицы 2

Таблица 2

Младший символ суммы предпоследней и последней цифр шифра	Вероятность искажения символа
0	0.01
1	0.05
2	0.03
3	0.07
4	0.04
5	0.02
6	0.09
7	0.06
8	0.08
9	0.1

– характеристики каждого из используемых помехозащитных кодов для проведения расчетов приведены в таблице 3

Таблица 3

Помехозащитный код	Количество различных сообщений	Общее количество символов в сообщении	Минимальное кодовое расстояние
Инверсный код	16	8	4
Модифицированный код Бауэра	16	8	4
Код Хемминга	16	7	3
Модифицированный код Хемминга	16	8	4

– время моделирования для всех вариантов равно 12.8 сек, максимальный шаг моделирования равен 0.01 сек.

– программа изменения уставок заданного параметра технологического процесса с шагом 0.1 сек представлена в таблице 4 вектором данных и определяется младшим символом произведения предпоследней и последней цифр шифра студента (вектор программы должен начинаться выполняться левым символом, а заканчиваться – правым символом программы).

Таблица 4

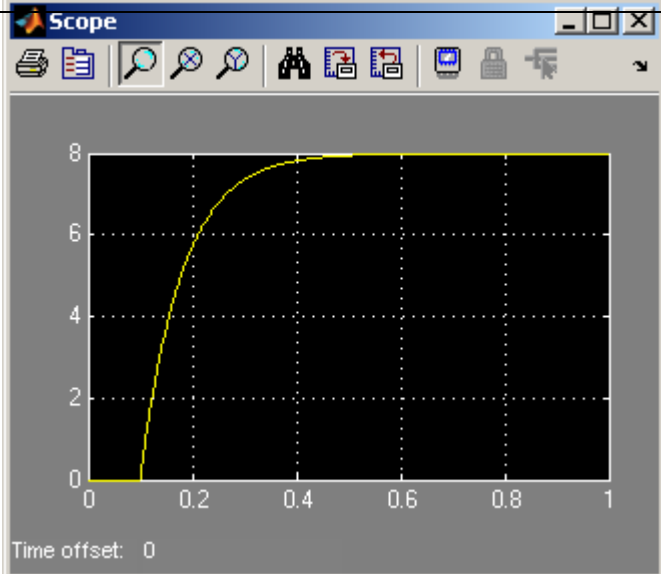
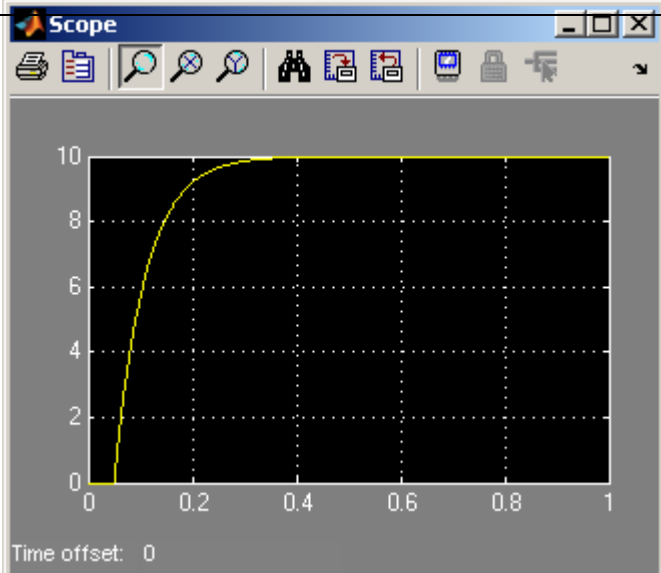
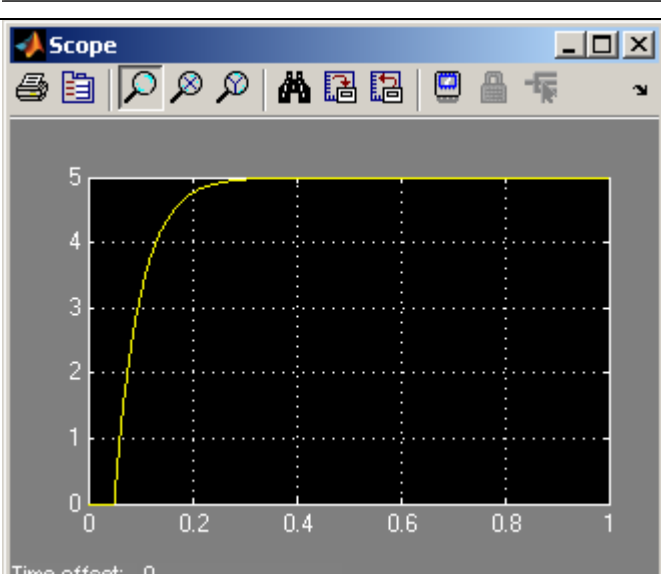
Младший символ произведения предпоследней и последней цифр шифра	Программа изменения уставок
0	[1111222255588]
1	[3331122223333]
2	[4444442222211]
3	[2211122222111]
4	[555553333222]
5	[6666677333333]
6	[9999977773333]
7	[7777776666655]
8	[8888884499999]
9	[222222333322]

– тип регулятора определяется в зависимости от четности последней цифры шифра студента: ПИ – нечетная, ПИД – четная.

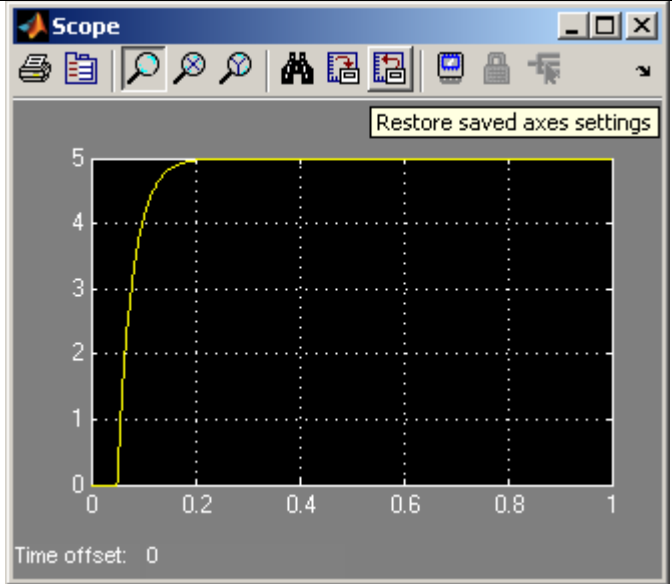
– типовой переходной процесс в зависимости от четности предпоследней цифры: с 20% перерегулированием – нечетная, с минимумом средней квадратичной ошибки – четная.

– кривая разгона объекта регулирования определяется младшим символом произведения предпоследней и последней цифр шифра студента из таблицы 5.

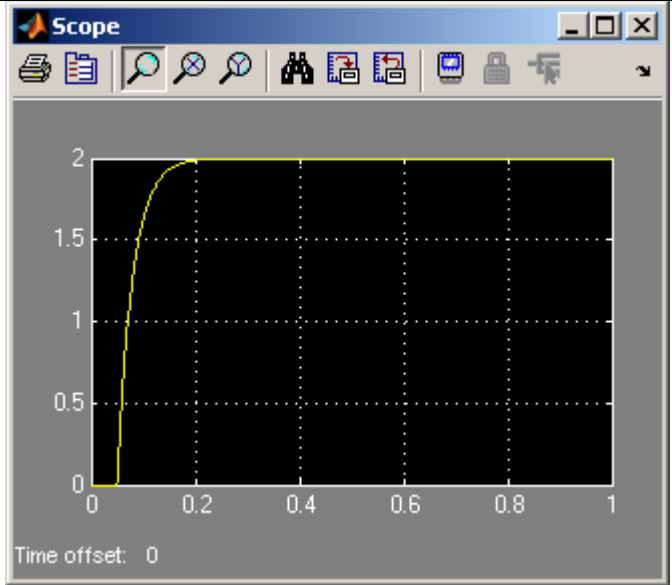
Таблица 5

<p>Младший символ произведения предпоследней и последней цифр шифра</p>	<p>Кривая разгона</p>
<p>0</p>	 <p>Scope window showing a curve starting at (0,0) and rising to a value of 8 at time 1. The y-axis ranges from 0 to 8, and the x-axis ranges from 0 to 1. The curve is concave down, reaching 8 at approximately t=0.4. Time offset: 0</p>
<p>1</p>	 <p>Scope window showing a curve starting at (0,0) and rising to a value of 10 at time 1. The y-axis ranges from 0 to 10, and the x-axis ranges from 0 to 1. The curve is concave down, reaching 10 at approximately t=0.35. Time offset: 0</p>
<p>2</p>	 <p>Scope window showing a curve starting at (0,0) and rising to a value of 5 at time 1. The y-axis ranges from 0 to 5, and the x-axis ranges from 0 to 1. The curve is concave down, reaching 5 at approximately t=0.3. Time offset: 0</p>

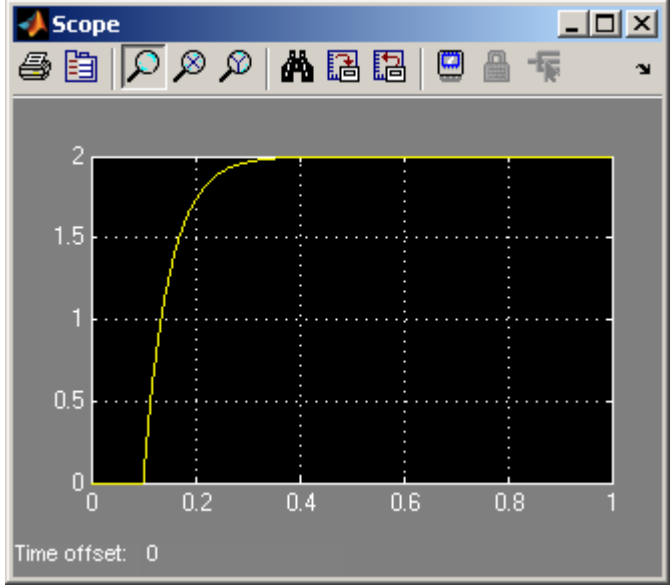
3



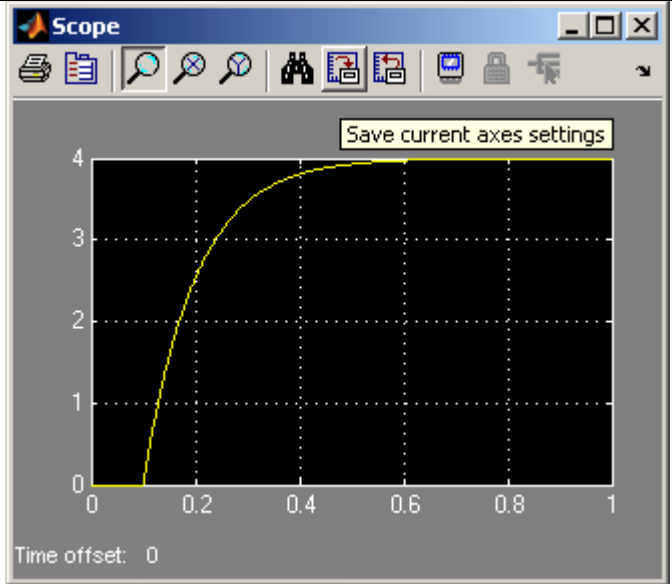
4



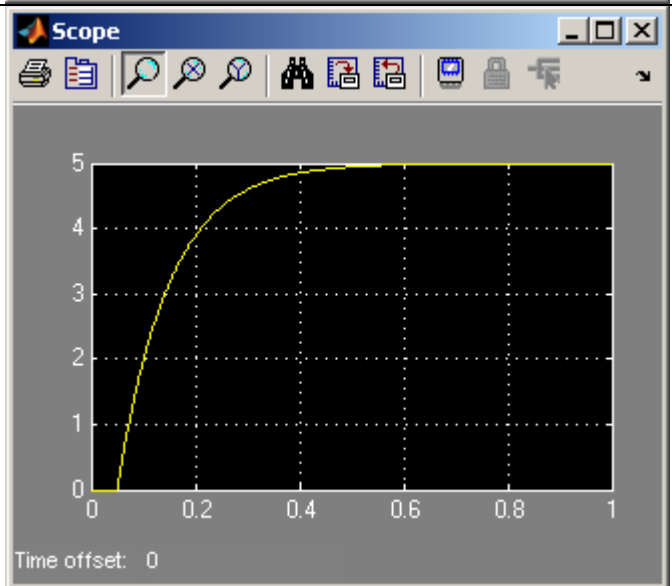
5



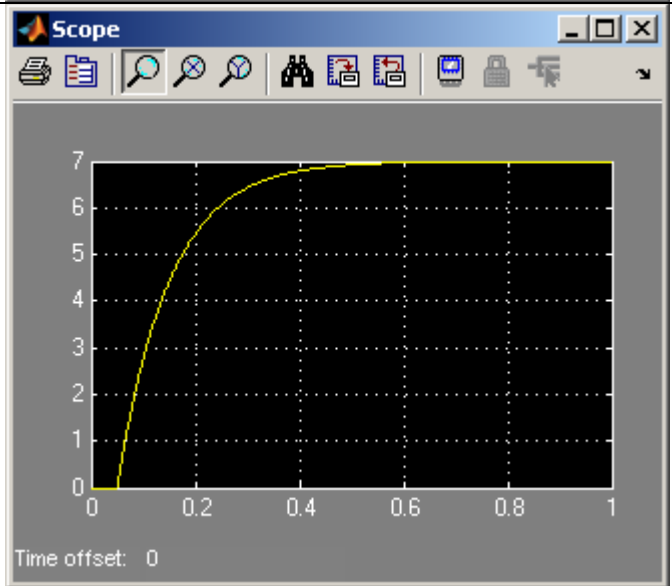
6

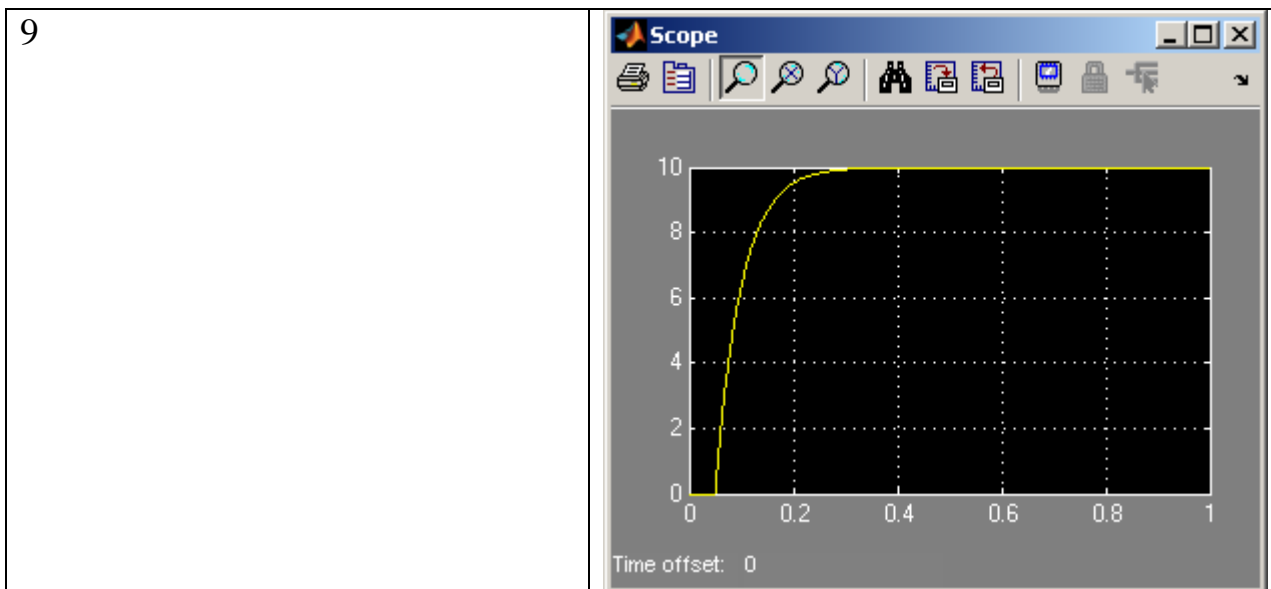


7



8





– закон изменения возмущения во времени определяется предпоследней цифрой шифра студента из таблицы 6

Таблица 6

Предпоследняя цифра шифра	Закон изменения и его параметры
0	Синусоида с амплитудой 2, фазой 0 и периодом 0.5
1	Однополярные прямоугольные импульсы с амплитудой 3 и периодом 0.5
2	Линейно возрастающий сигнал с коэффициентом наклона линии 0.5
3	Линейно убывающий сигнал с коэффициентом наклона линии -0.5
4	Ступенчатое воздействие амплитудой 2 в возникающее момент времени 6 сек
5	Ступенчатое воздействие амплитудой 4 в исчезающее момент времени 6 сек
6	Синусоида с амплитудой 3, фазой 0 и периодом 0.25
7	Однополярные прямоугольные импульсы с амплитудой 1 и периодом 0.25
8	Линейно возрастающий сигнал с коэффициентом наклона линии 1
9	Синусоида с амплитудой 1, фазой 0 и периодом 0.25

Сведения о параметрах настроек регуляторов приведены в таблице 7



Таблица 7

Тип регулятора	Типовой переходный процесс		
	Апериодический	С 20% перерегулированием	$\min \int \Delta y^2 dt$ (с 40% перерегулированием)
И	$K_p = \frac{1}{4.5 \cdot K_o \cdot T_o}$	$K_p = \frac{1}{1.7 \cdot K_o \cdot T_o}$	$K_p = \frac{1}{1.7 \cdot K_o \cdot \tau_o}$
П	$K_p = \frac{0.3 \cdot T_o}{K_o \cdot \tau_o}$	$K_p = \frac{0.7 \cdot T_o}{K_o \cdot \tau_o}$	$K_p = \frac{0.9 \cdot T_o}{K_o \cdot \tau_o}$
ПИ	$K_p = \frac{0.6 \cdot T_o}{K_o \cdot \tau_o}$ $T_{up} = 0.6 \cdot T_o$	$K_p = \frac{0.7 \cdot T_o}{K_o \cdot \tau_o}$ $T_{up} = 0.7 \cdot T_o$	$K_p = \frac{1.0 \cdot T_o}{K_o \cdot \tau_o}$ $T_{up} = T_o$
ПИД	$K_p = \frac{0.95 \cdot T_o}{K_o \cdot \tau_o}$ $T_{up} = 2.4 \cdot \tau_o$ $T_{np} = 0.4 \cdot \tau_o$	$K_p = \frac{1.2 \cdot T_o}{K_o \cdot \tau_o}$ $T_{up} = 2.0 \cdot \tau_o$ $T_{np} = 0.4 \cdot \tau_o$	$K_p = \frac{1.4 \cdot T_o}{K_o \cdot \tau_o}$ $T_{up} = 1.3 \cdot \tau_o$ $T_{np} = 0.5 \cdot \tau_o$

В таблице:  $K_p$  – статический коэффициент передачи регулятора;

$T_{up}$ ,  $T_{np}$  – время издрома и предварения регулятора соответственно;

$K_o$ ,  $\tau_o$ ,  $T_o$  – статический коэффициент передачи, замедление отклика и постоянная времени объекта регулирования соответственно.

## ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ

Цель курсового проекта – закрепление знаний, полученных студентом при самостоятельном изучении дисциплины, получение навыков анализа и синтеза сложных технических объектов, а также оформления результатов экспериментов и отчетов.

Для успешного выполнения курсового проекта студент должен иметь представление о составе, назначении, принципах действия основных элементов и узлов телемеханических систем автоматического управления, методах их проектирования и анализа, уметь производить кодирование и декодирование телемеханической информации с использованием различных видов помехозащитных кодов, знать принципы построения кодеров и декодеров.

Прежде чем приступить к выполнению курсового проекта студент должен изучить соответствующие разделы основной литературы [1, 2].

Пояснительная записка должна быть напечатана на одной стороне листов формата А4. Необходимые чертежи, не требующие распечатки, выполняются карандашом на белой бумаге аналогичного формата. Все листы записки, в том числе, чертежи и таблицы, должны быть сброшюрованы и иметь сквозную нумерацию, указанную в правом верхнем углу каждого листа. Для Замечаний рецензента следует оставлять левое поле шириной 4 см. Остальные поля составляют: верхнее и нижнее – 2 см, правое 1.5 см. Исправления по замечаниям рецензента осуществляют на чистой стороне предыдущего листа напротив соответствующих замечаний. Если исправления на замечания не помещаются на странице, то они должны быть оформлены в виде отдельного раздела «Работа над ошибками», который размещается в конце основной пояснительной записки.

Пояснительная записка должна содержать оглавление, задание и исходные данные по варианту, краткие пояснения к методике решения каждого задания с приложением необходимых чертежей и таблиц. Чертеж должен вставляться в пояснительную записку после той страницы, на которой имеется первая ссылка на него. Пояснения и выводы по выполненной студентом работе должны быть краткими, исчерпывающими и разборчивыми для чтения. В конце пояснительной записки следует привести список использованной при выполнении проекта литературы.

В качестве среды моделирования рекомендуется использовать Simulink в пакете Matlab Systems, либо иную среду с аналогичными функциональными возможностями.

Выполненный курсовой проект должен быть предоставлен преподавателю на рецензию. После рецензирования курсового проекта рецензентом и устранения замечаний по нему, студент в установленные сроки должен осуществить защиту курсового проекта.

## УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

1. Шалягин Д.В., Цыбуля Н.А., Косенко С.С. и др. Устройства автоматики, телемеханики и связи: Учеб. для вузов ж.-д. трансп.; в 2 ч. – М.: Маршрут, 2006
2. Шалягин Д.В., Цыбуля Н.А., Боровков Ю.Г. Автоматика, телемеханика и связь: Уч. пос. Ч.1. Автоматика и телемеханика. – М.:РГОТУПС, 2003.
3. Сапожников В.В., Кравцов Ю.А., Сапожников Вл.В. Теория дискретных устройств железнодорожной автоматики, телемеханики и связи: Учеб. для вузов ж.-д. трансп. – М.: Транспорт, 2001.
4. Сапожников В.В., Кравцов Ю.А., Сапожников Вл.В. Теоретические основы железнодорожной автоматики и телемеханики: Учеб. для вузов ж.-д. трансп. – М.: Транспорт, 1995
5. Инструкция: Типы регуляторов. Методика настройки регуляторов. КП Микрол – Ивано-Франковск: 2011.

## 6. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К КУРСОВОМУ ПРОЕКТУ

# ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

## федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ»

СОГЛАСОВАНО:

Выпускающей кафедрой  
«Железнодорожная автоматика, телемеханика и связь»

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ А.В. Горелик  
(подпись, Ф.И.О.)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор - директор Российской -  
открытой академии транспорта

\_\_\_\_\_ В.И. Апатцев  
(подпись, Ф.И.О.)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

Кафедра: «Железнодорожная автоматика, телемеханика и связь»  
(название кафедры)

Авторы: Орлов А.В., к.т.н, доц.  
(ф.и.о., ученая степень, ученое звание)

### ЗАДАНИЯ НА ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ С МЕТОДИЧЕСКИМИ УКАЗАНИЯМИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ

«Теоретические основы автоматики, телемеханики и связи»

(название дисциплины)

Направление/специальность: **190901.65. Системы обеспечения движения поездов**  
(код, наименование специальности /направления)

Профиль/специализация: «Энергоснабжение железных дорог», «Автоматика и телемеханика на железнодорожном транспорте», «Телекоммуникационные системы и сети железнодорожного транспорта»

Квалификация (степень) выпускника: **специалист**

Форма обучения: **заочная**

Одобрена на заседании Учебно-методической комиссии РОАТ Протокол № _____ « ____ » _____ 20 ____ г Председатель УМК _____ (подпись, Ф.И.О.)	Одобрена на заседании кафедры «Железнодорожная автоматика, телемеханика и связь» Протокол № _____ « ____ » _____ 20 ____ г. Зав. кафедрой _____ А.В. Горелик (подпись, Ф.И.О.)
---	--

Москва 2014 г.

## Лабораторная работа №1

Название: «Разработка и настройка системы автоматического регулирования с типовым регулятором»

Цель работы: получение навыков формализации объекта регулирования и экспериментальной оценки его параметров, обучение инженерным методам настройки типовых регуляторов для обеспечения заданных показателей качества регулирования и методам оценки достигнутых показателей качества работы системы автоматического регулирования с типовым регулятором.

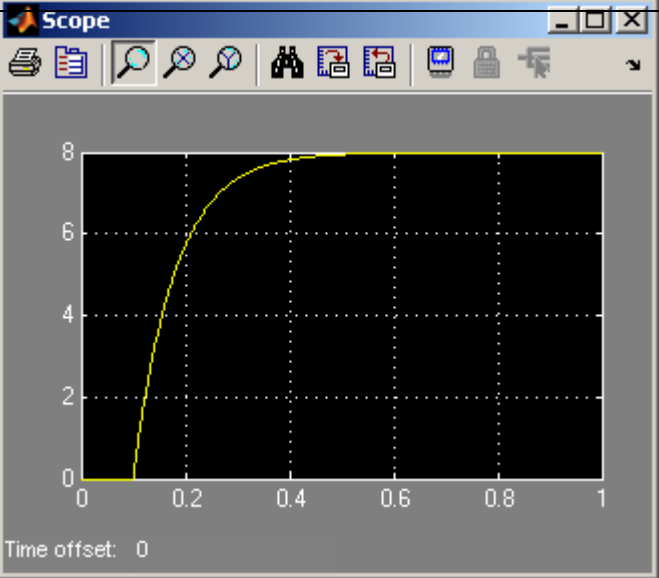
### 1. Задание

Разработать систему автоматического регулирования с заданным типовым регулятором для объекта регулирования, функционирование которого описывается разгонной характеристикой.

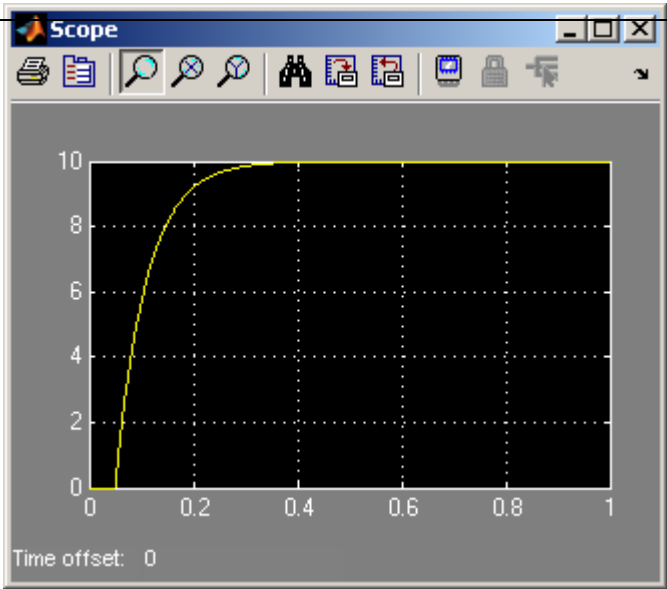
Исходные данные:

а) Разгонная характеристика объекта регулирования для различных вариантов задания приведена в таблице 1. При выполнении задания считать ступенчатое воздействие единичным.

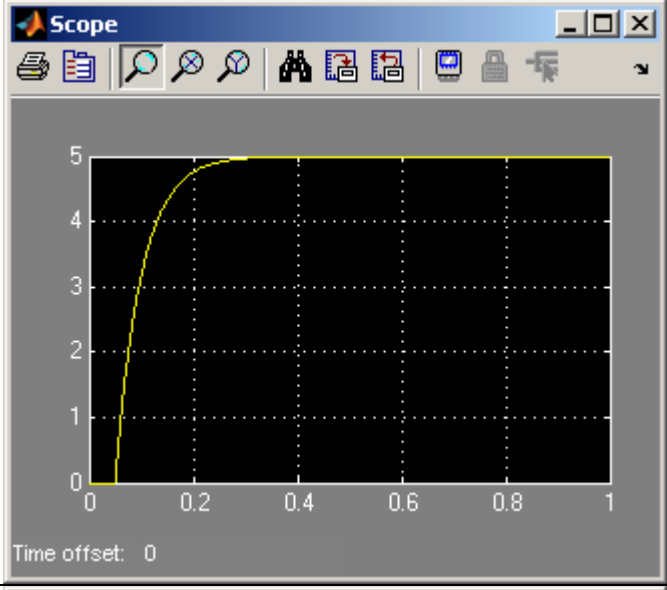
Таблица 1

Младший символ даты рождения (числа в месяце)	Кривая разгона
0	

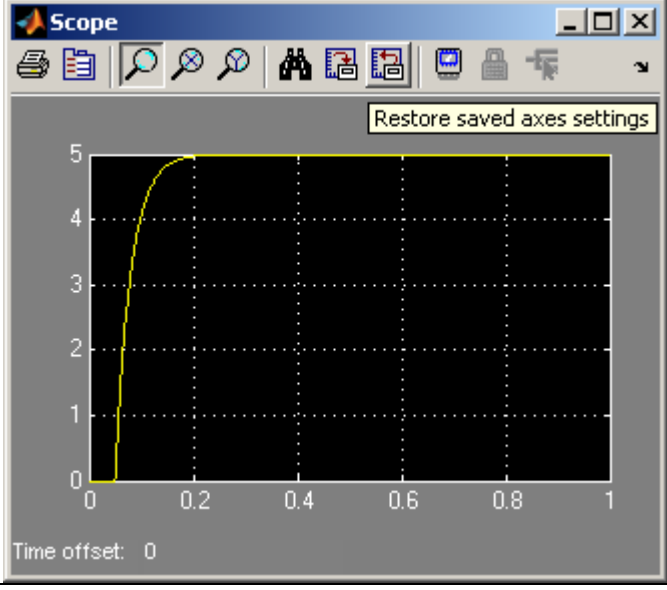
1

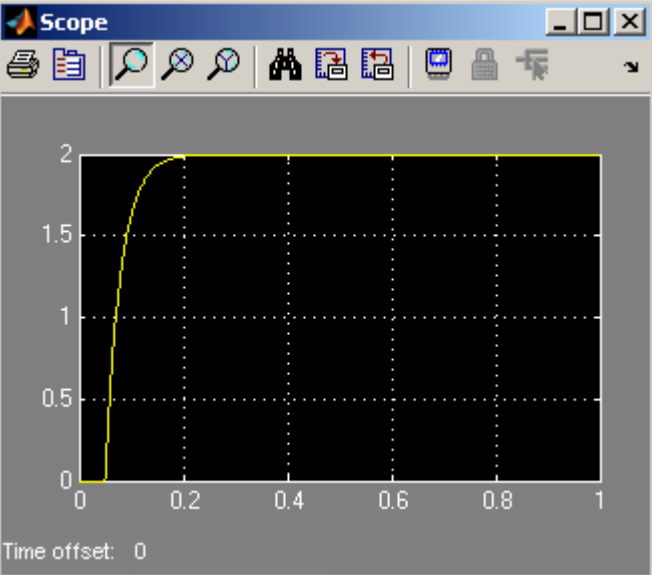
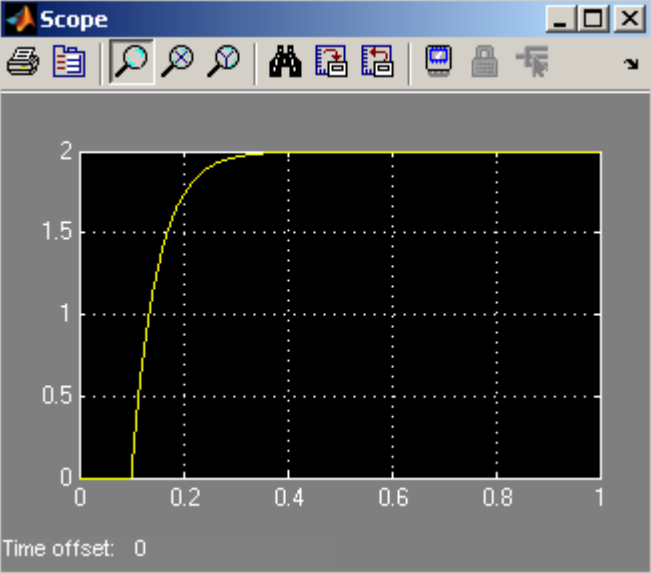
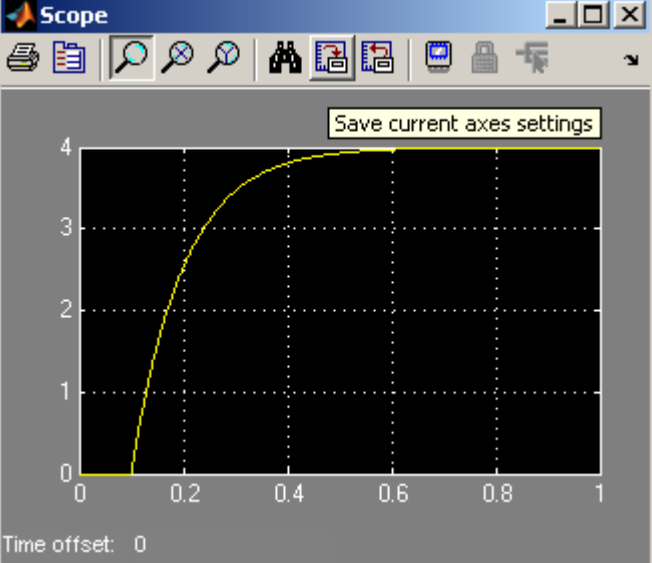


2

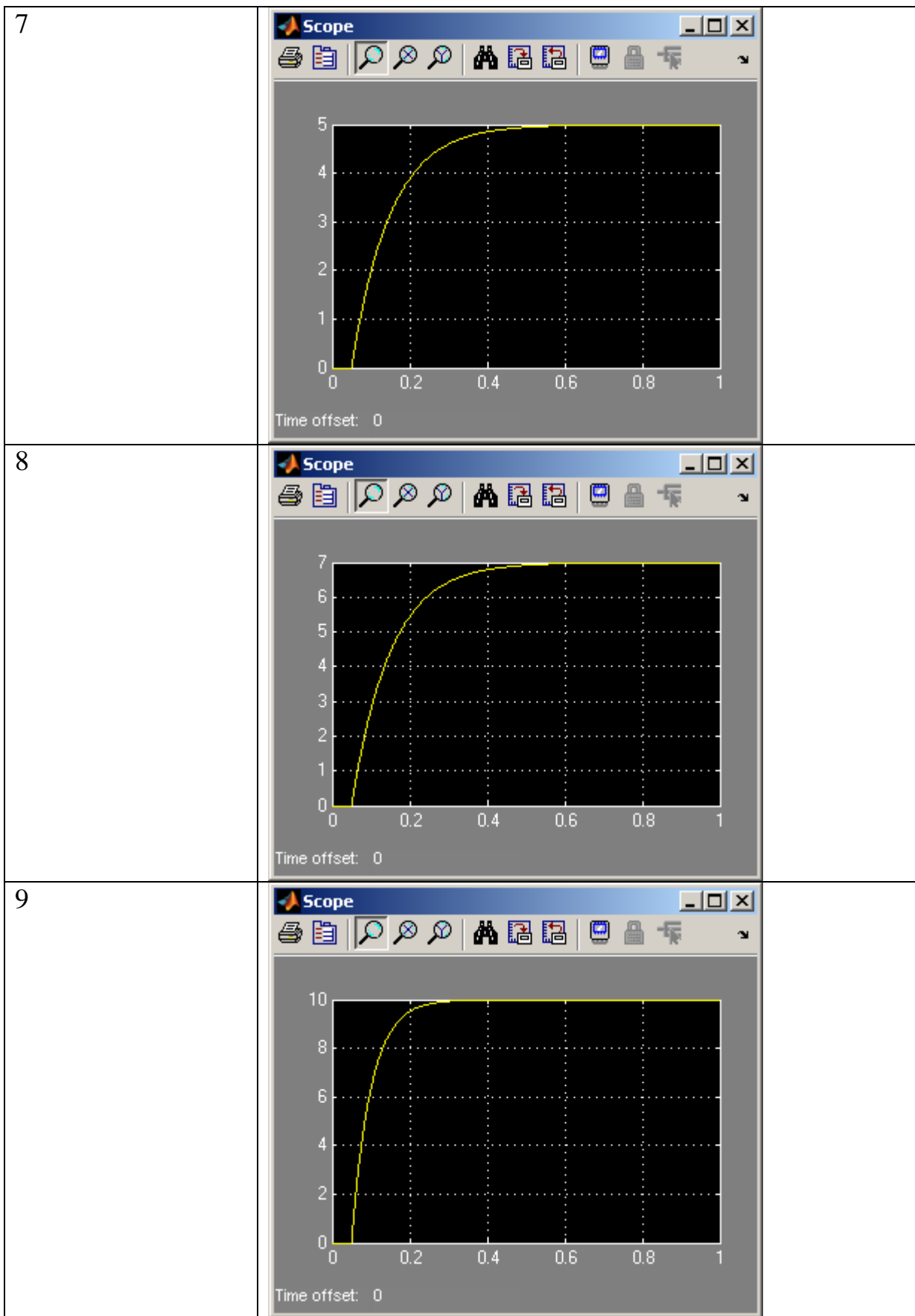


3



4	 <p>Scope window showing a yellow curve. The y-axis ranges from 0 to 2, and the x-axis ranges from 0 to 1. The curve starts at (0,0), rises steeply to reach a value of 2 at x=0.2, and then remains constant at 2 until x=1. The text "Time offset: 0" is visible at the bottom of the plot area.</p>
5	 <p>Scope window showing a yellow curve. The y-axis ranges from 0 to 2, and the x-axis ranges from 0 to 1. The curve starts at (0,0), rises to reach a value of 2 at x=0.4, and then remains constant at 2 until x=1. The text "Time offset: 0" is visible at the bottom of the plot area.</p>
6	 <p>Scope window showing a yellow curve. The y-axis ranges from 0 to 4, and the x-axis ranges from 0 to 1. The curve starts at (0,0), rises to reach a value of 4 at x=0.6, and then remains constant at 4 until x=1. A button labeled "Save current axes settings" is located at the top right of the plot area. The text "Time offset: 0" is visible at the bottom of the plot area.</p>





б) значение постоянной во времени уставки приведено в таблице 2

Младший символ месяца рождения	Уставка
-----------------------------------	---------

(числа в месяце)	
0	5
1	10
2	8
3	9
4	7
5	3
6	6
7	12
8	4
9	11

в) Требуемый типовой переходной процесс указан в таблице 3

Младший символ шифра (справа)	символ (число)	Типовой переходной процесс
0		Апериодический
1		С минимумом интегрального критерия качества
2		С 20% перерегулированием
3		Апериодический
4		С минимумом интегрального критерия качества
5		С 20% перерегулированием
6		Апериодический
7		С минимумом интегрального критерия качества
8		С 20% перерегулированием
9		Апериодический

Выполнение лабораторной работы следует начать с изучения теоретической части методических указаний. После освоения теоретического материала, студент может переходить к экспериментальной части работы. На всех этапах выполнения лабораторной работы параллельно ведется письменный отчет. Письменный отчет может оформляться в ученической тетради, либо на листах формата А4 рукописным или печатным способом.

Содержание письменного отчета:

1. Номер лабораторной работы.
2. Название лабораторной работы.
3. Цель лабораторной работы.
4. Краткие теоретические сведения.
5. Экспериментальная часть.
6. Выводы по работе.

Теоретические сведения в отчете должны представлять собой краткий конспект с наиболее важными понятиями, определениями, формулами и моделями.

Экспериментальная часть должна оформляться в соответствии с планом экспериментальной части работы и в обязательном порядке включает в себя описания разрабатываемых в процессе выполнения работы экспериментальных установок, модели и графики, результаты измерений и расчеты, необходимые комментарии.

План экспериментальной части работы:

1. Выбор типа модели объекта регулирования на основе разгонной характеристики и оценка её параметров.
2. Выбор типа автоматического непрерывного регулятора.
3. Расчет параметров регулятора табличным методом.
4. Синтез модели системы автоматического регулирования с типовым регулятором в среде Matlab System (или иной, аналогичной среде).
5. Получение переходных характеристик системы автоматического регулирования.
6. Оценка достигнутых показателей качества и, при необходимости, ручная подстройка параметров типового регулятора.
7. Оценка достигнутых показателей качества при использовании другого типового регулятора.
8. Выводы по проделанной работе.

## **1. Методические указания по выполнению лабораторной работы**

### **Теоретические сведения**

#### Общие понятия и определения

Системой автоматического регулирования (сокращенно САР) называют такую систему, которая может поддерживать неизменное значение заданной характеристики технологического процесса (скорости движения, температуры, влажности, положения в пространстве и проч.) или изменять его по определенной программе без участия человека, то есть автоматически. Обеспечение заданных характеристик технологического процесса в некотором объекте обеспечивается путем регулирования его состояния.

Обобщенная структура системы автоматического регулирования замкнутого типа представлена на рисунке 1. Она представляет собой взаимодействующие объект регулирования (сокращенно ОР) и автоматический регулятор (Р).

Объектом регулирования называют объект, параметры которого требуется регулировать. Соответственно, устройство, которое регулирует состояние объекта регулирования, называют регулятором. Взаимодействующие между собой объект регулирования и регулятор образуют систему регулирования, а если регулятор является автоматическим, то – систему автоматического регулирования. Необходимость регулирования состояния объекта регулирования возникает как в связи с изначальным несоответствием состояния объекта требуемому в разные моменты времени, так и по причине возмущений на объект со стороны окружающей среды, вызывающих изменение его состояния.

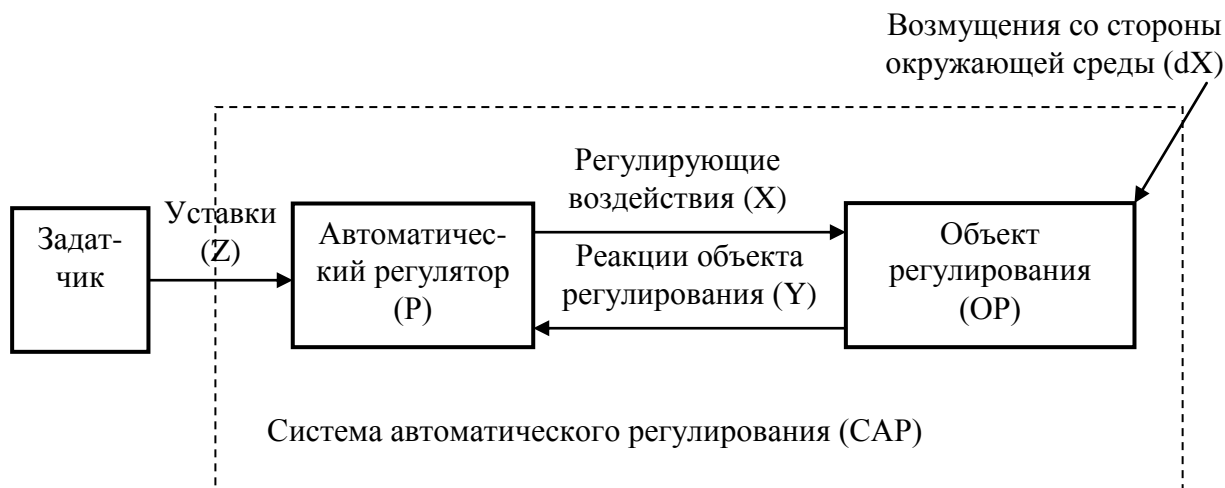


Рис. 1. Обобщенная структурная схема системы автоматического регулирования замкнутого типа

Параметр технологического процесса, значение которого требуется регулировать, называют регулируемой величиной.

Заданное (эталонное) значение регулируемого параметра  $Z$  формируется задатчиком и называется уставкой.

Регулирующие воздействия  $X$  со стороны регулятора для объекта регулирования формируются в результате сравнения значения уставки  $Z$  с реакцией объекта регулирования  $Y$ .

По сути, задача разработки системы автоматического регулирования состоит в синтезе и технической реализации автоматического регулятора, так как объект регулирования подразумевается уже существующим.

Автоматический регулятор может быть специализированным, то есть разработанным для решения какой-то узкой задачи управления, либо типовым, рассчитанным на решение широкого круга задач. Типовые регуляторы выпускаются промышленно и обеспечивают возможность реализации различных законов регулирования. На рис. 0 в качестве примера приведен микропроцессорный ПИД-регулятор марки Т-424, а в Приложении 1 приведены его основные технические характеристики.



Рис. 0

На рис. 00 приведен один из возможных вариантов использования микропроцессорного регулятора на примере автоматической линии упаковки пластиковых бутылок в термоусадочный туннель.

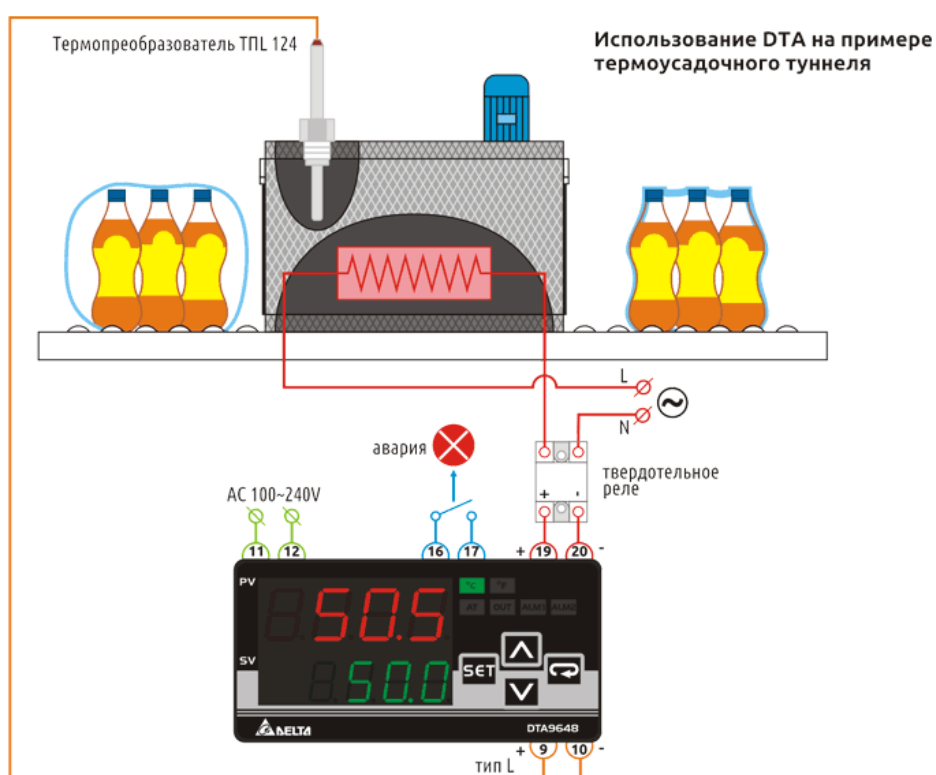


Рис.00

Как правило, при разработке системы автоматического регулирования требуется только выбрать готовый регулятор конкретного типа (либо задать у универсального соответствующий режим работы) и настроить его в соответствии с решаемыми задачами.

В данной лабораторной работе предлагается применить типовой непрерывный автоматический регулятор.

Последовательность разработки автоматического регулятора:

1. Оценка свойств и формализация объекта регулирования.
2. Предварительный подбор типа автоматического регулятора.
3. Определение требуемого типового переходного процесса.

4. Окончательный подбор типа автоматического регулятора.
5. Настройка конструктивных параметров автоматического регулятора.

#### Оценка свойств и формализация объекта регулирования

Тип и параметры автоматического регулятора определяются параметрами объекта регулирования и характеристиками требуемого переходного процесса.

Характеристики объекта регулирования на практике чаще всего находят экспериментальными методами. Одним из подходов является метод, основанный на анализе разгонной характеристики объекта регулирования.

Разгонная характеристика объекта регулирования представляет его реакцию на ступенчатое воздействие.

В зависимости от того, обладает объект регулирования свойством самовыравнивания (способностью самостоятельно приходить в состояние равновесия) или нет, его разгонная характеристика имеет разный вид. На рисунке 2 приведены графики объектов (а) с самовыравниванием и (б) – без самовыравнивания.

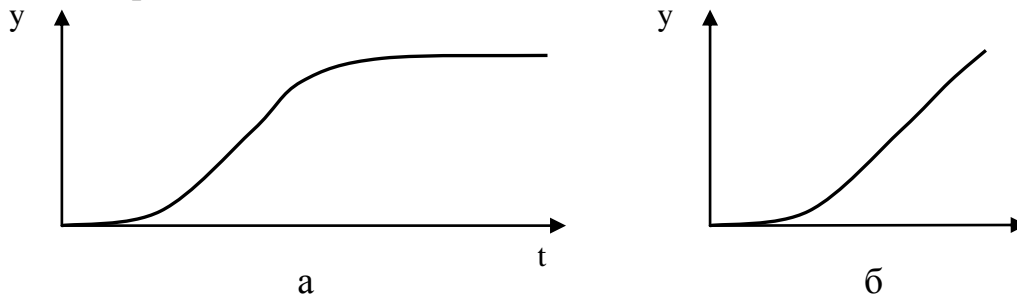


Рис. 2. Разгонные характеристики

а – объекта с самовыравниванием

б – без самовыравнивания

Как видно из графика 2а значение выходного сигнала объекта с самовыравниванием с течением времени стремится к одному значению (следовательно, объект приходит в равновесие), тогда как у объекта без самовыравнивания сигнал с течением времени непрерывно изменяется. Объект с самовыравниванием в общем случае легче регулируется, чем объект без самовыравнивания, и регулятор для объекта с самовыравниванием необходим, в первую очередь, для ускорения процесса регулирования. Объект без самовыравнивания без участия регулятора вообще не способен приходить в равновесие, так как он неустойчив.

В зависимости от вида разгонной характеристики объекта регулирования выбирают его математическую модель. Математическая модель представляет собой совокупность типовых динамических звеньев, отражающую в целом характер объекта регулирования.

Математическая модель объекта с самовыравниванием имеет вид:

$$W_{op}(p) = \frac{k \cdot e^{-\tau p}}{T \cdot p + 1}$$

Такой объект регулирования представляется последовательным соединением инерционного звена и звена чистого транспортного запаздывания (см. рис. 3).

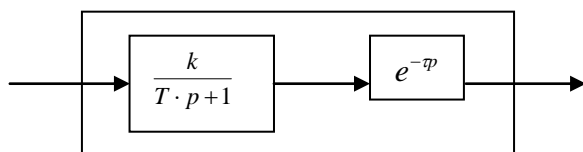


Рис. 3.

Инерционное звено моделирует изменение амплитуды пропускаемого сигнала и инерцию объекта при изменении его состояния, а звено чистого транспортного запаздывания – замедление отклика на внешние воздействия.

График разгонной характеристики такой модели схож с разгонной характеристикой реального объекта и имеет вид, представленный на рисунке 4.

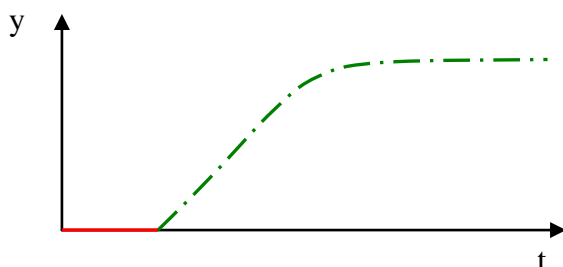


Рис. 4. Разгонная характеристика модели ОР с самовыравниванием (Красным сплошным – область характеристики, формируемая звеном чистого транспортного запаздывания, зеленым пунктиром с точкой - область характеристики, формируемая инерционным звеном)

Математическая модель объекта без самовыравнивания имеет вид:

$$W_{op}(p) = \frac{k \cdot e^{-\tau}}{p}$$

Данный объект регулирования представляется последовательным соединением интегрирующего звена и звена чистого транспортного запаздывания (см. рис. 5).

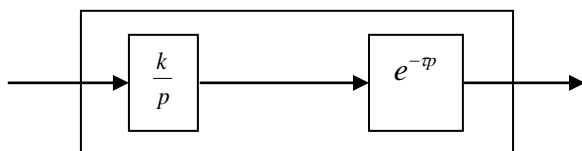


Рис. 5.

Интегрирующее звено моделирует постоянно возрастающий сигнал, а звено чистого транспортного запаздывания – замедление отклика.

Разгонная характеристика данной модели представлена на рисунке 6.

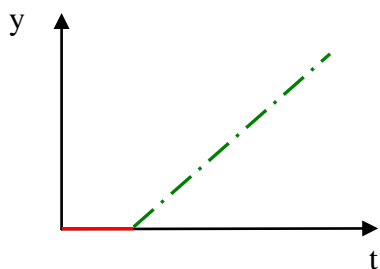


Рис. 6. Разгонная характеристика модели ОР без самовыравнивания (Красным сплошным – область характеристики, формируемая звеном чистого транспортного запаздывания, зеленым пунктиром с точкой - область характеристики, формируемая интегрирующим звеном)

После выбора модели объекта регулирования требуется определить конструктивные параметры составляющих его звеньев.

Для объекта регулирования, описываемого моделью на рис. 3. требуется оценить параметры:

$k$  - статический коэффициент передачи;

$T$  - постоянную времени;

$\tau$  - время запаздывания.

Для объекта регулирования, описываемого моделью на рис 5. следует оценить параметры:

$k$  - динамический коэффициент передачи;

$\tau$  - время запаздывания.

Искомые конструктивные параметры модели объекта регулирования определяются непосредственно из его разгонной характеристики.

Методика оценки конструктивных параметров объекта регулирования с самовыравниванием включает в себя выполнение следующих операций (см. рис.7).

- на кривой разгона в точке перегиба проводится касательная (точка перегиба обозначена точкой);

- оценивается время запаздывания, как интервал времени от начала отсчета до точки пересечения касательной с осью времени;

- по горизонтали проводится линия установившегося значения выходной величины;

- оценивается значение постоянной времени, как интервал, начинающийся от точки пересечения касательной с осью времени и заканчивающийся точкой пересечения с линией установившегося значения выходной величины;

- оценивается значение статического коэффициента передачи, как отношение выходного сигнала объекта регулирования в статическом режиме  $y_{cm}$  к входному сигналу  $x$  (если входное воздействие является единичным ступенчатым, то  $x=1$ ):

$$k = \frac{y_{cm}}{x}$$



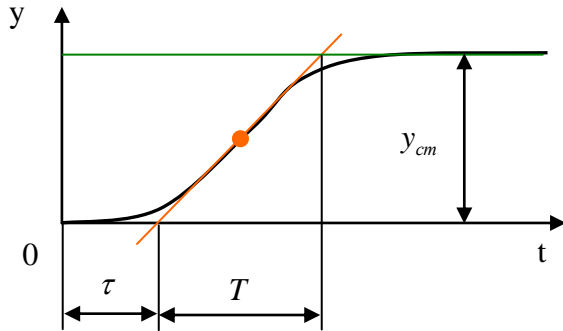


Рис. 7 Определение конструктивных параметров модели по разгонной характеристике объекта регулирования с самовыравниванием

Методика оценки конструктивных параметров объекта регулирования без самовыравнивания включает в себя выполнение следующих операций (см. рис.8).

- на кривой разгона в точке перегиба проводится касательная (точка перегиба обозначена точкой);
- оценивается время запаздывания, как интервал времени от начала отсчета до точки пересечения касательной с осью времени;
- строится прямоугольный треугольник произвольного размера с гипотенузой, образуемой касательной и катетами, параллельными осям координат, а затем оцениваются параметры  $\Delta h$  и  $\Delta t$ ;
- оценивается значение динамического коэффициента передачи как отношение удельного приращения к входному сигналу  $x$  (если входное воздействие является единичным ступенчатым, то  $x=1$ ):

$$k = \frac{\Delta h / \Delta t}{x}$$

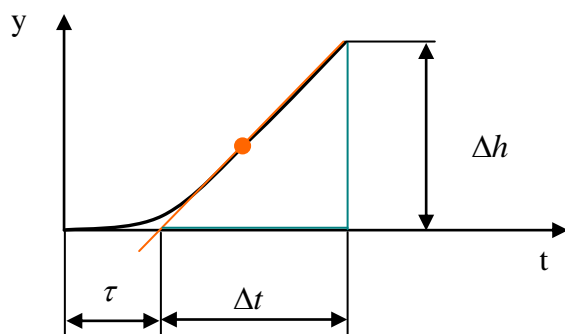


Рис. 8 Определение конструктивных параметров модели по разгонной характеристике объекта регулирования без самовыравнивания

После определения параметров модели объекта регулирования следует перейти к предварительному выбору типа регулятора

Предварительный подбор типа автоматического регулятора

Тип регулятора определяется конструкцией и параметрами объекта регулирования. Объекты без самовыравнивания являются труднорегулируемыми. Для объектов регулирования с самовыравниванием классификация их уровней регулируемости и рекомендуемые типы регуляторов приведены в таблице 1.

Таблица 1

Соотношение $\tau/T$	Соотношение $t_p/T$	Характеристика объекта регулирования		Закон регулирования и тип регулятора
[0, 0.05)	-	Без запаздывания	Очень хорошо регулируемый	Релейный, непрерывный П-, ПИ-, ПД-, ПИД- регулятор
[0.05, 0.1)	-	С малым транспортным запаздыванием	Очень хорошо регулируемый	
[0.1, 0.2)	-	С существенным транспортным запаздыванием	Хорошо регулируемый	
[0.2, 0.4)	-	С очень существенным транспортным запаздыванием	Еще регулируемый	Непрерывный или цифровой П-, ПИ-, ПД-, ПИД- регулятор
[0.4, 0.8)	-	Со значительным транспортным запаздыванием	Трудно регулируемый	
[0.8, 1)	-	С большим транспортным запаздыванием	Очень трудно регулируемый	
[1, ∞)	-	С очень большим транспортным	Очень трудно регулируемый	Цифровой регулятор с упредителем

		запаздыванием	
--	--	---------------	--

\* - релейный регулятор может быть как двух, так и многопозиционный.

После оценки свойства регулируемости объекта регулирования и предварительного подбора группы типовых регуляторов следует осуществить выбор типового переходного процесса, который должен быть обеспечен после включения объекта регулирования в контур управления разрабатываемой системы автоматического регулирования.

#### Определение требуемого типового переходного процесса

Конкретный вид переходного процесса, реализуемого разрабатываемой системой автоматического регулирования, определяется исходя из предполагаемых или фактических условий ее применения и основных требований, предъявляемых к системе при регулировании.

На практике для большинства задач может быть использован один из типовых процессов регулирования. Удобство использования типового процесса регулирования состоит в том, что для таких процессов существует множество готовых методик настройки регуляторов, не требующих сложных расчетов.

Типовыми процессами регулирования являются:

- апериодический процесс регулирования;
- переходной процесс с 20% перерегулированием;
- переходной процесс с минимумом интегрального критерия качества.

Типовые процессы регулирования могут выражаться в виде импульсной или переходной характеристики. Ниже будут приведены импульсные характеристики соответствующие различным типовым процессам регулирования.

График апериодического процесса регулирования представлен на рисунке 9.

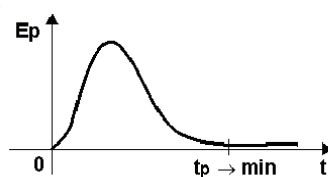


Рис. 9.

Апериодический процесс регулирования применяется в случае, если недопустимы колебания регулируемого параметра относительно установившегося значения. Например, апериодический процесс регулирования может быть использован для запуска и остановки эскалатора, так как в момент пуска и остановки на эскалаторе могут находиться люди и колебания дорожки недопустимы, либо данный процесс может применяться для запуска и остановки электродвигателя крановой установки для исключения срыва груза, для включения и отключения источника электропитания с целью исключения повреждения питаемых источником устройств от «всплесков» тока или напряжения и т.д.

Основным недостатком апериодического процесса является в общем случае большее время регулирования по сравнению с иными типовыми процессами.

График процесса с 20% перерегулированием представлен на рисунке 10.

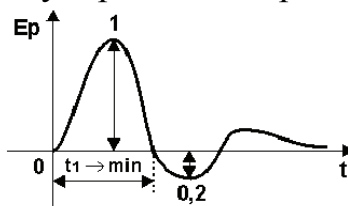


Рис. 10

Такой процесс регулирования применяется для большинства промышленных САР, так как по сравнению с апериодическим обеспечивает большее быстродействие при относительно небольшом 20% перерегулировании.

В случае, если в переходном процессе допустимо 20% превышение регулируемым параметром установившегося значения, а приоритетным является быстродействие, следует остановиться на данном типовом процессе.

График процесса с минимумом интегрального критерия качества представлен на рисунке 11.

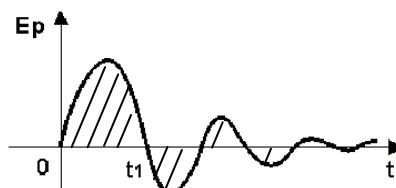


Рис. 11

Критерий качества представляет собой минимум суммарной квадратичной ошибки в переходном процессе:

$$J = \int_0^{+\infty} E_p^2(t) dt \rightarrow \min$$

Как правило, это достигается при 40% перерегулировании, поэтому данный типовой процесс часто называют типовым процессом с 40% перерегулированием.

По сравнению с иными типовыми процессами данный процесс обладает самым высоким быстродействием, однако «всплески» регулируемой величины могут достигать 40%.

В зависимости от выбранного типового процесса регулирования настройки регулятора должны быть различными.

Для регулирования одного и того же технологического процесса в общем случае могут использоваться несколько различных регуляторов, в различной мере позволяющих достичь требуемых показателей качества. Конкретный регулятор должен выбираться с учетом специфики его функционирования и целесообразности применения. Как правило, более сложные регуляторы позволяют обеспечить более высокое качество регулирования, но и их стоимость также выше по сравнению с более простыми регуляторами. Поэтому процесс выбора регулятора обычно представляет собой компромисс

между результатами и затратами. Учет специфики функционирования конкретного регулятора в общем случае позволит решить ту же задачу с наименьшими возможными затратами.

### Окончательный подбор типа регулятора

Регуляторы бывают как дискретными, так и непрерывными. Далее приводятся сведения о функционировании и настройке непрерывных регуляторов. Непрерывные регуляторы, как и объект регулирования, представляют моделями, реализованными с использованием типовых звеньев. Среди непрерывных регуляторов выделяют: П-, И-, Д-, ПИ-, ПД-, ПИД-регуляторы. Причем, П-, И-, Д- являются элементарными регуляторами, а ПИ-, ПД- и ПИД – совокупностями элементарных. Для описания законов функционирования регуляторов используют их переходные характеристики.

#### *П-регулятор (пропорциональный регулятор)*

П-регулятор представляет собой пропорциональное звено с передаточной функцией идеального усилителя:

$$W(p) = k_p$$

где  $k_p$  - коэффициент передачи регулятора.

Выходной сигнал пропорционального регулятора  $Y$ , представляющий по сути управляющее воздействие на ОР (см. рис.1), есть величина, пропорциональная текущему рассогласованию (ошибке) между фактическим выходным сигналом объекта регулирования и заданным (эталонным) значением:

$$Y(t) = Y_0 + k_p \cdot E_p(t)$$

где  $E$  - величина рассогласования на входе регулятора;

$Y_0$  – рабочая точка, значение выходного сигнала регулятора, при котором рассогласование равно нулю.

Реакция регулятора на ступенчатое воздействие имеет вид, представленный на рисунке 11.

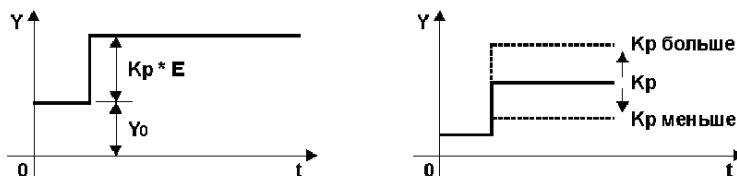


Рис.11

На рисунке показано также влияние коэффициента передачи на выходной сигнал регулятора.

#### *И-регулятор (интегральный регулятор)*

И-регулятор представляет собой интегрирующее звено с передаточной функцией:

$$W(p) = \frac{k_p}{p}$$

Выходной сигнал интегрального регулятора  $Y$ , представляющий по сути управляющее воздействие на ОР (см. рис.1), есть величина, пропорциональная интегралу рассогласования (ошибки) между фактическим выходным сигналом объекта регулирования и заданным (эталонным).

$$Y(t) = Y_0 + \frac{1}{T_{II}} \cdot \int_0^t E_p(t) dt$$

$T_{II}$  - время интегрирования.

Физический смысл времени интегрирования  $T_{II}$  состоит в том, что это интервал времени, в течение которого изменение выходного сигнала регулятора под действием интегральной составляющей станет равно величине входного ступенчатого воздействия.

Отличительной особенностью интегрального регулятора является возможность постепенного накопления (в результате интегрирования (бесконечного суммирования) во времени) даже очень маленького рассогласования, что позволяет впоследствии устранить любое рассогласование, достигнув астатизма процесса регулирования. Это бывает полезно для устранения минимальных отклонений у объектов регулирования с существенным внутренним трением. Если воздействие, формируемое пропорциональным регулятором при постоянной величине рассогласования, может оказаться недостаточным для изменения состояния такого объекта регулирования, то интегральный регулятор в результате накопления отклонения будет формировать линейно возрастающее во времени воздействие на объект регулирования до тех пор, пока тот не изменит свое состояние.

В чистом виде интегральные регуляторы, как правило, не используются.

#### *Д-регулятор (дифференциальный регулятор)*

Д-регулятор представляет собой идеальное дифференцирующее звено с передаточной функцией:

$$W(p) = k_p \cdot p$$

Выходной сигнал дифференциального регулятора  $Y$ , представляющий, по сути, управляющее воздействие на ОР (см. рис.1), есть величина, пропорциональная скорости изменения рассогласования (ошибки) между фактическим выходным сигналом объекта регулирования и заданным (эталонным):

$$Y(t) = Y_0 + T_D \cdot \frac{dE_p(t)}{dt}$$

$T_D$  - время дифференцирования.

Управляющее воздействие дифференциального регулятора представляет собой величину, пропорциональную скорости изменения ошибки. При постоянном значении ошибки управляющее воздействие отсутствует. Данный тип регулятора называют регулятором с опережением, так как он

реагирует не на саму ошибку, а на тенденцию в её изменении. Это позволяет улучшить качество регулирования вследствие того, что управляющее воздействие изменяется не при достижении рассогласования какой-либо существенной величины, а еще в процессе его роста. Отдельно данные регуляторы применяют достаточно редко, их используют в конструкциях более сложных регуляторов.

*ПИ-регулятор (пропорционально-интегральный регулятор)*

Представляет собой параллельно функционирующие пропорциональный и интегральный регуляторы.

Передаточная функция регулятора имеет вид:

$$W(p) = \frac{k_{p1}}{p} + k_{p2}$$

где  $k_{p2}$ ,  $k_{p1}$  - коэффициенты передачи пропорциональной и интегральной составляющей соответственно.

Выходной сигнал ПИ-регулятора представляет сумму сигналов П- и И-регуляторов:

$$Y(t) = Y_0 + \frac{1}{T_{II}} \cdot \int_0^t E_p(t) dt + k_{p2} \cdot E_p(t) \quad (15)$$

Реакция регулятора на ступенчатое воздействие представлена на рисунке 12.

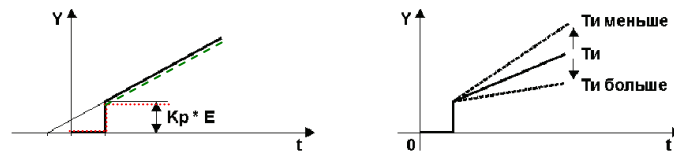


Рис.12

Красными точками обозначена пропорциональная составляющая, а зеленым пунктиром - интегральная составляющая результирующего сигнала

ПИ-регулятор как и иные составные регуляторы (ПД-, ПИД-) может быть реализован в соответствии с двумя моделями: моделью параллельной и моделью смешанной структуры. При параллельной структуре каждый элементарный регулятор реализуется независимой параллельной веткой структурной схемы. При смешанной структуре сначала задают общий коэффициент передачи регулятора, а в отдельных параллельных ветках вычисляют приведенные параметры элементарных регуляторов. Как следствие, параллельная структура регулятора в отличие от смешанной позволяет настраивать каждую из составляющих регулятора независимо.

Результаты функционирования регулятора независимо от структуры одинаковы, так как схемы равносильны.

Структурная схема регулятора при параллельном соединении элементов представлена на рисунке 13.

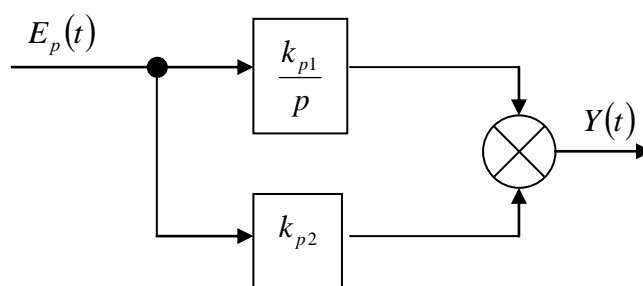


Рис. 13

Причем,  $k_{p1} = \frac{1}{T_H}$

При смешанной структуре формула (15) преобразуется с целью вынести за скобки общий коэффициент передачи регулятора:

$$Y(t) = Y_0 + \frac{1}{T_H} \cdot \int_0^t E_p(t) dt + k_{p2} \cdot E_p(t) = k_{p2} \left( E_p(t) + \frac{1}{k_{p2} \cdot T_H} \cdot \int_0^t E_p(t) dt \right) + Y_0 =$$

$$= k_p \left( E_p(t) + \frac{1}{T_{ИЗ}} \cdot \int_0^t E_p(t) dt \right) + Y_0$$

где  $T_{ИЗ}$  – время издрорма.

Физический смысл времени издрорма состоит в том, что это интервал времени, в течение которого интегральная составляющая регулятора даёт такое же по величине приращение выходного сигнала, что и пропорциональная составляющая.

При этом, очевидно, время издрорма связано с временем интегрирования соотношением:

$$T_H = \frac{T_{ИЗ}}{k_p}$$

Структурная схема регулятора смешанной структуры представлена на рисунке 14.

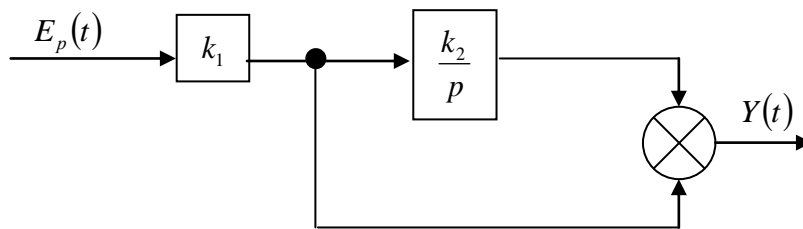


Рис.14

На рисунке  $k_1 = k_p$ ,  $k_2 = \frac{1}{T_{ИЗ}}$

ПИ-регуляторы смешанной структуры часто называют издрормными.

*ПД-регулятор (пропорционально-дифференциальный регулятор)*

Представляет собой параллельно функционирующие пропорциональный и дифференциальный регуляторы.

Передаточная функция регулятора имеет вид:

$$W(p) = k_{p1} \cdot p + k_{p2}$$



где  $k_{p2}$ ,  $k_{p1}$  - коэффициенты передачи пропорциональной и дифференциальной составляющей соответственно.

Выходной сигнал ПД-регулятора представляет сумму сигналов П- и Д-регуляторов:

$$Y(t) = Y_0 + T_\delta \cdot \frac{dE_p(t)}{dt} + k_{p2} \cdot E_p(t) \quad (16)$$

Реакция регулятора на ступенчатое воздействие представлена на рисунке 15.

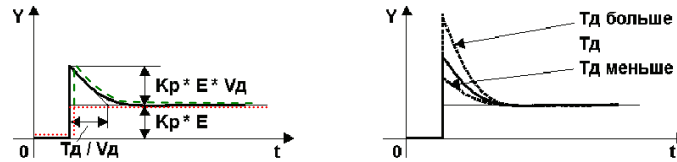


Рис.15

Красными точками обозначена пропорциональная составляющая, а зеленым пунктиром - дифференциальная составляющая результирующего сигнала

Структурная схема регулятора с параллельным соединением элементов представлена на рисунке 13.

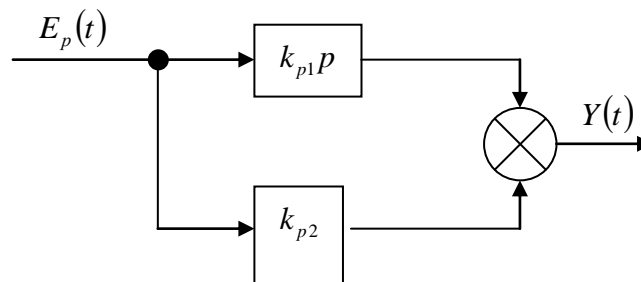


Рис. 15

Причем,  $k_{p1} = T_\delta$

При смешанной структуре формула (16) преобразуется с целью вынести за скобки общий коэффициент передачи регулятора:

$$Y(t) = Y_0 + T_\delta \cdot \frac{dE_p(t)}{dt} + k_{p2} \cdot E_p(t) = k_{p2} \left( E_p(t) + \frac{T_\delta}{k_{p2}} \cdot \frac{dE_p(t)}{dt} \right) + Y_0 =$$

$$= k_p \left( E_p(t) + T_{\text{ПР}} \cdot \frac{dE_p(t)}{dt} \right) + Y_0$$

где  $T_{\text{ПР}}$  - время предварения (опережения).

Физический смысл времени предварения состоит в том, что это интервал времени, в течение которого дифференциальная составляющая регулятора даёт такое же по величине приращение выходного сигнала, что и пропорциональная составляющая.

При этом, очевидно, время предварения связано с временем дифференцирования соотношением:

$$T_{\text{ПР}} = \frac{T_\delta}{k_p}$$

Структурная схема регулятора смешанной структуры представлена на рисунке 16.

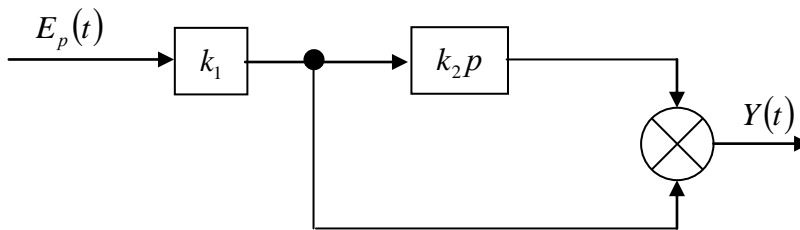


Рис.16

На рисунке  $k_1 = k_p$ ,  $k_2 = T_{пр}$

*ПИД-регулятор (пропорционально – интегрально - дифференциальный регулятор)*

Является наиболее сложным из рассматриваемых регуляторов и представляет собой параллельно функционирующие пропорциональный, дифференциальный и интегральный регуляторы.

Передаточная функция регулятора имеет вид:

$$W(p) = \frac{k_{p0}}{p} + k_{p1} \cdot p + k_{p2}$$

где  $k_{p0}$ ,  $k_{p2}$ ,  $k_{p1}$  - коэффициенты передачи интегральной, дифференциальной и пропорциональной составляющей соответственно.

Выходной сигнал ПИД-регулятора представляет сумму сигналов П-, И- и Д-регуляторов:

$$Y(t) = Y_0 + T_d \cdot \frac{dE_p(t)}{dt} + \frac{1}{T_I} \cdot \int_0^t E_p(t) dt + k_{p2} \cdot E_p(t) \quad (17)$$

Реакция регулятора на ступенчатое воздействие представлена на рисунке 17.

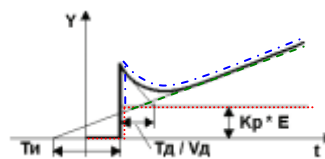


Рис. 17

Красными точками обозначена пропорциональная составляющая, зеленым пунктиром – интегральная, а синей точкой с пунктиром - дифференциальная составляющая результирующего сигнала

Структурная схема регулятора с параллельным соединением элементов представлена на рисунке 18.

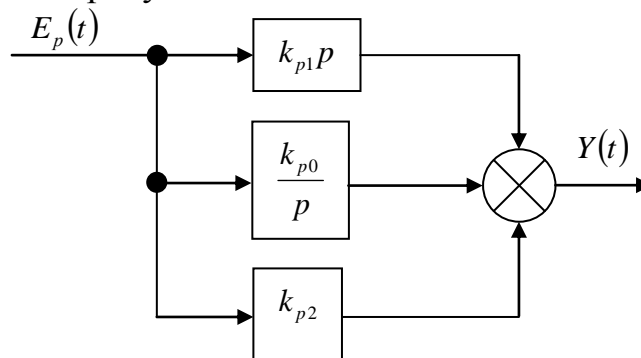


Рис. 18

Причем,  $k_{p0} = \frac{1}{T_H}$ ,  $k_{p1} = T_D$ ,  $k_{p2} = k$

При смешанной структуре формула (17) преобразуется с целью вынести за скобки общий коэффициент передачи регулятора:

$$\begin{aligned}
 Y(t) &= Y_0 + \frac{1}{T_H} \cdot \int_0^t E_p(t) dt + T_D \cdot \frac{dE_p(t)}{dt} + k_{p2} \cdot E_p(t) = \\
 &= k_{p2} \left( E_p(t) + \frac{1}{k_{p2} \cdot T_H} \cdot \int_0^t E_p(t) dt + \frac{T_D}{k_{p2}} \cdot \frac{dE_p(t)}{dt} \right) + Y_0 = \\
 &= k_p \left( E_p(t) + \frac{1}{T_{ИЗ}} \cdot \int_0^t E_p(t) dt + T_{ПР} \cdot \frac{dE_p(t)}{dt} \right) + Y_0
 \end{aligned}$$

где  $T_{ПР}$  – время предварения (опережения);

$T_{ИЗ}$  – время изодрома.

Структурная схема ПИД-регулятора смешанной структуры представлена на рисунке 19.

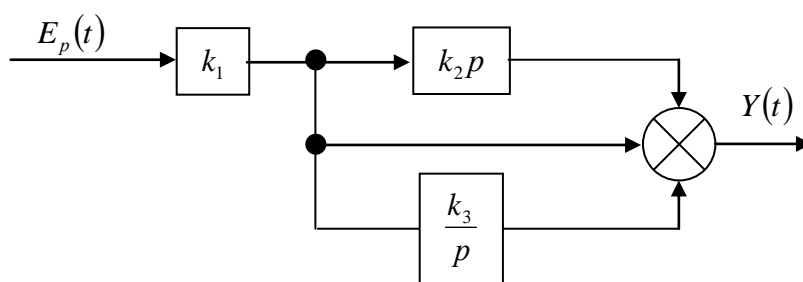


Рис.19

На рисунке  $k_1 = k_p$ ,  $k_2 = T_{ПР}$ ,  $k_3 = \frac{1}{T_{ИЗ}}$ .

Для того, чтобы обеспечить регулирование технологического параметра объекта регулирования в соответствии с типовым переходным процессом требуется осуществить настройку параметров автоматического регулятора.

### Настройка конструктивных параметров автоматического регулятора

Настройка регулятора на практике осуществляется одним из инженерных способов. При этом параметры объекта регулирования могут быть как известны, так и нет.

Если при изучении объекта регулирования, анализировалась его разгонная характеристика, то конструктивные параметры объекта регулирования известны.

В этом случае приблизительная настройка параметров регулятора на реализацию заданного типового процесса регулирования осуществляется с использованием эмпирических формул, которые позволяют вычислить

основные конструктивные параметры автоматического регулятора конкретного типа в зависимости, как от заданного типового переходного процесса, так и от характеристик объекта регулирования.

Для удобства расчетные формулы сводят в таблицу 2.

Таблица 2

Тип регулятора	Типовой переходный процесс		
	Апериодический	С 20% перерегулированием	$\min \int \Delta y^2 dt$ (с 40% перерегулированием)
И	$K_p = \frac{1}{4.5 \cdot K_o \cdot T_o}$	$K_p = \frac{1}{1.7 \cdot K_o \cdot T_o}$	$K_p = \frac{1}{1.7 \cdot K_o \cdot \tau_o}$
П	$K_p = \frac{0.3 \cdot T_o}{K_o \cdot \tau_o}$	$K_p = \frac{0.7 \cdot T_o}{K_o \cdot \tau_o}$	$K_p = \frac{0.9 \cdot T_o}{K_o \cdot \tau_o}$
ПИ	$K_p = \frac{0.6 \cdot T_o}{K_o \cdot \tau_o}$ $T_{up} = 0.6 \cdot T_o$	$K_p = \frac{0.7 \cdot T_o}{K_o \cdot \tau_o}$ $T_{up} = 0.7 \cdot T_o$	$K_p = \frac{1.0 \cdot T_o}{K_o \cdot \tau_o}$ $T_{up} = T_o$
ПИД	$K_p = \frac{0.95 \cdot T_o}{K_o \cdot \tau_o}$ $T_{up} = 2.4 \cdot \tau_o$ $T_{np} = 0.4 \cdot \tau_o$	$K_p = \frac{1.2 \cdot T_o}{K_o \cdot \tau_o}$ $T_{up} = 2.0 \cdot \tau_o$ $T_{np} = 0.4 \cdot \tau_o$	$K_p = \frac{1.4 \cdot T_o}{K_o \cdot \tau_o}$ $T_{up} = 1.3 \cdot \tau_o$ $T_{np} = 0.5 \cdot \tau_o$

В таблице:  $K_p$  – статический коэффициент передачи регулятора;

$T_{up}, T_{np}$  – время издрорма и предварения регулятора соответственно;

$K_o, \tau_o, T_o$  – статический коэффициент передачи, замедление отклика и постоянная времени объекта регулирования соответственно.

После предварительной (грубой) настройки параметров регулятора требуется на вход разработанной системы автоматического регулирования подать ступенчатое воздействие (либо единичный импульс) и получить переходную характеристику (импульсную характеристику). Убедившись в устойчивости процесса регулирования и проведя необходимые измерения на переходной характеристике, вычисляют достигнутые показатели качества регулирования, главными из которых являются время регулирования и максимальное относительное перерегулирование.

При необходимости выполняется более тонкая ручная подстройка параметров автоматического регулятора.

### Экспериментальная часть

Модель разработанной системы автоматического регулирования может быть реализована в различных средах моделирования. Предпочтительным является использование следующих сред моделирования: Matlab System, MBTU 3.7, Scilab 5.5.0. Все перечисленные среды моделирования предоставляют возможность визуального проектирования модели системы автоматического регулирования, причем последние два из указанных

продуктов к тому же являются свободно распространяемым и могут быть скачаны из сети Интернет с соответствующих ресурсов.

Далее приводится описание процесса моделирования в визуальном пакете Simulink среды Matlab System. Моделирование в других продуктах в целом осуществляется аналогично, за исключением небольших отличий реализации программного интерфейса.

Разработка системы автоматического регулирования для удобства может осуществляться в соответствии с системным подходом. В соответствии с ним первоначально система автоматического регулирования рассматривается в виде «черного ящика» с некоторым количеством входов и выходов, затем разрабатывается общая структура системы автоматического регулирования и в последнюю очередь раскрывается реализация отдельных её элементов.

С этой целью в процессе синтеза схемы потребуется использовать элемент Subsystem – подсистема. Элемент «подсистема» позволяет скрыть внутреннюю реализацию элементов системы автоматического регулирования. Многократно используя данный элемент можно представить элементы различных уровней детализации системы автоматического регулирования в виде «матрешки».

Удобно выделить три уровня синтеза модели, отличающиеся уровнем детализации описания:

1. Общая схема экспериментальной установки, включающая в себя систему автоматического регулирования, формирователь уставок, внешних возмущений и устройство индикации.
2. Обобщенная структурная схема системы автоматического регулирования в соответствии с рис.1, включающая в себя взаимодействующие между собой автоматический регулятор и объект регулирования.
3. Структурные схемы автоматического регулятора и объекта регулирования.

Запустите пакет Simulink среды Matlab. Дождитесь загрузки обозревателя элементов «Simulink library browser», после чего создайте новый лист для разработки модели, последовательно выбирая в главном (верхнем) меню обозревателя пункты: File – New – Model.

Сначала CAP изображается в виде прямоугольника (блок subsystem) с входами для возмущающих воздействий и для заданного значения регулируемого параметра, к выходу подключают осциллограф (рис.а)

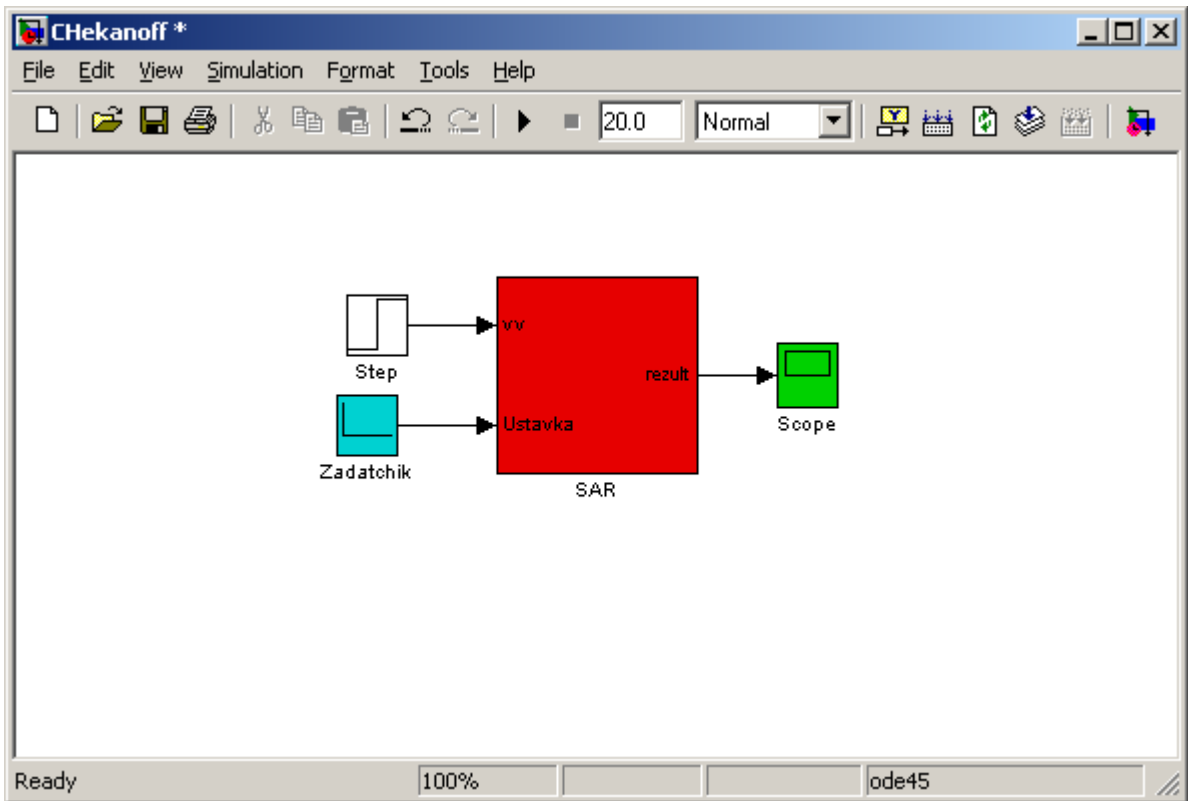


Рис. А

Двойным кликом открывается структура блока subsystem и приводится общая структура замкнутой САУ в виде взаимодействующих типового регулятора и объекта регулирования (см. рис.б)

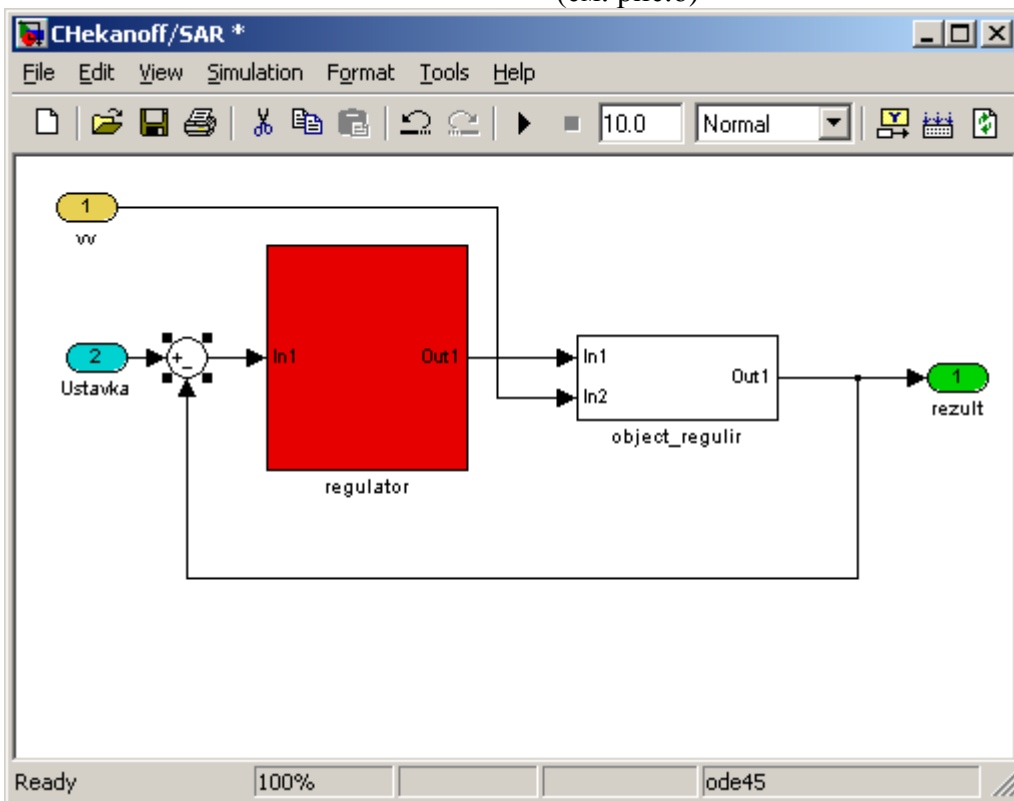


Рис.б.

Двойным кликом по блоку регулятора открывается окно моделирования его внутренней реализации, где и приводится типовая структура регулятора П, ПИ, ПИД и т.д, а также настройка его параметров (см. рис.в)

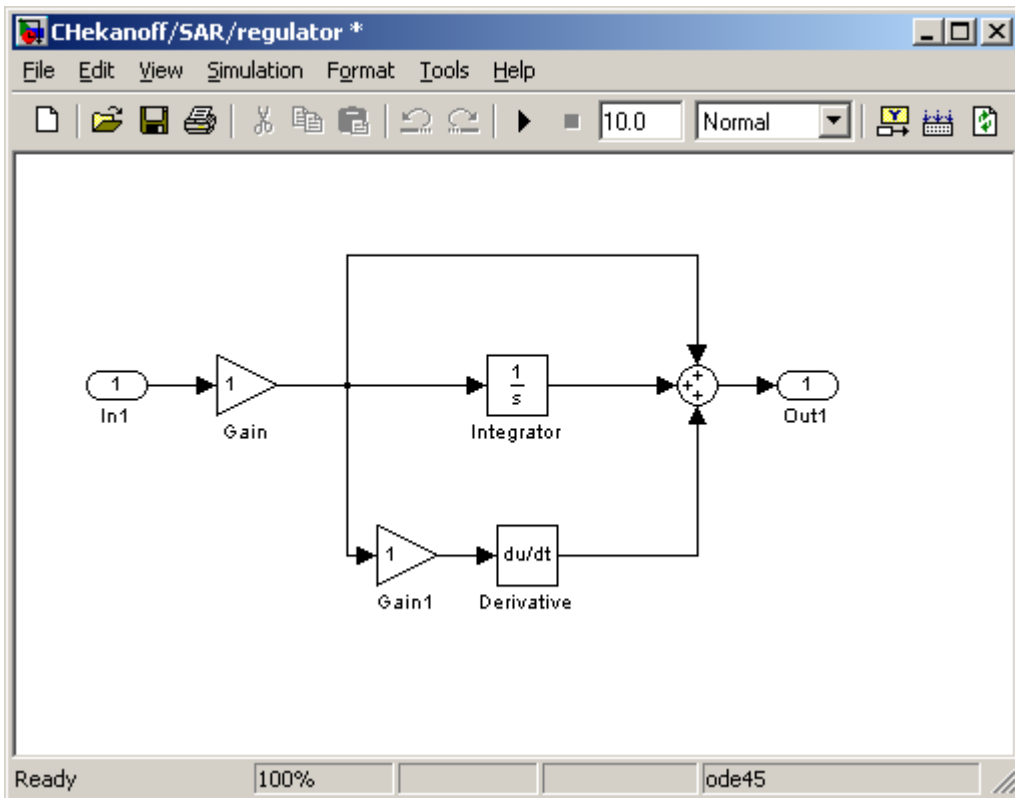


Рис.в

Аналогично реализуется модель объекта регулирования (рис. г)

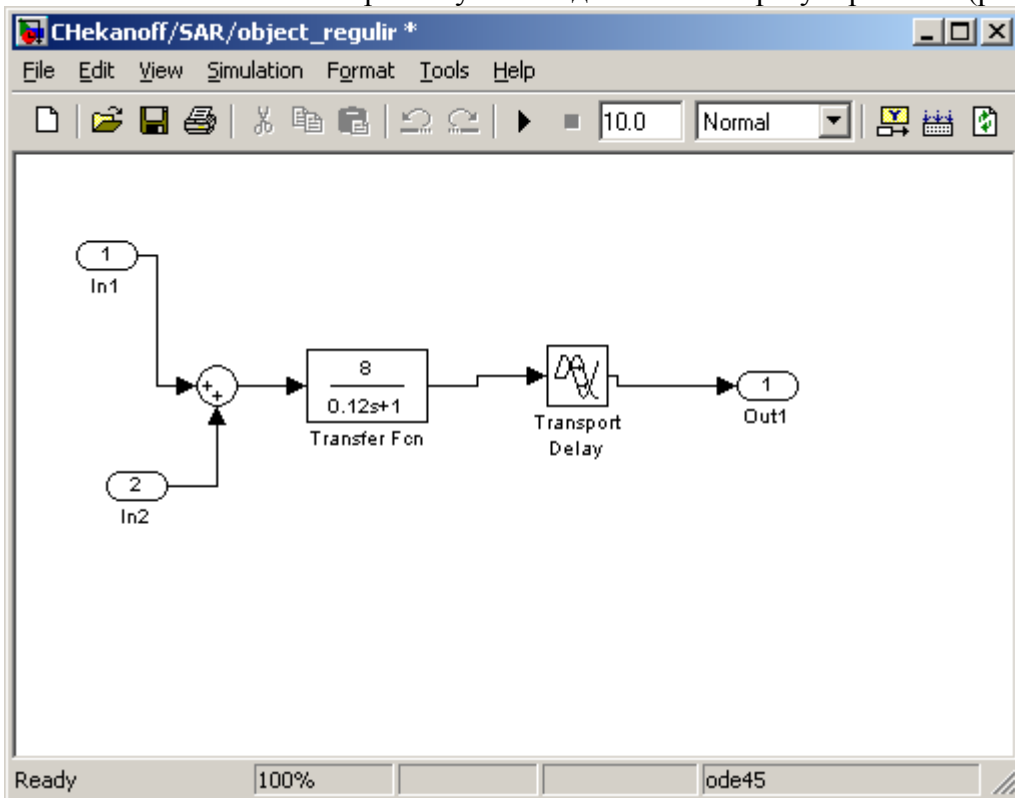


Рис.г.

После реализации структурной схемы САР запускается моделирование, как обычно и снимаются достигнутые показатели качества, полученные на основании расчета. При необходимости выполняется дополнительная тонкая ручная подстройка.

Полученная и настроенная в лабораторной работе САР далее используется в курсовом проекте.



Остальные лабораторные работы в общих чертах соответствуют заданию на курсовую работу для специалистов стандарта второго поколения и тоже используются в курсовом проекте. Рабочие названия работ:

1. Моделирование телемеханических устройств инверсного кода
2. Моделирование телемеханических устройств кода Хемминга
3. Моделирование телемеханических устройств модифицированного кода Хемминга

## Приложение 1 Основные характеристики регулятора Т-424

**Регулятор Т-424** представляет собой многофункциональный регулятор, используемый в самых различных отраслях промышленности для построения локальных систем измерения, контроля и регулирования температуры, давления и т.п.

Использование регулятора Т-424 совместно с приборами МЕТАКОН 514/524/534/614 и БКР или БУРМ позволяет реализовать функцию регулятора соотношений, что востребовано для управления клапанами, задвижками, устройствами типа МЭО при автоматизации химических реакторов. Эта возможность прибора часто находит применение для управления газовыми горелками в котельных и печах, обеспечивая правильное соотношение газ-воздух.

Приборы Т-424 зарегистрированы Госстандартом в Госреестре средств измерений под номером 16099-97. Сертификат № 2686 от 07.04.97.

Функции ПИД-регулятора Т-424

- Многоканальное измерение технологических параметров (до 4-х каналов)
- ПИД-алгоритм регулирования с аналоговым и ШИМ выходными сигналами управления
- Функция регулятора отношений (совместно с приборами МЕТАКОН 514/524/534/614 и БКР или БУРМ)
- Масштабирование линейных сигналов, функция извлечения квадратного корня
- Три независимых программируемых компаратора (по 8 функций) с выходом на реле
- Преобразование измеренного сигнала в унифицированный токовый
- Встроенный гальванически развязанный источник 24 В

Общие сведения

- Высокая помехоустойчивость прибора (не ниже 3 степени жёсткости)
- Ручное и автоматическое управление
- Ограничение сигнала управления
- Универсальный вход
- Линеаризация НСХ термопреобразователей
- 4-х проводная схема подключения термоспротивлений
- Программный выбор типа НСХ термопреобразователя
- Контроль обрыва входных линий и аварийных ситуаций
- Контрастная цифровая индикация (антиблик)
- Цифровая фильтрация входных сигналов
- Гальваническая развязка входного и выходного сигналов

- Контрастная цифровая индикация (антиблик)
- Защита паролем

#### Технические характеристики ПИД-регулятора Т-424

Входные сигналы	
Вход 1	Универсальный: 0...50 мВ; Сигналы термопреобразователей (выбираются программно)
Вход 2, 3, 4	0...1 В, унифицированные сигналы (0...5, 0...20, 4...20 мА) от нормирующих преобразователей температуры, давления, уровня и проч.
Основная погрешность измерений, не более	±0,1 %
Период опроса входного сигнала	1 с
Выходные сигналы	1 токовый: 0...5, 0...20, 4...20 мА (выбираются программно)
	1 транзисторный ключ: 24 В/150 мА
	3 реле: 240 В, 2 А
Скорость обмена по RS-485	2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 57600, 115200 бод
Питание	220 В +10/-15%, 50±0,5 Гц, 9 ВА
	Встроенный источник постоянного стабилизированного напряжения 24 В/100 мА max
Габариты	96x96x162 мм
Монтаж	Щитовой, монтажное окно 92x92 мм
Корпус	КА-Щ1
Условия эксплуатации	Закрытые взрывобезопасные помещения без агрессивных паров и газов
	Температура: 0...50 °С
	Влажность: 80% при 35 °С
Межповерочный интервал	2 г
Масса, не более	0,8 кг
Гарантия	36 месяцев

#### Входные сигналы

Тип НСХ	Пределы измерений	Погрешность не более
Термопары		
ХА(К)	-100...1300 °С	±1 °С
ХК(L)	-100... 750 °С	±1 °С
НН(N)	-100...1300°С	±1 °С
ПП(S)	0...1600 °С	±2 °С
ПП(R)	0...1600 °С	±2 °С
ПР(B)	300...1700 °С	±2 °С

ВР(А-1)	0...2200 °С	±3 °С
ЖК(Ј)	-100... 900 °С	±1 °С
Унифицированные сигналы		
Напряжение	0...50мВ	±50 (10) мкВ
Напряжение	0...1В	±1 (1) мВ
Ток	0...5 мА	±5 (1) мкА
Ток	0(4)...20 мА	±5 (1) мкА
Термопреобразователи сопротивления		
100М	-100...200°С	±0,3 (0,1)°С
100П	-100...750°С	±0,3 (0,1)°С
50М	-100...200°С	±0,3 (0,1)°С
50П	-100...750°С	±0,3 (0,1)°С