

**Министерство высшего и среднего специального образования  
Республики Узбекистан**

**Ташкентский государственный технический университет  
имени Абу Райхана Беруни**

## **Методические указания**

**к выполнению курсовой работы по курсу  
«Системы автоматизации и управления» для студентов  
направления 5521800-«Автоматизация и управление»**

**на тему:**

**«Расчет и исследование системы регулирования  
технологическим объектом на базе промышленных регуляторов»**

**Ташкент 2007**

Составители: Сапаев М.С., Игамбердиев Х.З., Севинов Ж.У.

Методические указания к выполнению курсовой работе по курсу «Системы автоматизации и управления», Ташкентский государственный технический университет, Ташкент 2007 г., 20 стр.

В методических указаниях приведены теоретические сведения, указания по выполнению курсовой работы, варианты задания и примеры расчета.

Методические указания предназначены для студентов направления 5521800 – «Автоматизация и управление» и могут быть полезными также для студентов родственных направлений.

Кафедра «Автоматизация и управление» им. академика М.З.Хамудханова

Печатается по решению научно-методического совета ТГТУ.

Рецензенты:

Сиддиков И.Х. – к.т.н., доцент ТИТЛП

Якубов А.Б. – к.т.н., доцент ТашГТУ

## **1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ КУРСОВОЙ РАБОТЫ**

Курсовая работа – завершающий этап изучения курса «Системы автоматизации и управления». При выполнении работы студент должен показать свое умение самостоятельно применять основные положения теории курса к решению типовых задач расчета и исследования систем автоматизации и управления.

## **2. СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ НА ТЕМУ: «РАСЧЁТ И ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ОБЪЕКТОМ НА БАЗЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ РЕГУЛЯТОРОВ»**

### **2.1. Исходные данные для расчёта:**

1. Экспериментальная переходная функция объекта управления.
2. Требования к качеству переходного процесса.
3. Алгоритм функционирования регулятора.

### **2.2. Основные этапы расчёта**

1. Составление функциональной ориентировочной схемы.
2. Построение сглаженной переходной функции объекта управления (ОУ) по экспериментальной переходной функции.
3. Выбор вида передаточной функции ОУ и расчет ее параметров ( $K_{об}$ ,  $T_{об}$ ,  $\tau_{об}$ ) по переходной функции.
4. Проверка адекватности полученной модели ОУ.
5. Выбор исполнительного механизма в зависимости от требований к системе и типу объекта управления.
6. Выбор конкретного типа промышленного регулятора и чувствительного элемента (если не входит в состав регулятора).
7. Составление принципиальной и структурной схемы системы регулирования с промышленным регулятором.
8. Расчет параметров настройки регулятора по номограммам или таблицам для возмущений по заданию и по нагрузке.
9. Построение переходного процесса в линейной системе на ЦВМ при рассчитанных параметрах промышленного регулятора и требований к качеству регулирования.
10. Построение переходного процесса в системе регулирования при наличии возмущающих воздействий.
11. Выводы.

## 2.3. Содержание расчетно-пояснительной записки

1. Задание.
2. Оглавление.
3. Введение.
4. Основные этапы расчета.
5. Выводы.
6. Литература.

## 3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

### 3.1. Теоретические сведения

Промышленные системы регулирования могут быть реализованы по различным схемам (рис.1). Автоматические регуляторы делятся на:

- 1) стабилизирующие, программные, следящие, самонастраивающиеся (экстремальные);
- 2) реагирующие на отклонения регулируемого параметра или возмущения, а также того и другого;
- 3) релейные, непрерывного действия, импульсные.

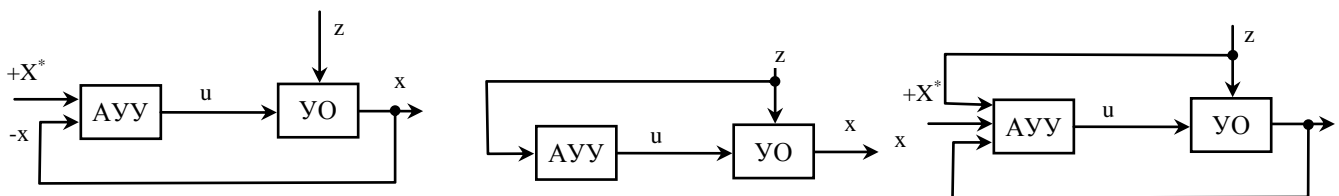


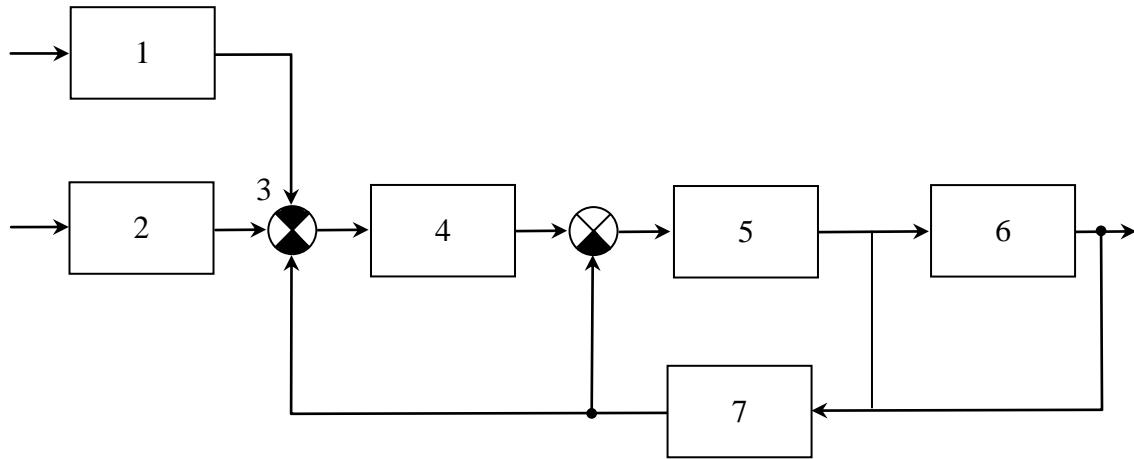
Рис. 1. Схемы ПСР:

а) регулирование по отклонению; б) управление по возмущению;

Различают регуляторы прямого и непрямого действия, причём в исполнительных механизмах последних используется энергия внешнего источника.

Регуляторы непрямого действия в связи с этим делятся на электрические., гидравлические, пневматические и комбинированные.

Наибольшее распространение в промышленности получили стабилизирующие автоматические регуляторы непрерывного действия и релейные, реагирующие на отклонение регулируемой величины и использующие для воздействия на исполнительный механизм электрическую энергию или энергию сжатого воздуха. В состав такого регулятора обычно входят (рис.2): первичный (передающий) преобразователь 1; задающее устройство 2; сумматор 3; измерительный блок 4; регулирующий блок 5; исполнительный механизм 6 и устройство корректирующей обратной связи 7.



*Рис.2. Структурная схема автоматического регулятора*

Проверка правильности выбора регуляторов приводится на основе соображений технологического и эксплуатационного характера. Вопрос о правильности выбора управляющего сигнала (непрерывного или дискретного) решается на основании анализа динамических характеристик объекта регулирования. Простейшим (приближённым) критерием оценки в этом случае является отношение времени запаздывания объекта  $\tau$  к его постоянной времени  $T$ . Так, при  $\tau/T < 0,2$  применяют релейный регулятор, при  $\tau/T > 0,2$  - регулятор непрерывного действия или импульсный. В качестве законов регулирования часто применяются типовые законы.

Из всех типовых законов регулирования наибольший динамический коэффициент имеет место в системе регулирования с И- регулятором. Применение П- или ПИ-регуляторов позволяет получить при тех же типовых процессах регулирования меньшее значение динамического коэффициента регулирования. Значения динамического коэффициента при использовании П- и ПИ-регуляторов близки; в этом отношении ПИ-регулятор мало отличается от П-регулятора, однако, применение П-регулятора сопровождается остаточным отклонением регулируемой величины от задания (установившаяся ошибка). Наименьшее значение динамического коэффициента регулирования может быть получено при использовании ПИД-регулятора.

В настоящее время существует большое количество аналитических, графо-аналитических и табличных методов расчета параметров настройки регуляторов (ПНР), которые по используемой методике и принятым допущениям могут быть отнесены к упрощенным. Все эти методы можно разделить на четыре группы в зависимости от того, какую характеристику объекта или системы они используют:

- 1) методы расчета ПНР по кривой разгона или импульсной кривой разгона объекта;
- 2) методы расчета ПНР по частотным характеристикам объекта;
- 3) методы расчета ПНР по переходной характеристике системы;
- 4) методы расчета ПНР по частотным характеристикам системы.

В большинстве случаев с помощью номограмм можно определить параметры настройки регуляторов для объектов, передаточные функции которых аппроксимируются типовыми передаточными функциями.

### **3.2. Общие рекомендации к выполнению работы**

1. Объект регулирования представляет собой тепловую технологическую установку или устройство - печь, теплообменник, сушильная установка и др.

Основой для расчета системы автоматического регулирования могут служить кривая разгона объекта, его дифференциальное уравнение или амплитудно-фазовая характеристика, а также необходимые конструктивные или технологические параметры.

Объект регулирования задается экспериментальными временными характеристиками (кривыми разгона), которые предварительно подвергаются сглаживанию.

После определения структуры и числовых значений коэффициентов передаточной функции объекта нужно получить аналитические выражения и построить его переходные характеристики.

Для получения математического описания объекта в виде передаточной функции рекомендуется использовать различные методы. После определения коэффициентов объекта необходимо проверить правильность аппроксимации, для чего необходимо построить кривую разгона объекта для нескольких значений времени  $t$ , нанося полученные точки на исходную кривую разгона, убедиться в том, что аппроксимирующая кривая не отличается от экспериментальной.

Желательно, чтобы в результате аппроксимации получились типовые динамические характеристики объектов регулирования. Если этого не произошло, произвести повторную аппроксимацию экспериментальной кривой разгона.

В результате для статического объекта (объекта с самовыравниванием) определяются время запаздывания, постоянная времени объекта и коэффициент передачи объекта. Для астатического (объекта без самовыравнивания) объекта определяют время запаздывания и условный коэффициент передачи (скорость разгона) объекта, представляющий собой отношение установившейся скорости и изменения выходной величины к значению возмущения.

2. Выбор критерия оптимальности процесса регулирования производится на основании требований технологического регламента. Именно в соответствии с требованиями последнего и используются такие критерии оптимальности как минимальное время регулирования, отсутствие пере регулирования при минимальном времени регулирования, минимальная интегральная квадратичная оценка.

С экономической точки зрения наиболее целесообразно применение в качестве критерия оптимальности минимальной интегральной квадратичной оценки, так как реализация такого критерия почти всегда приводит к

минимизации потерь, возникающих в процессе регулирования. Однако, если информация о свойствах объекта и регулятора недостаточно надежна, к выбору указанного критерия следует подходить осторожно, так как переходные процессы в системах, построенных по такому критерию, слабо затухают и всегда существует опасность перехода таких систем под действием неучтенных воздействий из области параметров настройки, близкой к границе устойчивости, на границу устойчивости или даже в область неустойчивой работы системы.

В этом плане преимуществом обладают процессы с минимальным временем регулирования или без пере регулирования, так как системы, настроенные на такие процессы, обладают наибольшим запасом устойчивости.

Таким образом, каждый из рассмотренных выше критериев оптимальности можно характеризовать с точки зрения колебательности соответствующего ему процесса регулирования. Поэтому, если на основании требований технологического регламента не удастся выбрать вполне определенный критерий оптимальности, расчет параметров настройки ведут на переходный процесс с наперед заданным значением степени его колебательности (например, 20%-ным перерегулированием, степенью затухания 0,75 или 0,9).

Учет вышесказанного, анализ назначения и условий работы системы автоматического регулирования и требований, предъявляемых к переходному процессу в ней, позволяют в каждом конкретном случае произвести правильный выбор критерия оптимальности процесса регулирования.

3. Выбор закона регулирования и типа регулятора (в курсовой работе в соответствии с вариантом задания).

4. Оптимальные значения параметров настройки регулятора зависят от динамических свойств объекта регулирования, выбранного критерия оптимальности процесса регулирования в системе, закона регулирования и типа регулятора.

Для расчета оптимальных значений параметров настройки регулятора необходимо ознакомиться с различными методами настройки, критически оценить каждый из них и выбрать наиболее приемлемый.

Следуя выбранному методу, производится определение оптимальных значений параметров настройки регулятора.

5. Реализация рассчитанных настроек на реальной аппаратуре производится установкой органов настройки регулятора на рассчитанные отметки. Рассматриваемая операция может выполняться при различных исходных условиях:

- 1) в лаборатории произведена заводская градуировка органов настройки регулятора;
- 2) проверка градуировки органов настройки регулятора не проводилась.

В первом случае реализация рассчитанных настроек сводится к простой перестановке органов настройки регуляторов на рассчитанные отметки. Во втором случае такой перестановке должен предшествовать пересчет значений

ПНР, полученных по результатам расчета, в значения ПНР, которые, учитывая их размерность, могут быть установлены на регуляторе. В третьем случае для реализации рассчитанных настроек может быть применен итерационный метод (метод последовательного приближения). Указанный метод применим и при исходных условиях, соответствующих второму случаю.

Особое внимание следует уделить методу технической реализации выбранного закона регулирования в промышленном регулирующем устройстве, подробно описав его.

6. Функциональная схема системы автоматического регулирования должна содержать все функционально необходимые элементы и отражать их взаимодействие в системе. Такими элементами являются объект регулирования, включающий в себя, кроме технологической установки, также регулирующий орган и чувствительный элемент датчика регулируемой величины, и регулятор, состоящий из собственно регулирующего устройства, исполнительного механизма и преобразующих устройств датчиков. К регулятору также относятся внешние (по отношению к регулирующему устройству) корректирующие устройства (дифференциаторы, интеграторы и т.п.).

Кроме указанных элементов, функциональные схемы программных систем регулирования должны содержать задающие устройства.

7. Принципиальная схема системы регулирования изображается в упрощенном виде. Перед ее составлением необходимо произвести выбор всех функционально необходимых элементов системы из номенклатуры изделий, выпускаемых промышленностью. В случае, если какого-либо элемента нет или его нахождение в каталогах затруднительно, можно показать его условное изображение или разработать собственную конструкцию, подробно описав ее.

Принципиальная схема должна содержать все необходимые электрические, механические и другие связи между элементами системы. Особое внимание следует уделить вопросу согласования отдельных элементов системы между собой.

8. Структурная схема системы составляет после определения передаточных функций всех элементов системы. Структурная схема должна состоять из типовых динамических звеньев направленного действия и отражать взаимодействие между ними и действие на них задающего и возмущающего воздействий.

По структурной схеме определяются передаточные функции системы в разомкнутом состоянии относительно задающего и возмущающего воздействий, а также передаточные функции замкнутой системы по ошибке. При составлении структурной схемы следует учитывать реальные характеристики ее элементов.

9. Оценку точности и динамики разрабатываемой системы можно осуществить различными способами. Так, значения установившихся ошибок можно определить, рассчитав величины коэффициентов ошибок. Также можно рекомендовать производить оценку качественных показателей и динамических свойств системы по графикам переходных процессов в ней, полученным при



помощи одного из известных методов (желательно, моделированием полученной системы регулирования на цифровой вычислительной машине).

#### **4. ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ**

Объем пояснительной записки 25-30 страниц рукописного текста, иллюстрированного графиками, таблицами и т.д. Если студент выполнил и представляет на защиту макет, объем пояснительной записки по согласованию с руководителем, может быть сокращен.

Пояснительная записка выполняется на стандартных листах бумаги формата 2 в рукописном или машинописном виде. Страницы, иллюстрации, таблицы и формулы записки нумеруются. Разделы и подразделы текста должны иметь порядковые номера, обозначенные арабской цифрой с точкой. Подразделы нумеруются в пределах раздела. Их номера состоят из номеров раздела и подраздела, разделенных точкой. При необходимости подразделы разбиваются на пункты, имеющие соответственно тройную нумерацию. Каждый раздел начинается с новой страницы. Нумерация формул, таблиц и иллюстраций ведется в пределах раздела арабскими цифрами. Номера формул ставят с правой стороны страницы на уровне формулы в круглых скобках. Номера таблиц ставятся сверху справа над таблицей и пишутся со словом «таблица». Иллюстрации должны иметь тематические наименования, а при необходимости и поясняющий подрисуночный текст. Все условные обозначения, используемые в записке, должны иметь соответствующие пояснения. В тексте записки давать ссылки на использованную литературу (цифрами в квадратных скобках согласно алфавитному списку литературы) и на формулы, таблицы и рисунки (в круглых скобках согласно их номерам).

Все графики записки строятся в масштабах. По координатным осям указываются соответствующие величины и их размерности. Если на одном рисунке изображено несколько кривых, их изображают различными цветами или типами линий и каждой кривой дают условное обозначение. На графиках подписываются числовые значения величин, которые определены по ним и показываются способы их определения.

Для расчетов, выполненных на ЦВМ, приложить (вклеить на отдельную страницу) результат решения (подлинник). Указать, на каком ПК, где и когда (дата), с использованием какого программного продукта произведены расчеты.

Чертежи и схемы графической части проекта выполняются карандашом, спецификации к ним выполняются на специальных бланках и переплетаются в пояснительную записку после текстовой части.

В целом при выполнении пояснительной записки, чертежей и схем графической части необходимо руководствоваться ГОСТами Единой Системы Конструкторской документации (ЕСКД).

## 5. ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

В качестве примера рассмотрен один из вариантов задания.

Объект регулирования представляет собой тепловую технологическую установку или устройство – печь. Основой для расчета системы автоматического регулирования служит кривая разгона, построенная по экспериментальным значениям (табл.1).

Таблица 1

№, изм.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Т, мин	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7
Экспериментальная переходная функция	0	0,02	0,20	0,34	0,48	0,53	0,65	0,72	0,80	0,85	0,90	0,92	0,93	0,92	0,93

**Обработка результатов эксперимента** включает в себя целый ряд операций, которые завершаются аппроксимацией переходной или импульсной функции с помощью одного или двух типовых элементарных звеньев. Необходимость выполнения той или иной операции при обработке результатов эксперимента обуславливается, прежде всего, условиями опыта, а также видом использованного испытательного воздействия.

*Сглаживание экспериментальных переходных характеристик* производится при искажении последних различного рода помехами и шумами. В табл.1,2 и на рис.3,4 приведены соответственно значения и графики двух полученных экспериментально переходных функций, одна из которых (рис.3, табл.1) искажена помехами. Существует ряд практических методов сглаживания подобных переходных функций. Наиболее предпочтительным в вычислительном отношении является метод четвертных разностей, сущность которого заключается в аппроксимации пяти соседних точек переходной функции параболой второго порядка, коэффициенты которой находятся методом наименьших квадратов.

Значение сглаженной по методу четвертных разностей переходной функции в  $i$ -й точке определяется по формуле

$$h_c(i) = h_i - \frac{1}{12}[h(i-2) - 4h(i-1) + 6h(i+1) + h(i+2)],$$

где  $h(i)$  – значение искажённой помехами экспериментальной функции в  $i$ -й точке;  $i = 2, 3, \dots, n-3, n-2$ .

Два первых и два последних значения сглаженной переходной функции находят по следующим формулам:

$$h_c(0) = h(0) - \frac{1}{5}[h(0) - 3h(1) + 3h(2) + h(3)] + \frac{1}{12}[h(0) - 4h(1) + 6h(2) - 4h(3) + h(4)];$$

$$h_c(1) = h(1) - \frac{2}{5}[h(0) - 3h(1) + 3h(2) + h(3)] + \frac{1}{7}[h(0) - 4h(1) + 6h(2) - 4h(3) + h(4)];$$

$$h_c(n-1) = h(n-1) - \frac{2}{5}[h(n-3) - 3h(n-2) + 3h(n-1) - h(n)] -$$

$$- \frac{1}{7}[h(n-4) - 4h(n-3) + 6h(n-2) - 4h(n-1) + h(n)];$$

$$h_c(n) = h(n) - \frac{1}{5}[h(n-3) - 3h(n-2) + 3h(n-1) + h(n)] -$$

$$- \frac{1}{12}[h(n-4) - 4h(n-3) + 6h(n-2) - 4h(n-1) + h(n)].$$

Таблица 2

№, изм.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
T, мин	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7
Сглаженная переходная функция	-0,020	0,066	0,18	0,35	0,46	0,55	0,64	0,73	0,79	0,86	0,896	0,92	0,93	0,93	0,93

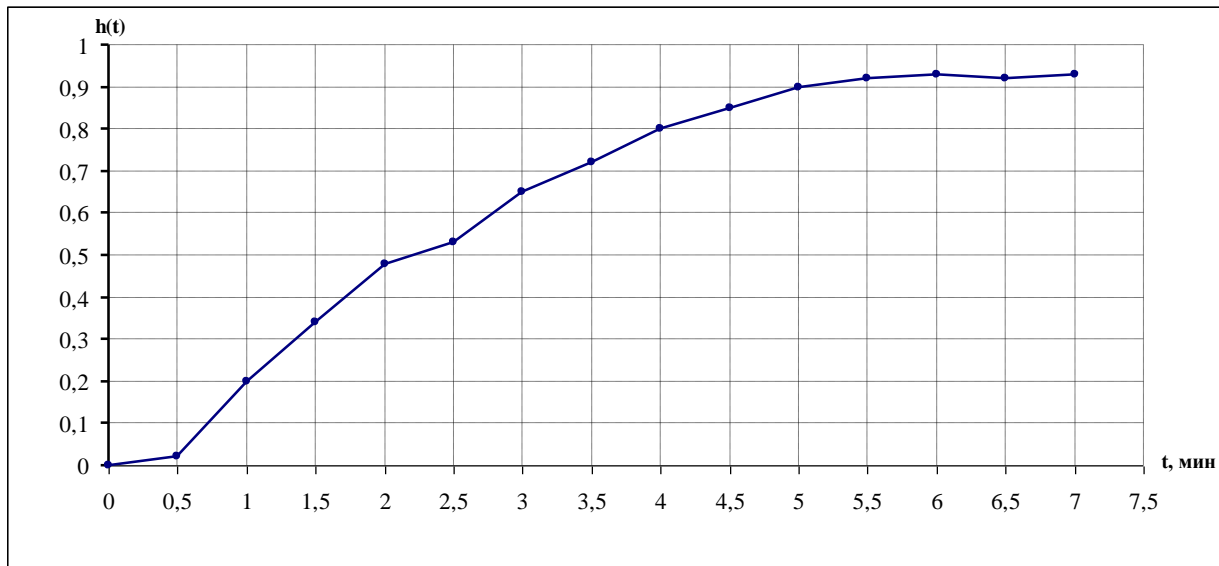


Рис.3. Экспериментальная переходная функция

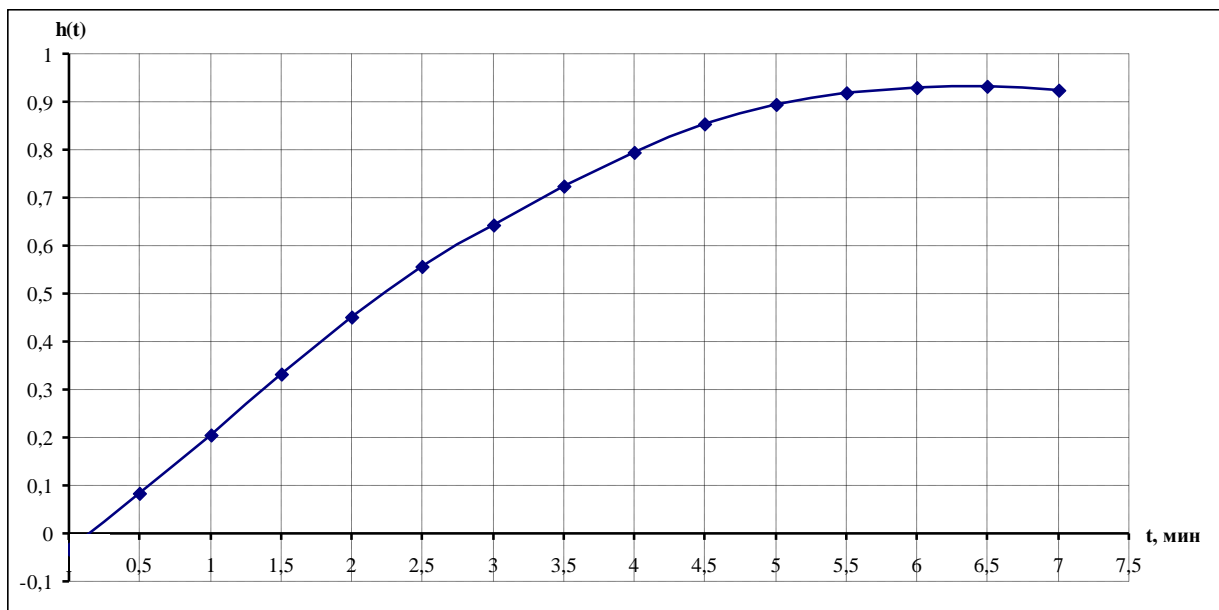


Рис.4. Сглаженная переходная функция

### Выбор передаточной функции объекта.

На последующих стадиях обработки результатов эксперимента производят *выбор передаточной функции*, необходимой для *аппроксимации экспериментальных функций* с помощью типовых элементарных звеньев. Предварительный выбор передаточной функции можно сделать по начальному

участку переходной функции.

Передаточной функцией, приведённой в таб.3 аппроксимируют переходные функции, наклон графиков которых в начальный момент времени максимален, т.е, переходные функции объектов с запаздыванием. Применение таких передаточных функций требует определения наименьшего числа параметров - двух для объектов с самовыравниванием. Однако переходные функции промышленных объектов не имеют, как правило, идеальных переходных характеристик. Для аппроксимации реальных переходных функций используют передаточную функцию (табл.3). Выбор аппроксимирующей передаточной функции часто определяется не только видом переходной функции, но и выбранным методом расчёта параметров расчёта регулятора, т. к. большинство из них разработаны с учётом выбора вполне определённой передаточной функции.

*Определение динамических параметров объекта по его экспериментально снятой переходной функции* производят графическими или графоаналитическими методами.

Таблица 3

Аппроксимирующая передаточная функция и переходная функция	Параметры	Определение динамических параметров
$W_{an} = \frac{k_{об}}{Tp + 1} e^{-p \tau_{об}};$ $h_p(t) = k_{об} \left( 1 - e^{-\frac{t - \tau_{об}}{T_{об}}} \right)$	$k_{об}, T_{об}, \tau_{об}$	

При *определении динамических параметров объекта с самовыравниванием* вначале проводят линию нового установившегося значения  $h(\infty)$ , которое переходная функция должна достигнуть за бесконечное время. Её проводят на расстоянии примерно  $0,05[h'(\infty) - h(0)]$ , где  $h'$  - линия установившегося значения в последней точке переходной функции без самовыравнивания, от последних опытных значений переходной функции. Значение коэффициента передачи объекта определяют как разность установившихся нового и начального значений переходной функции:

$$K_{об} = h(\infty) - h(0).$$

Для определения временных постоянных проводят касательную в точке переходной функции, в которой скорость изменения  $dh(t)/dt$  имеет максимальное значение, т.е. из всех возможных касательных, которые можно провести к переходной функции, эта касательная должна иметь наибольший угол наклона. Скорость изменения переходной функции максимальна в начале координат, поэтому касательная проводится именно в этой точке. Проекция отрезка касательной, заключённого между прямыми  $h(0)$  и  $h(\infty)$ , на ось времени равна постоянной времени  $T$ . А, время запаздывания,  $\tau_{об}$ , определяется как расстояние на оси времени между 0 и точкой пересечения кривой разгона с осью времени (рис.4).

$$K_{об} = 0,93; \quad T_{об} = 2,7; \quad \tau_{об} = 0,32.$$

Точность такой аппроксимации можно оценить по разности экспериментального значения переходной функции в этой точке  $h_{э}(T)$  и её расчётного значения

$$h_p(T) = 0,63 [h(\infty) - h(0)] = 0,63 k_{об},$$

После определения параметров передаточной функции необходимо проверка адекватности модели. Для этого вычисляется расчётное значение переходной функции  $h_p$  (табл.4), в соответствии с передаточной функцией и вычисляется при различных значениях  $t$  по формуле, приведённой в табл. 3.

Таблица 4

№, изм.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
T, мин	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7
Расчётная переходная функция	0,045	0,2	0,34	0,45	0,54	0,61	0,67	0,73	0,77	0,8	0,83	0,86	0,87	0,89	0,91

Для практических целей, по найденным параметрам найдём адекватность модели (погрешность), возникающую при применении той или иной аппроксимирующей передаточной функции и которая должна быть не более 15% , по следующей формуле:

$$\delta = \frac{h_{э}(t) - h_p(t)}{h_{э}(\infty)} \cdot 100 \% ,$$

где  $h_p(t)$  - расчётное значение переходной функции в момент времени  $t$ ,  $h_{э}(t)$  - экспериментальное значение переходной функции в момент времени  $t$ ,  $h(\infty)$  - установившееся экспериментальное значение переходной функции в конце эксперимента.

Во всех случаях адекватность модели не превышает 15%. А это означает, что её можно эффективно использовать.

#### **Расчет параметров настройки регулятора и переходных процессов.**

Регулятор выбирается на основе заданного алгоритма функционирования и критериев оптимальности. В данном случае это ПИ-регулирование, критерии –  $\min J$  и 20%-перерегулирование.

Для расчета параметров ПИ регулятора кроме номограмм можно также использовать аналитические формулы (табл.5).

Таблица 5

Законы регулирования	Параметры настройки	Критерий оптимальности	
		с 20% -ным перерегулированием	с минимальной интегральной квадратичной оценкой
ПИ	$K_p$	$\frac{0,7T}{K_{об}\tau}$	$\frac{1,0T}{K_{об}\tau}$
	$T_u$	$0,7T$	$T$

Используя приведённые в табл.5 формулы и на основе вычисленных параметров объекта, получим:

– для 20%-ного перерегулирования;

$$K_p = \frac{0,7T}{K_{об} \tau} = \frac{0,7 \cdot 2,7}{0,93 \cdot 0,32} = \frac{1,89}{0,2976} = 6,35 ; \quad T_{II} = 0,7 \cdot 2,7 = 1,89 \text{ мин.}$$

– для минимальной интегральной квадратичной оценки.

$$K_p = \frac{1,0T}{K_{об} \tau} = \frac{1,0 \cdot 2,7}{0,93 \cdot 0,32} = \frac{2,7}{0,2976} = 9,1 ; \quad T_{II} = T = 2,7 \text{ мин.}$$

Переходные процессы в системе построим применением средств Matlab. Кривые переходных процессов приведены рис.5,6.

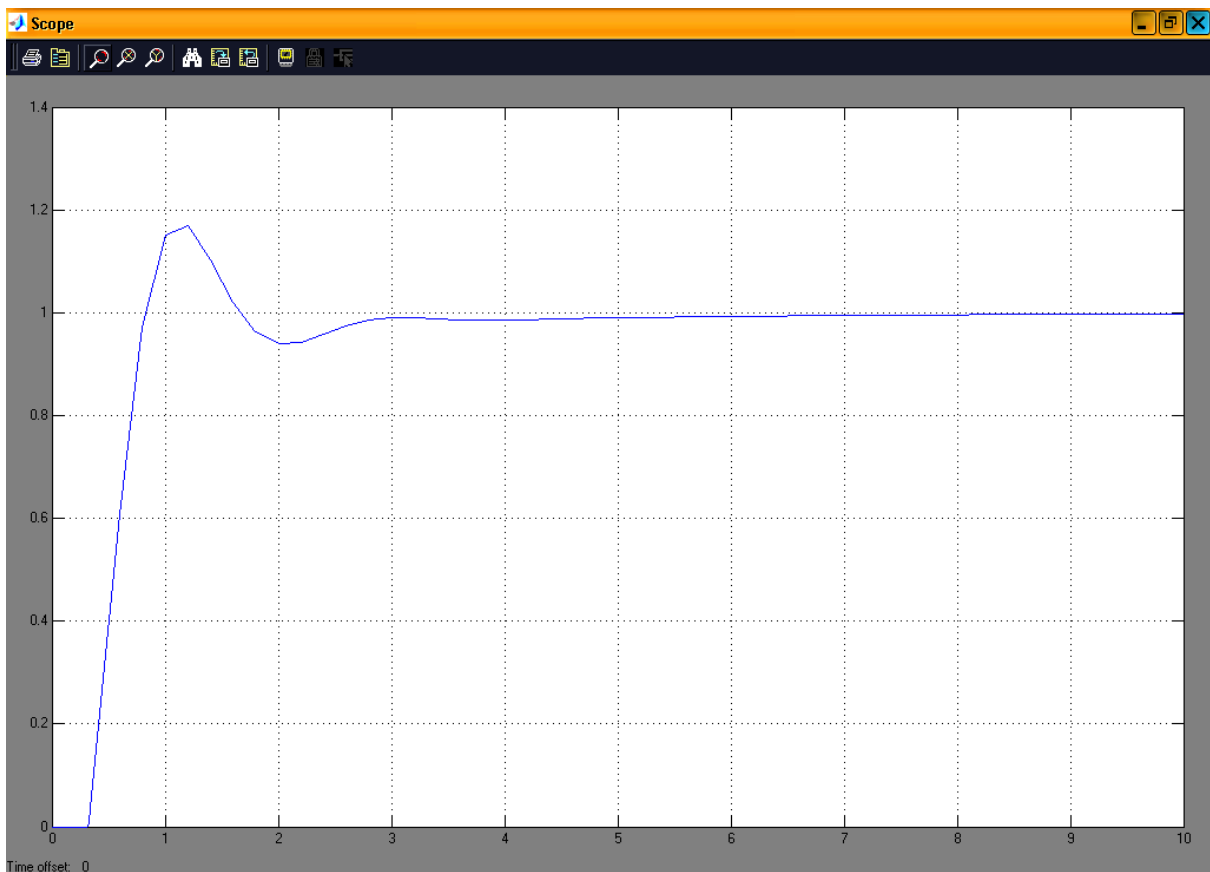
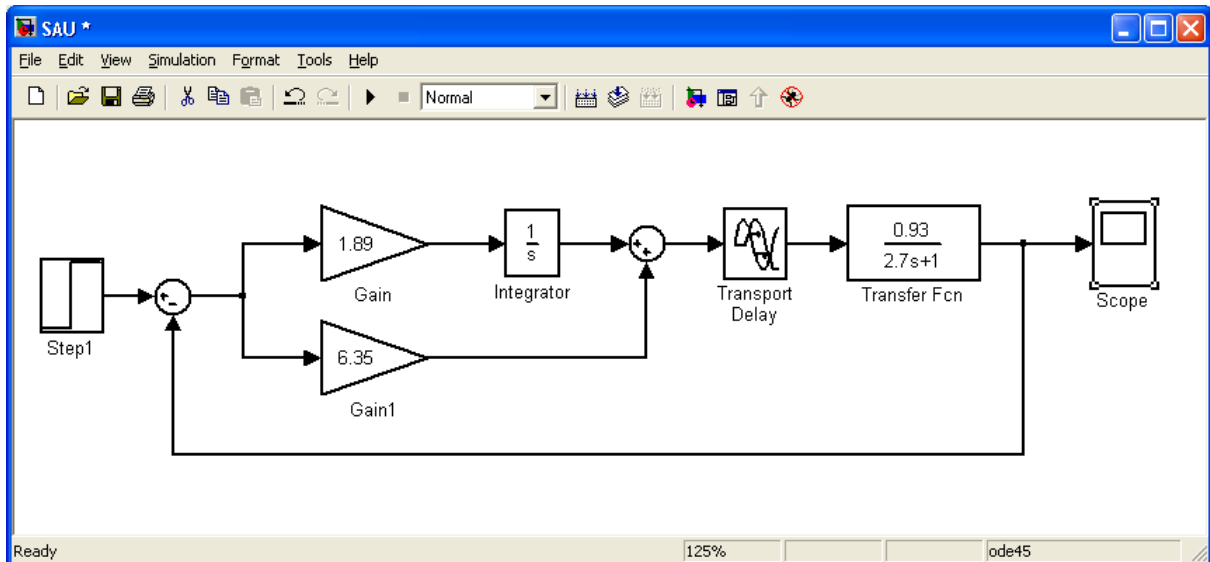


Рис.5. Переходной процесс по заданию (при  $\delta < 20\%$ )

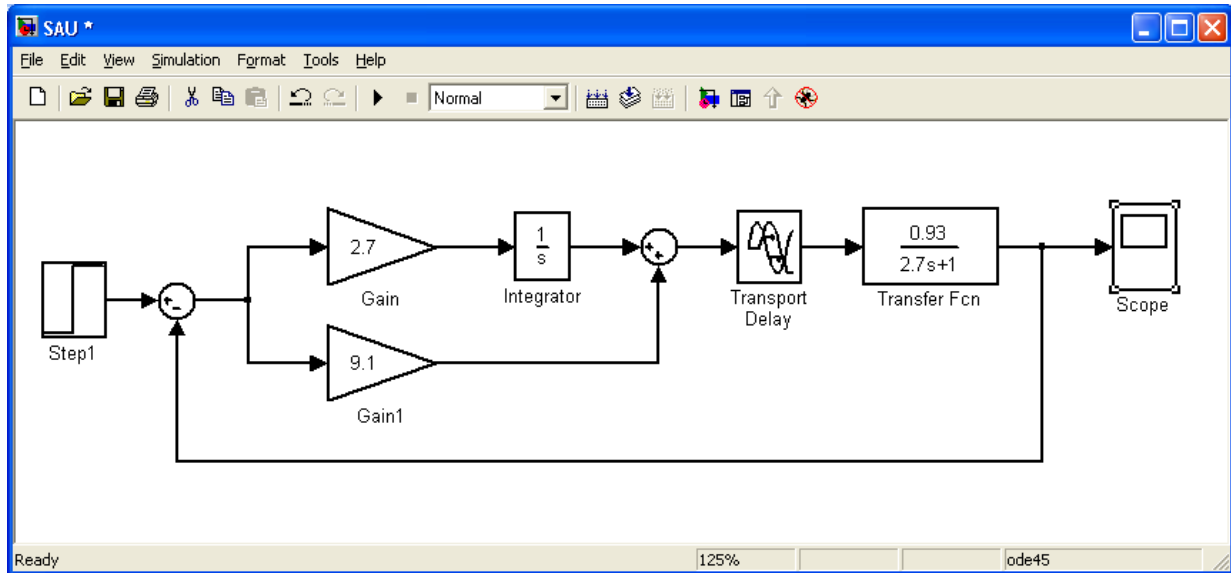
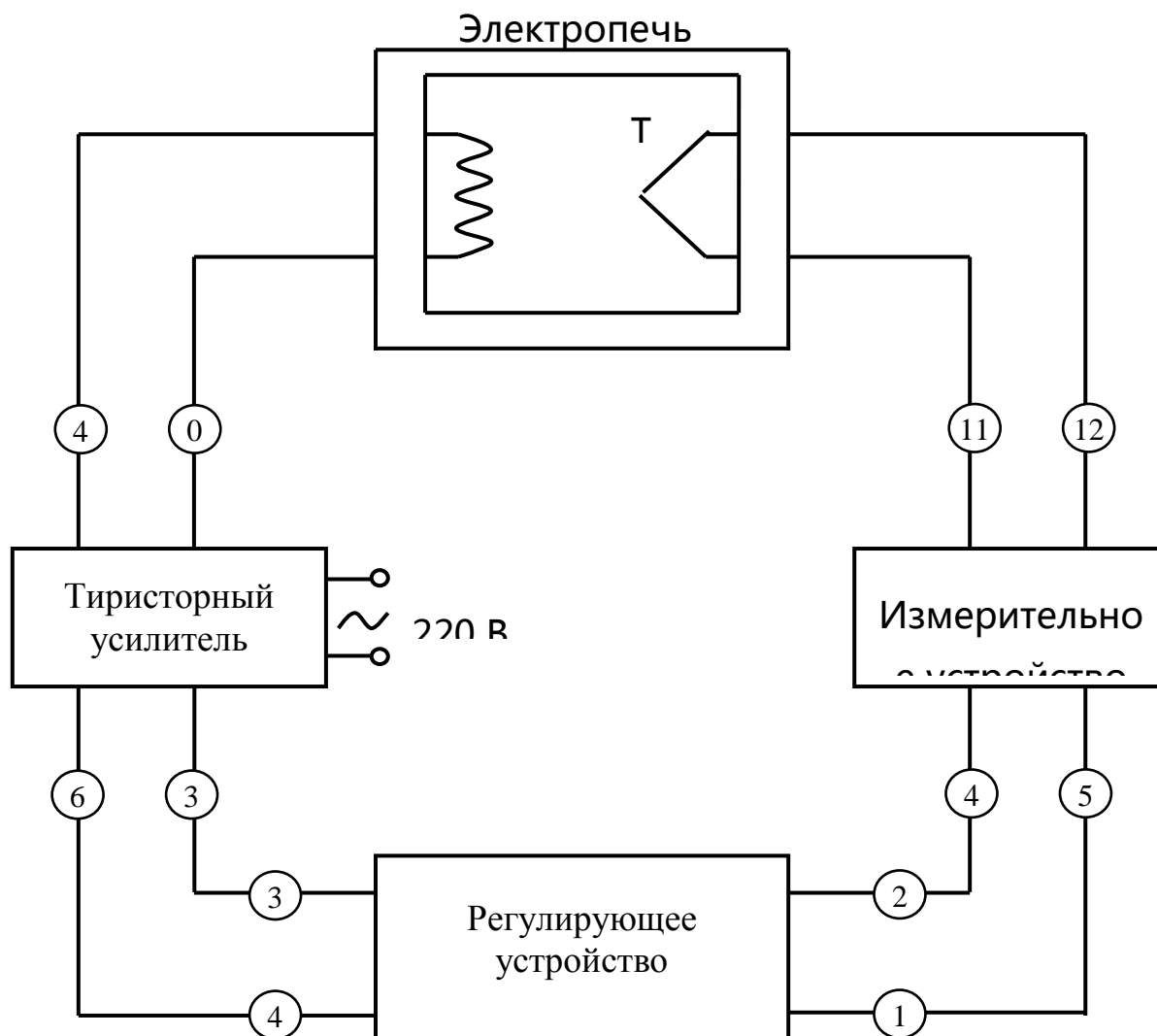


Рис.6. Переходной процесс по заданию (при  $\min f$ )

### Реализация разработанной системы.

Разрабатываемая система может быть реализована на основе различных агрегатных комплексов. В качестве примера на рис.7 показана одна из возможной функциональной схемы реализации. Системы регулирования температуры электрической печи.



*Рис.7. Функциональная схема системы регулирования*

Согласование входных и выходных величин каждого из элементов и эффективное взаимодействие друг с другом, позволяет системе автоматического регулирования осуществлять контроль и регулирование технологических параметров объекта управления. В электродпечи необходимо поддерживать постоянную температуру, для этого используются обычно средства измерения, регулирования и усиления сигналов.

Термодатчики, которые устанавливаются на электродпечи, служат для того, чтобы фиксировать определенные текущие значения температуры печи. В данном случае в качестве термодатчиков была применена термопара. Сигналы, снятые и поступающие с датчиков, преобразуются в напряжение и идут на вход измерительного устройства, где происходит усиление сигнала разбаланса термопары и задатчика. Полученный усиленный сигнал разбаланса с выхода блока поступает на вход блока регулирования, функционирование которого происходит по ПИ закону регулирования. Здесь входной сигнал преобразуется в унифицированный сигнал постоянного тока. С выхода регулирующего устройства сигнал постоянного тока идет на тиристорный усилитель, где



происходит преобразование его в сигнал переменного напряжения, используемого для питания печи.

## **6. ПОРЯДОК РАБОТЫ НАД КУРСОВОЙ РАБОТОЙ И ЗАЩИТЫ**

Выполнение курсовой работы осуществляется в соответствии с календарным планом-графиком, составленным студентом и согласованным с руководителем. В связи с возникающими вопросами, студент по мере надобности консультируется с руководителем и регулярно информирует о ходе выполнения курсовой работы. При этом ход выполнения оценивается преподавателем рейтинговыми баллами.

Руководитель может рекомендовать студенту рассмотреть несколько вариантов решения тех или иных вопросов. Принятие окончательного технического решения в выполняемой курсовой работе принадлежит студенту, за правильность его он несет ответственность как автор курсовой работы.

Законченную курсовую работу студент предъявляет руководителю для проверки. Руководитель проверяет работу и дает указания о рекомендуемых исправлениях или дополнениях, которые студенту следует рассмотреть и внести в курсовую работу. После этого руководитель подписывает пояснительную записку, и курсовая работа может быть представлена к защите.

Защита курсовой работы производится студентом на заседании комиссии, состоящей не менее, чем из двух преподавателей. По результатам защиты студенту ставится рейтинговая оценка.

## **7. ЛИТЕРАТУРА**

1. Наладка средств автоматизации и автоматических систем регулирования: Справочное пособие / А.С.Клюев и др. - М.: Энергоатомиздат, 1989.
2. Справочник по наладке автоматических устройств контроля и регулирования / под ред. Дубровного А.Д. - Киев: Науковедумка, 1991.
3. Ротач В.Я. Теория автоматического управления. М.: Изд-во МЭИ. 2004. -400 с.
4. Солодовников В.П. и др. Основы теории и элементы САР -М.: Машиностроение, 1995.
5. Кулаков Т.Т. Инженерные экспресс-методы расчета промышленных систем регулирования. Справ. пособие, -М.: Высшая школа, 1994.
6. Сапаев М. Курс лекций по дисциплине «Системы автоматизации и управления», Ташкент, ТГТУ, 1999.
7. Дьяконов В.П., Круглов В.В. MATLAB. Анализ, идентификация и моделирование систем. Специальный справочник. – СПб.: Питер, 2002. – 448с.
8. Электронные ресурсы.

## ЗАДАНИЕ

на курсовой работу по курсу «Системы автоматизации и управления»

на тему: «Расчет и исследование системы регулирования технологическим объектом на базе промышленных регуляторов»

№	Требования к качеству регулирования		Алгоритм функционирования	Экспериментальные переходные функции объекта управления															
				№ изм.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
				$t$ , мин.	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0
1	2		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1.	$\delta < 20\%$	апериодич.	ПИ	$h(t)$	0	0,03	0,15	0,30	0,35	0,40	0,43	0,55	0,60	0,65	0,70	0,73	0,70	0,72	0,70
2.	$\min \int$	$\delta < 20\%$	ПИД	$h(t)$	0	0,02	0,20	0,41	0,50	0,60	0,70	0,75	0,85	0,90	0,93	0,95	0,97	0,98	0,98
3.	апериодич.	$\delta < 20\%$	ПИ	$h(t)$	0	0,02	0,25	0,35	0,45	0,55	0,65	0,70	0,80	0,85	0,90	0,92	0,90	0,91	0,90
4.	$\min \int$	апериодич.	ПИД	$h(t)$	0	0,01	0,10	0,15	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,48	0,50	0,52	0,51	0,51	0,50
5.	$\delta < 20\%$	$\min \int$	ПИ	$h(t)$	0	0,01	0,15	0,25	0,30	0,35	0,40	0,47	0,55	0,60	0,65	0,72	0,78	0,75	0,75
6.	апериодич.	$\delta < 20\%$	ПИД	$h(t)$	0	0,01	0,20	0,30	0,38	0,46	0,53	0,60	0,70	0,80	0,88	0,95	0,99	0,99	1,00
7.	$\min \int$	апериодич.	ПИ	$h(t)$	0	0,01	0,15	0,22	0,28	0,35	0,45	0,53	0,60	0,63	0,66	0,69	0,73	0,77	0,80
8.	$\delta < 20\%$	$\min \int$	ПИД	$h(t)$	0	0,02	0,20	0,35	0,50	0,65	0,72	0,80	0,85	0,90	0,95	0,97	0,98	0,98	0,98
9.	апериодич.	$\min \int$	ПИ	$h(t)$	0	0,02	0,20	0,30	0,40	0,50	0,55	0,60	0,63	0,66	0,70	0,75	0,81	0,82	0,80
10.	$\delta < 20\%$	апериодич.	ПИД	$h(t)$	0	0,02	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,85
11.	апериодич.	$\min \int$	ПИ	$h(t)$	0	0,02	0,20	0,30	0,40	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,81	0,80	0,82
12.	$\delta < 20\%$	$\min \int$	ПИД	$h(t)$	0	0,01	0,10	0,15	0,20	0,23	0,26	0,30	0,35	0,38	0,40	0,45	0,53	0,50	0,50
13.	апериодич.	$\delta < 20\%$	ПИ	$h(t)$	0	0,01	0,10	0,20	0,30	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,68	0,72	0,70	0,70
14.	$\min \int$	$\delta < 20\%$	ПИД	$h(t)$	0	0,01	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,85	0,90	0,96	0,95	0,95
15.	$\min \int$	апериодич.	ПИ	$h(t)$	0	0,01	0,05	0,10	0,15	0,20	0,30	0,35	0,40	0,47	0,50	0,53	0,61	0,60	0,60
16.	$\min \int$	апериодич.	ПИД	$h(t)$	0	0,02	0,07	0,13	0,20	0,28	0,31	0,37	0,42	0,47	0,50	0,55	0,65	0,66	0,65
17.	$\delta < 20\%$	$\min \int$	ПИ	$h(t)$	0	0,01	0,08	0,15	0,20	0,30	0,35	0,40	0,45	0,52	0,60	0,63	0,70	0,71	0,70
18.	$\min \int$	$\delta < 20\%$	ПИД	$h(t)$	0	0,01	0,05	0,15	0,25	0,31	0,38	0,45	0,51	0,60	0,70	0,80	0,82	0,81	0,80
19.	$\delta < 20\%$	апериодич.	ПИ	$h(t)$	0	0,01	0,10	0,20	0,25	0,35	0,42	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,77	0,75
20.	$\min \int$	$\delta < 20\%$	ПИД	$h(t)$	0	0,01	0,05	0,20	0,30	0,40	0,48	0,55	0,62	0,69	0,75	0,80	0,85	0,90	0,90
21.	апериодич.	$\min \int$	ПИ	$h(t)$	0	0,02	0,07	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	1,00	1,00
22.	$\min \int$	$\delta < 20\%$	ПИД	$h(t)$	0	0,01	0,10	0,20	0,30	0,38	0,45	0,50	0,58	0,63	0,70	0,75	0,80	0,82	0,80
23.	$\delta < 20\%$	апериодич.	ПИ	$h(t)$	0	0,00	0,01	0,10	0,20	0,23	0,26	0,30	0,35	0,40	0,45	0,48	0,53	0,52	0,50

24.	апериодич.	$\min \int$	ПИД	$h(t)$	0	0,00			0,10	0,13	0,16	0,20	0,25	0,30	0,35	0,38	0,40	0,42	0,40
25.	апериодич.	$\delta < 20\%$	ПИ	$h(t)$	0	0,01	0,18	0,25	0,30	0,33	0,36	0,40	0,45	0,50	0,55	0,58	0,60	0,62	0,65
<i>1</i>	<i>2</i>		<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>14</i>	<i>15</i>	<i>16</i>	<i>17</i>	<i>18</i>	<i>19</i>
26.	$\delta < 20\%$	апериодич.	ПИД	$h(t)$	0	0,01	0,15	0,32	0,35	0,41	0,43	0,50	0,60	0,68	0,70	0,72	0,71	0,72	0,72
27.	$\min \int$	$\delta < 20\%$	ПИ	$h(t)$	0	0,02	0,22	0,40	0,50	0,60	0,70	0,78	0,85	0,90	0,93	0,94	0,97	0,98	0,98
28.	апериодич.	$\delta < 20\%$	ПИД	$h(t)$	0	0,02	0,20	0,34	0,48	0,53	0,65	0,72	0,80	0,85	0,90	0,92	0,93	0,92	0,93
29.	$\min \int$	апериодич.	ПИ	$h(t)$	0	0,01	0,13	0,18	0,25	0,31	0,36	0,41	0,45	0,49	0,50	0,52	0,51	0,52	0,51
30.	$\delta < 20\%$	$\min \int$	ПИД	$h(t)$	0	0,01	0,15	0,24	0,30	0,36	0,40	0,48	0,55	0,61	0,65	0,72	0,78	0,80	0,79
31.	апериодич.	$\delta < 20\%$	ПИ	$h(t)$	0	0,01	0,20	0,28	0,36	0,45	0,53	0,60	0,72	0,80	0,88	0,94	0,99	0,99	1,00
32.	$\min \int$	апериодич.	ПИД	$h(t)$	0	0,01	0,15	0,21	0,28	0,35	0,44	0,52	0,60	0,64	0,68	0,71	0,75	0,77	0,78
33.	$\delta < 20\%$	$\min \int$	ПИ	$h(t)$	0	0,02	0,20	0,35	0,45	0,55	0,65	0,75	0,85	0,90	0,94	0,97	0,97	0,98	0,97
34.	апериодич.	$\min \int$	ПИД	$h(t)$	0	0,02	0,20	0,30	0,38	0,49	0,55	0,60	0,63	0,67	0,70	0,74	0,81	0,82	0,82
35.	$\delta < 20\%$	апериодич.	ПИ	$h(t)$	0	0,02	0,10	0,25	0,35	0,45	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,86	0,85
36.	апериодич.	$\min \int$	ПИД	$h(t)$	0	0,02	0,20	0,23	0,34	0,45	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,84	0,82	0,84
37.	$\delta < 20\%$	$\min \int$	ПИ	$h(t)$	0	0,01	0,10	0,13	0,20	0,23	0,26	0,30	0,35	0,38	0,43	0,48	0,53	0,52	0,53
38.	апериодич.	$\delta < 20\%$	ПИД	$h(t)$	0	0,01	0,10	0,17	0,28	0,38	0,45	0,50	0,56	0,61	0,65	0,68	0,72	0,75	0,75
39.	$\min \int$	$\delta < 20\%$	ПИ	$h(t)$	0	0,01	0,10	0,20	0,31	0,42	0,53	0,62	0,71	0,80	0,87	0,93	0,96	0,95	0,95
40.	$\min \int$	апериодич.	ПИД	$h(t)$	0	0,01	0,05	0,10	0,15	0,22	0,30	0,35	0,41	0,47	0,51	0,55	0,61	0,60	0,60
41.	$\min \int$	апериодич.	ПИ	$h(t)$	0	0,02	0,07	0,13	0,20	0,28	0,32	0,37	0,42	0,46	0,50	0,55	0,62	0,66	0,65
42.	$\delta < 20\%$	$\min \int$	ПИД	$h(t)$	0	0,01	0,08	0,15	0,20	0,30	0,35	0,40	0,45	0,53	0,60	0,65	0,68	0,71	0,70
43.	$\min \int$	$\delta < 20\%$	ПИ	$h(t)$	0	0,01	0,05	0,15	0,22	0,30	0,38	0,45	0,52	0,60	0,68	0,77	0,82	0,81	0,80
44.	$\delta < 20\%$	апериодич.	ПИД	$h(t)$	0	0,01	0,10	0,20	0,25	0,35	0,44	0,50	0,55	0,61	0,67	0,72	0,75	0,77	0,76
45.	$\min \int$	$\delta < 20\%$	ПИ	$h(t)$	0	0,01	0,05	0,20	0,30	0,40	0,48	0,55	0,62	0,69	0,75	0,80	0,85	0,90	0,90
46.	апериодич.	$\min \int$	ПИД	$h(t)$	0	0,02	0,07	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,68	0,75	0,81	0,86	0,90	1,00	1,00
47.	$\min \int$	$\delta < 20\%$	ПИ	$h(t)$	0	0,01	0,10	0,20	0,30	0,37	0,45	0,51	0,57	0,64	0,70	0,75	0,80	0,82	0,80
48.	$\delta < 20\%$	апериодич.	ПИД	$h(t)$	0	0,00	0,01	0,10	0,20	0,23	0,29	0,33	0,38	0,41	0,45	0,49	0,53	0,52	0,53
49.	апериодич.	$\min \int$	ПИ	$h(t)$	0	0,00	0,01	0,03	0,09	0,13	0,16	0,21	0,26	0,31	0,36	0,39	0,40	0,42	0,40
50.	апериодич.	$\delta < 20\%$	ПИД	$h(t)$	0	0,01	0,18	0,25	0,30	0,34	0,38	0,41	0,45	0,50	0,55	0,58	0,61	0,63	0,65

## ОГЛАВЛЕНИЕ

		стр.
1.	ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ КУРСОВОЙ РАБОТЫ .....	3
2.	СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ НА ТЕМУ: «РАСЧЁТ И ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ОБЪЕКТОМ НА БАЗЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ РЕГУЛЯТОРОВ» .....	3
2.1.	Исходные данные для расчёта .....	3
2.2.	Основные этапы расчёта .....	3
2.3.	Содержание расчетно-пояснительной записки .....	4
3.	МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ .....	4
3.1.	Теоретические сведения .....	4
3.2.	Общие рекомендации к выполнению работы .....	6
4.	ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ .....	9
5.	ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ .....	10
6.	ПОРЯДОК РАБОТЫ НАД КУРСОВОЙ РАБОТОЙ И ЗАЩИТЫ ...	17
7.	ЛИТЕРАТУРА .....	17
	ПРИЛОЖЕНИЕ .....	18

