

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ВОЛЖСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (ФИЛИАЛ)
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОЛГОГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Л.И. Медведева

**ВЫПОЛНЕНИЕ КОНТРОЛЬНОЙ И КУРСОВОЙ
РАБОТ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«ТЕОРИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ»**

Электронное учебно-методическое пособие



Волжский
2019

УДК 681.51(07)
ББК 32.81я73
М 42

Рецензенты:

канд. тех. наук, начальник Волжского филиала ФБУ «Волгоградский ЦСМ»

Бельчанская Е.Н.,

канд. физ-мат. наук, доцент НИУ МЭИ в г. Волжском

Капля Е.В.

Издается по решению редакционно-издательского совета
Волгоградского государственного технического университета

Медведева, Л.И.

Выполнение контрольной и курсовой работ по дисциплине
«Теория автоматического управления» [Электронный ресурс]: учебно-
методическое пособие / Л.И. Медведева ; ВПИ (филиал) ВолгГТУ. –
Электрон. текстовые дан. (1 файл: 9,15 МБ). – Волжский, 2019. –
Режим доступа: <http://lib.volpi.ru>. – Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-5-9948-3339-1

Учебно-методическое пособие содержит теоретический материал,
необходимый для выполнения и защиты контрольной и курсовой работ, правила
оформления квалификационных работ.

Предназначено для студентов, обучающихся дисциплине «Теория
автоматического управления» по направлениям бакалавриата 05.03.04
«Автоматизация технологических процессов и производств» всех форм обучения.

Ил. 12, табл. 7, библиограф.: 4 назв.

ISBN 978-5-9948-3339-1

© Волгоградский
государственный
технический
университет, 2019
© Волжский
политехнический
институт, 2019

СОДЕРЖАНИЕ

Часть I. Выполнение курсовой работы по дисциплине «Теория автоматического управления»	4
Часть II. Выполнение контрольной работы по дисциплине «Теория автоматического управления»	35
Часть III. Правила оформления квалификационных работ	54
Список литературы	73
Приложение А	74
Приложение Б	76
Приложение В	77

ЧАСТЬ I. ВЫПОЛНЕНИЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ТЕОРИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ»

Курсовая работа – это самостоятельное исследование, которое выполняется на основании теоретического материала по основным темам курса «Теория автоматического управления» и направлено на выработку навыков практических расчетов для исследования математического описания элементов систем автоматического управления. *Курсовая работа* – это персональное исследование студента, выполняя которое, студент обогащает знания и умения, усвоенные в период изучения предмета, учится определять цель, выделять задачи, формулировать проблемы и находить способы их решения.

Работая над курсовой работой (КР), студент формирует умения и способности, которые будут важными в будущем при решении более сложных задач (выпускная квалификационная работа, диссертация, научное исследование и т.п.).

Цель курсовой работы – закрепление теоретических знаний по дисциплине, формирование практических навыков по определению оптимального варианта структуры и параметров системы автоматического управления.

При организации КР необходимо придерживаться следующих правил:

- 1) изложение материала каждого задания курсовой работы должен осуществляться в следующей периодичности:
 - теоретическое обоснование вопроса, который рассматривается;
 - математические расчеты;
 - анализ и подведение полученных результатов, выводы.
- 2) расчетную часть работы делают по вариантам. Номер варианта задания КР соответствует порядковому номеру студента в списке группы;
- 3) все данные сводят в таблицы;
- 4) исходные данные и итоги расчетов приводят с указанием единиц измерения;
- 5) расчеты организуют с точностью до одной десятой;
- 6) количество пояснительной записки составляет 10-20 страниц рукописного текста (или 10-15 страниц компьютерной печати) формата А4;
- 7) оформление курсовой работы происходит в соотношении с правилами, изложенными в третьей части данного учебно-методического пособия.

В выводах КР подводятся итоги из всех освещенных вопросов, а также определяются основные проблемы и пути их возможного решения.

Студенты работают над темой индивидуальной работы под руководством преподавателя. Каждый студент получает отдельный вариант курсовой работы, которая содержит по одной задаче из каждой темы [1].

1.1. Название, содержание разделов и пример выполнения курсовой работы

Курсовая работа «Исследование динамических характеристик элементов систем автоматического управления» состоит из следующих разделов:

- 1) Построение частотных характеристик (АЧХ, ФЧХ, АФХ) типовых звеньев, входящих в систему автоматического управления.
- 2) Преобразование структурной схемы системы автоматического управления с целью получения общей передаточной функции соединения.
- 3) Построение частотных характеристик (АЧХ, ФЧХ, АФХ) преобразованной системы.

Курсовая работа выполняется в течение всего учебного семестра и является составной частью самостоятельной работы студента. До наступления первой контрольной недели согласно графику учебного процесса студент должен сдать на проверку первое задание курсовой работы. Второе задание и полностью оформленную КР студент сдает до наступления третьей контрольной недели согласно графику учебного процесса.

Проверка правильности выполнения заданий производится преподавателем вне аудитории. Общий балл сообщается студенту на третьей контрольной недели.

В процессе выполнения курсовой работы студент обязан использовать данное учебно-методическое пособие, где приводятся задания согласно вариантам и подробный пример решения. В приложениях А, Б и В приведены титульные листы и бланк рецензии.

В таблицах 1 и 2 приведены варианты индивидуальных заданий, выдаваемых студентам для выполнения курсовой работы.

Таблица 1.

Структурные схемы исходных систем автоматического управления

№ вар.	ФИО студента	Структурная схема системы автоматического управления
1. 2. 3. 4.		

5.		
6.		
7.		
8.		
9.		
10.		
11.		
12.		
13.		
14.		
15.		
16.		

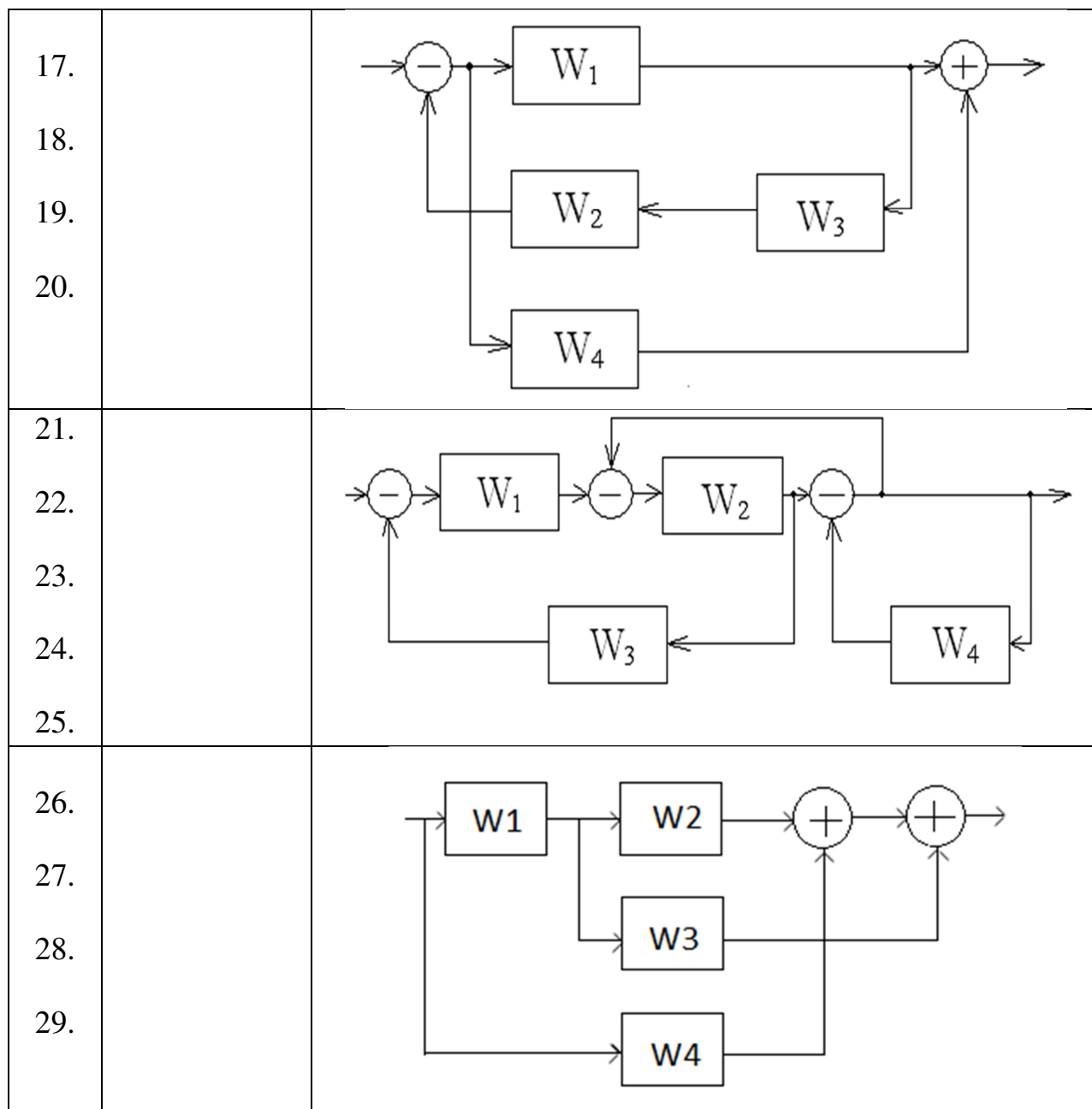


Таблица 2.

Передаточные функции элементов, входящих в исходную структурную схему системы автоматического управления

Номер варианта	Передаточные функции типовых звеньев, входящих в структурную схему системы автоматического управления				
	ФИО студента	W_1	W_2	W_3	W_4
1		22	$\frac{5}{P+1}$	$\frac{4P}{5P+1}$	$\frac{5}{56P^2+3P+1}$

2		21	$\frac{2}{10P+1}$	$\frac{2P}{13p+1}$	$\frac{1}{14P^2+2P+1}$
3		20	$\frac{10}{5P+1}$	$\frac{7P}{40p+1}$	$\frac{2}{56P^2+5P+1}$
4		19	$\frac{1}{3P+1}$	$\frac{P}{14p+1}$	$\frac{4}{30P^2+2P+1}$
5		18	$\frac{5}{2P+1}$	$\frac{P}{10p+1}$	$\frac{1}{4P^2+P+1}$
6		17	$\frac{2}{5P+1}$	$\frac{3P}{8p+1}$	$\frac{4}{40P^2+5P+1}$
7		16	$\frac{2}{7P+1}$	$\frac{4P}{20p+1}$	$\frac{2}{68P^2+4P+1}$
8		15	$\frac{7}{9P+1}$	$\frac{8P}{23p+1}$	$\frac{5}{24P^2+4P+1}$
9		14	$\frac{1}{8P+1}$	$\frac{4P}{54p+1}$	$\frac{8}{90P^2+5P+1}$
10		13	$\frac{3}{15P+1}$	$\frac{3P}{24p+1}$	$\frac{6}{100P^2+5P+1}$
11		12	$\frac{1}{4P+1}$	$\frac{P}{87p+1}$	$\frac{9}{67P^2+4P+1}$
12		11	$\frac{2}{4P+1}$	$\frac{7P}{21p+1}$	$\frac{6}{89P^2+5P+1}$
13		10	$\frac{7}{51P+1}$	$\frac{5P}{20p+1}$	$\frac{2}{97P^2+8P+1}$
14		9	$\frac{4}{15P+1}$	$\frac{P}{30p+1}$	$\frac{3}{67P^2+7P+1}$
15		8	$\frac{2}{23P+1}$	$\frac{6P}{14p+1}$	$\frac{1}{90P^2+7P+1}$
16		7	$\frac{2}{18P+1}$	$\frac{3P}{30p+1}$	$\frac{2}{50P^2+4P+1}$

17		6	$\frac{1}{25P+1}$	$\frac{7P}{40p+1}$	$\frac{1}{49P^2+4P+1}$
18		5	$\frac{2}{2P+1}$	$\frac{2P}{12p+1}$	$\frac{5}{45P^2+3P+1}$
19		4	$\frac{6}{10P+1}$	$\frac{P}{17p+1}$	$\frac{1}{18P^2+3P+1}$
20		2	$\frac{2}{7P+1}$	$\frac{P}{10p+1}$	$\frac{1}{90P^2+7P+1}$
21		3	$\frac{3}{7P+1}$	$\frac{4P}{47p+1}$	$\frac{1}{64P^2+7P+1}$
22		4	$\frac{2}{4P+1}$	$\frac{3P}{30p+1}$	$\frac{6}{89P^2+5P+1}$
23		8	$\frac{5}{2P+1}$	$\frac{3P}{8p+1}$	$\frac{1}{18P^2+3P+1}$
24		2	$\frac{2}{18P+1}$	$\frac{P}{87p+1}$	$\frac{1}{4P^2+P+1}$
25		6	$\frac{2}{18P+1}$	$\frac{4P}{54p+1}$	$\frac{2}{50P^2+4P+1}$
26		12	$\frac{1}{25P+1}$	$\frac{2P}{12p+1}$	$\frac{9}{67P^2+4P+1}$
27		4	$\frac{1}{18P^2+3P+1}$	$\frac{P}{10p+1}$	$\frac{2}{18P+1}$
28		8	$\frac{2}{23P+1}$	$\frac{9}{67P^2+4P+1}$	$\frac{2P}{12p+1}$
29		3	$\frac{1}{8P+1}$	$\frac{4P}{54p+1}$	$\frac{8}{90P^2+5P+1}$
30		$\frac{2}{18P+1}$	$\frac{P}{87p+1}$	$\frac{1}{4P^2+P+1}$	7

1.2. Теоретический материал, необходимый для выполнения курсовой работы

При взаимодействии частей системы автоматического управления (АСУ) между собой, а также и при процессе функционирования самого объекта управления осуществляется преобразование энергии одного вида в энергию другого вида. Это обусловлено различной физической природой элементов, входящих в состав АСУ. Так одна и та же система может включать в себя, например, механические, электрические и гидравлические элементы. Но процессы преобразования и перераспределения энергии в АСУ, в отличие от многих других физических систем, строго ориентированы, т.е. энергия и воздействия передаются только в определенном направлении.

Обычно свойством однонаправленности обладают те элементы АСУ, которые передают информационные воздействия. К таким элементам относятся в первую очередь измерители и преобразователи сигналов. Конструктивные части системы, через которые передаются энергетические воздействия, этим свойством, как правило, не обладают.

Только вследствие наличия элементов направленного действия в АСУ создается замкнутый контур передачи воздействий, при помощи которого и осуществляется целенаправленный процесс управления. Без таких элементов АСУ были бы неработоспособны или малоэффективны. Большое разнообразие конструкций и условий работы АСУ определяет многообразие воздействий и сигналов. Анализ конкретных АСУ существенно упрощается, если пользоваться разработанной в ТАУ типизацией воздействий и сигналов [2].

При исследовании АСУ и их элементов используют ряд стандартных сигналов, называемых типовыми воздействиями. Эти воздействия описываются простыми математическими функциями и легко воспроизводятся при исследовании систем управления. Использование типовых воздействий позволяет унифицировать анализ различных систем и облегчает сравнение их передаточных свойств. Наибольшее применение в теории управления находят следующие типовые воздействия:

- ступенчатое;
- импульсное;
- гармоническое;
- линейное.

Ступенчатое воздействие – воздействие, которое мгновенно возрастает от нуля до некоторого значения и далее остается постоянным (рис. 1, а). Ступенчатому воздействию соответствует функция:

$$x(t) = \begin{cases} 0 & \text{при } t < 0; \\ a_0 & \text{при } t > 0. \end{cases}$$

При анализе и расчете систем удобно использовать ступенчатое воздействие, у которого величина $a_0 = 1$. Его называют *единичным ступенчатым воздействием* и обозначают $1(t)$. Математическое выражение, описывающее единичное ступенчатое воздействие, имеет вид:

$$1(t) = \begin{cases} 0 & \text{при } t < 0; \\ 1 & \text{при } t > 0. \end{cases}$$

Любое неединичное ступенчатое воздействие можно обозначить $a_0 1(t)$. Единичное ступенчатое воздействие, возникающее в момент времени $t = t_1$, обозначают $1(t - t_1)$. Ступенчатое воздействие чаще всего используют при исследованиях систем стабилизации параметров, так как эти воздействия наиболее близки к реальным входным (задающим и возмущающим) воздействиям систем стабилизации.

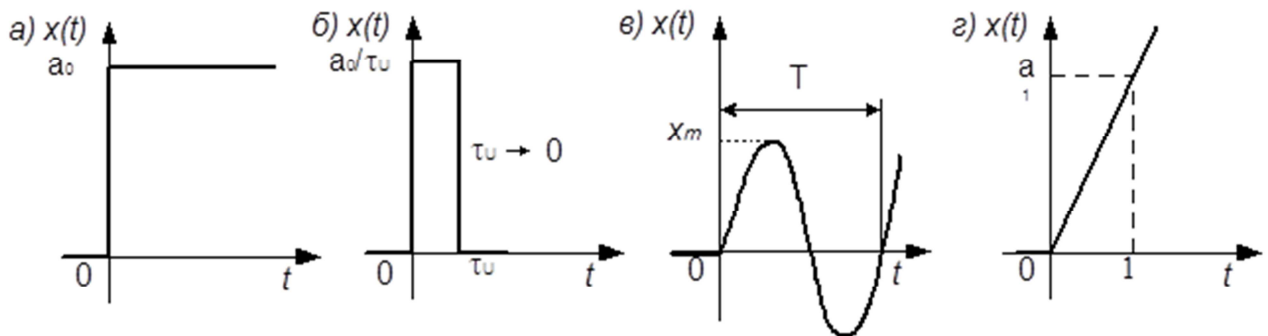


Рисунок 1. Виды типовых воздействий

Импульсное воздействие – одиночный импульс прямоугольной формы (рис. 1, б), имеющий достаточно большую высоту и малую длительность (по сравнению с инерционностью испытываемой системы) с площадью a_0 . При математическом анализе АСУ используют *единичное импульсное воздействие*, описываемое так называемой *дельта-функцией*:

$$\delta(t) = \begin{cases} 0 & \text{при } t < 0; \\ \infty & \text{при } t > 0, \end{cases}$$

причем $\int_{-\infty}^{\infty} \delta(t) dt = 1$.

Последние два выражения позволяют рассматривать дельта-функцию, как импульс, имеющий бесконечно большую высоту, бесконечно малую

длительность и единичную площадь. Дельта-функцию можно определить также как производную единичного ступенчатого воздействия: $\delta(t) = \frac{d\mathbf{1}(t)}{dt}$.

Неединичное импульсное ступенчатое воздействие с площадью a_0 обозначается $x(t) = a_0 \delta(t)$.

Гармоническое воздействие – сигнал синусоидальной формы, описываемый функцией (рис. 1, в):

$$x(t) = x_m \sin \omega t, \quad (-\infty < t < \infty),$$

где x_m – амплитуда сигнала; $\omega = 2\pi / T$ – круговая частота; T – период сигнала.

Гармонический сигнал, начинающий действовать в момент времени $t = 0$, описывают при помощи единичной ступенчатой функции: $x(t) = \mathbf{1}(t) x_m \sin \omega t, (0 \leq t < \infty)$.

Линейное воздействие – воздействие, описываемое функцией (рис. 1, г) $x(t) = \mathbf{1}(t) a_1 t, (0 \leq t < \infty)$. Коэффициент a_1 характеризует скорость нарастания воздействия $x(t)$.

По характеру изменения выходной величины во времени различают следующие режимы элемента АСУ:

- статический;
- динамический.

Статический режим – состояние элемента АСУ, при котором выходная величина не изменяется во времени, т. е. $y(t) = \text{const}$. Очевидно, что статический режим (или состояние равновесия) может иметь место лишь тогда, когда входные воздействия постоянны во времени. Связь между входными и выходными величинами в статическом режиме описывают алгебраическими уравнениями.

Динамический режим – состояние элемента АСУ, при котором входная величина непрерывно изменяется во времени, т. е. $y(t) = \text{var}$. Динамический режим имеет место, когда в элементе после приложения входного воздействия происходят процессы установления заданного состояния или заданного изменения выходной величины. Эти процессы описываются в общем случае дифференциальными уравнениями.

Динамические режимы в свою очередь разделяются на:

- неустановившийся (переходный);
- установившийся (квазиустановившийся).

Неустановившийся (переходный) режим – режим, существующий от момента начала изменения входного воздействия до момента, когда выходная величина начинает изменяться по закону этого воздействия.

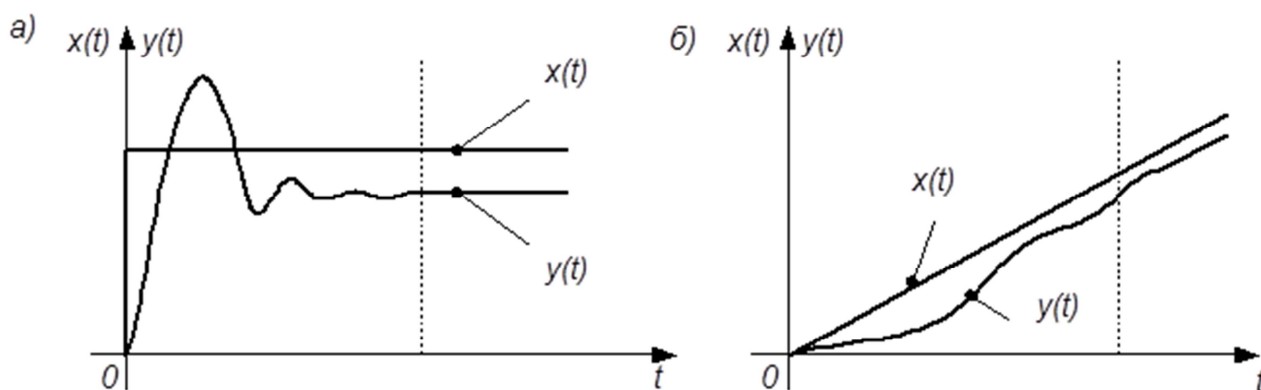


Рисунок 2. Переходные и установившиеся режимы при типовых воздействиях

Установившийся режим – режим, наступающий после того, как выходная величина начинает изменяться по такому же закону, что и входное воздействие, т.е. наступающий после окончания переходного процесса. В установившемся режиме элемент совершает вынужденное движение. Очевидно, что статический режим является частным случаем установившегося (вынужденного) режима при $x(t) = const$.

Понятия «*переходный режим*» и «*установившийся режим*» иллюстрируются графиками изменения выходной величины $y(t)$ при двух типовых входных воздействиях $x(t)$ (рис. 2). Граница между *переходным* и *установившимся* режимами показана вертикальной пунктирной линией.

Передаточные свойства элементов АСУ в динамическом режиме описывают с помощью *динамических характеристик*. Различают следующие формы динамических характеристик:

- обыкновенное дифференциальное уравнение;
- временные характеристики;
- передаточная функция;
- частотные характеристики.

Обыкновенное дифференциальное уравнение является наиболее общей и полной формой описания передаточных свойств элементов АСУ.

Для элемента имеющего один входной сигнал $x(t)$ и один выходной $y(t)$ обыкновенное дифференциальное уравнение в общем случае имеет вид:

$$\Phi[y(t), y'(t), \dots, y^{(n)}(t); x(t), \dots, x^{(m)}(t), t] = 0,$$

где t – независимая переменная (обычно время).

Для реальных систем $m \leq n$. Это уравнение динамики (движения) элемента. Движения в широком смысле слова, когда под движением понимается любое изменение сигналов.

В функцию Φ (*дифференциальное уравнение*) входят также величины, называемые *параметрами*. Они связывают между собой аргументы $y(t)$,

$y'(t), \dots, y^{(n)}(t); x(t), \dots, x^{(m)}(t), t$) и характеризуют свойства элемента с количественной стороны. Например, *параметрами* являются масса тела, активное сопротивление, индуктивность и емкость проводника и т. д.

Большинство реальных элементов описываются нелинейными дифференциальными уравнениями, что значительно усложняет последующий анализ АСУ. Поэтому стремятся перейти от нелинейных к линейным уравнениям вида:

$$a_0 \frac{d^n y(t)}{dt^n} + a_1 \frac{d^{n-1} y(t)}{dt^{n-1}} + \dots + a_n y(t) = b_0 \frac{d^m x(t)}{dt^m} + b_1 \frac{d^{m-1} x(t)}{dt^{m-1}} + \dots + b_m x(t). \quad (1)$$

Для всех реальных элементов выполняется условие $m \leq n$. Коэффициенты $a_0, a_1 \dots a_n$ и $b_0, b_1 \dots b_m$ в уравнении (1) называются *параметрами*. Иногда параметры изменяются во времени, тогда элемент называют *нестационарным* или с *переменными параметрами*.

Дифференциальное уравнение не дает наглядного представления о динамических свойствах элемента, но такое представление дает функция $y(t)$, т.е. решение этого уравнения. Одно и то же дифференциальное уравнение может иметь множество решений, зависящих от начальных условий и характера входного воздействия $x(t)$, что неудобно при сопоставлении динамических свойств различных элементов. Поэтому было решено характеризовать эти свойства элемента только *одним* решением дифференциального уравнения, полученным при *нулевых* начальных условиях и одним из *типовых* воздействий: единичном ступенчатом, дельта-функции, гармоническом, линейном. Наиболее наглядное представление о динамических свойствах элемента дает его *переходная функция* $h(t)$.

Переходная функция $h(t)$ элемента – изменение во времени выходной величины $y(t)$ элемента при единичном ступенчатом воздействии и нулевых начальных условиях. Переходная функция может быть задана:

- в виде графика;
- в аналитическом виде.

Характеристическое уравнение – алгебраическое уравнение, степень и коэффициенты которого совпадают с порядком и коэффициентами левой части линейного дифференциального уравнения вида (1):

$$a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_n = 0.$$

Наиболее распространенным методом описания и анализа АСУ является операционный метод (метод операционного исчисления), в основе которого лежит прямое интегральное преобразование Лапласа для непрерывных функций $F(p) = Z \{ f(t) \} = \int_0^{\infty} f(t) e^{-pt} dt$. Это преобразование устанавливает соответствие между функцией действительной переменной t

и функцией комплексной переменной $p = \alpha + j\beta$. Функцию $f(t)$, входящую в интеграл Лапласа, называют *оригиналом*, а результат интегрирования – функцию $F(p)$ – *изображением* функции $f(t)$ по Лапласу. Преобразование выполнимо лишь для функций, которые равны нулю при $t < 0$. Формально это условие в теории управления обеспечивается умножением функции $f(t)$ на единичную ступенчатую функцию $1(t)$ или выбором начала отсчета времени с момента, до которого $f(t) = 0$.

Операционный метод в теории управления получил широкое распространение, так как с его помощью определяют так называемую *передаточную функцию*, которая является самой компактной формой описания динамических свойств элементов и систем. Применяя прямое преобразование Лапласа к дифференциальному уравнению (1), получим алгебраическое уравнение:

$$D(p)Y(p) = K(p)X(p), \quad (2)$$

где $D(p) = a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_n$ – *собственный оператор*;
 $K(p) = b_0 p^m + b_1 p^{m-1} + \dots + b_m$ – *входной оператор*.

Передаточная функция – отношение изображения выходной величины к изображению входной величины при нулевых начальных условиях:

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

Тогда с учетом уравнения (2) выражение для передаточной функции принимает вид:

$$W(p) = \frac{K(p)}{D(p)} = \frac{b_0 p^m + b_1 p^{m-1} + \dots + b_m}{a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_n}.$$

Значение переменной p , при которой передаточная функция $W(p)$ обращается в бесконечность, называется *полюсом передаточной функции*. Очевидно, что полюсами являются корни собственного оператора $D(p)$. Значение переменной p , при которой передаточная функция $W(p)$ обращается в нуль, называется *нулем передаточной функции*. Очевидно, что нулями являются корни входного оператора $K(p)$. Если коэффициент $a_0 \neq 0$, то передаточная функция не имеет нулевого полюса ($p = 0$). Такой элемент называют *астатическим*, и его передаточная функция при $p = 0$ ($t = \infty$) равна *передаточному коэффициенту* $k = W(0) = \frac{b_m}{a_n}$.

Частотные характеристики описывают передаточные свойства элементов и АСУ в режиме установившихся гармонических колебаний, вызванных внешним гармоническим воздействием. Они находят применение в теории управления, так как реальные возмущения, а, следовательно, и

реакции на них элемента или АСУ могут быть представлены как сумма гармонических сигналов.

Рассмотрим *сущность* и *разновидности* частотных характеристик. Пусть на вход линейного элемента (рис. 3, а) в момент времени $t = 0$ подано гармоническое воздействие с частотой ω $x(t) = x_m \sin \omega t$.

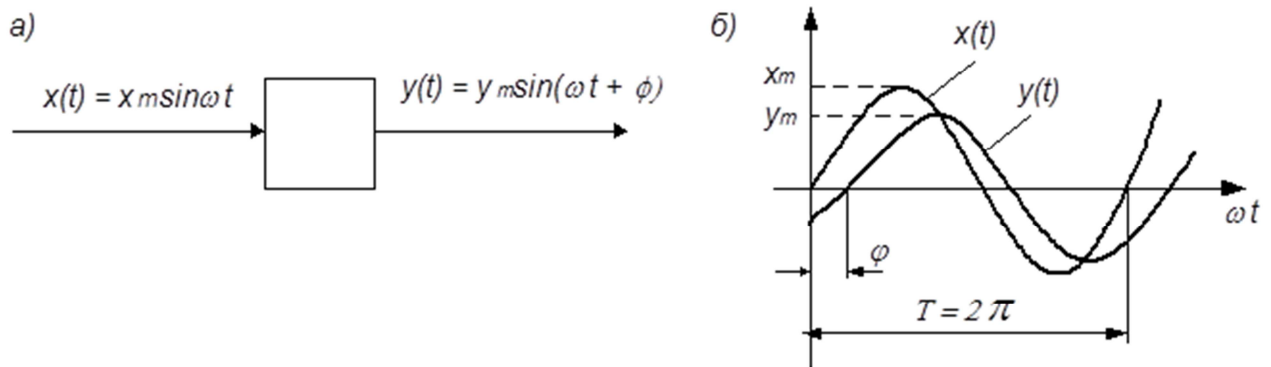


Рисунок 3. Схема и кривые, поясняющие сущность частотных характеристик

По завершении переходного процесса установится режим вынужденных колебаний и выходная величина $y(t)$ будет изменяться по тому же закону, что и входная $x(t)$, но в общем случае с другой амплитудой y_m и с фазовым сдвигом φ по оси времени относительно входного сигнала (рис. 3, б): $y(t) = y_m \sin(\omega t + \varphi)$.

Проведя аналогичный опыт, но при другой частоте ω можно увидеть, что амплитуда y_m и фазовый сдвиг φ изменились, т.е. они зависят от частоты. Можно убедиться также, что для другого элемента зависимости параметров y_m и φ от частоты ω иные. Поэтому такие зависимости могут служить характеристиками динамических свойств элементов.

В теории управления наиболее часто используют следующие частотные характеристики:

- амплитудная частотная характеристика (АЧХ);
- фазовая частотная характеристика (ФЧХ);
- амплитудно-фазовая частотная характеристика (АФЧХ).

Амплитудная частотная характеристика (АЧХ) – зависимость отношения амплитуд выходного и входного сигналов от частоты:

$$A(\omega) = \frac{y_m}{x_m}.$$

АЧХ показывает, как элемент пропускает сигналы различной частоты. Пример АЧХ приведен на рис. 4, а.

Фазовая частотная характеристика ФЧХ – зависимость фазового сдвига между входным и выходным сигналами от частоты. ФЧХ показывает, какое отставание или опережение выходного сигнала по фазе создает элемент при различных частотах. Пример ФЧХ приведен на рис. 4, б.

Амплитудную и фазовую характеристики можно объединить в одну общую – *амплитудно-фазовую частотную характеристику (АФЧХ)*. АФЧХ представляет собой функцию комплексного переменного $j\omega$. $W(j\omega) = A(\omega) e^{j\varphi(\omega)}$ (показательная форма), где $A(\omega)$ – модуль функции; $\varphi(\omega)$ – аргумент функции.

Каждому фиксированному значению частоты ω_i соответствует комплексное число $W(j\omega_i)$, которое на комплексной плоскости можно изобразить вектором, имеющим длину $A(\omega_i)$ и угол поворота $\varphi(\omega_i)$ (рис. 4, в). Отрицательные значения $\varphi(\omega)$, соответствующие отставанию выходного сигнала от входного, принято отсчитывать по часовой стрелке от положительного направления действительной оси. При изменении частоты от нуля до бесконечности вектор $W(j\omega)$ поворачивается вокруг начала координат, при этом одновременно изменяется длина вектора. Кривая, которую при этом опишет конец вектора, и есть АФЧХ. Каждой точке характеристики соответствует определенное значение частоты. Проекция вектора $W(j\omega)$ на действительную и мнимую оси называют соответственно *действительной* и *мнимой частотными характеристиками* и обозначают $P(\omega)$, $Q(\omega)$. Это позволяет записать АФЧХ в *алгебраической* форме: $W(j\omega) = P(\omega) + j Q(\omega)$. АФЧХ, как и любую комплексную величину, можно также представить в тригонометрической форме: $W(j\omega) = A(\omega) \cos \varphi(\omega) + j A(\omega) \sin \varphi(\omega)$.

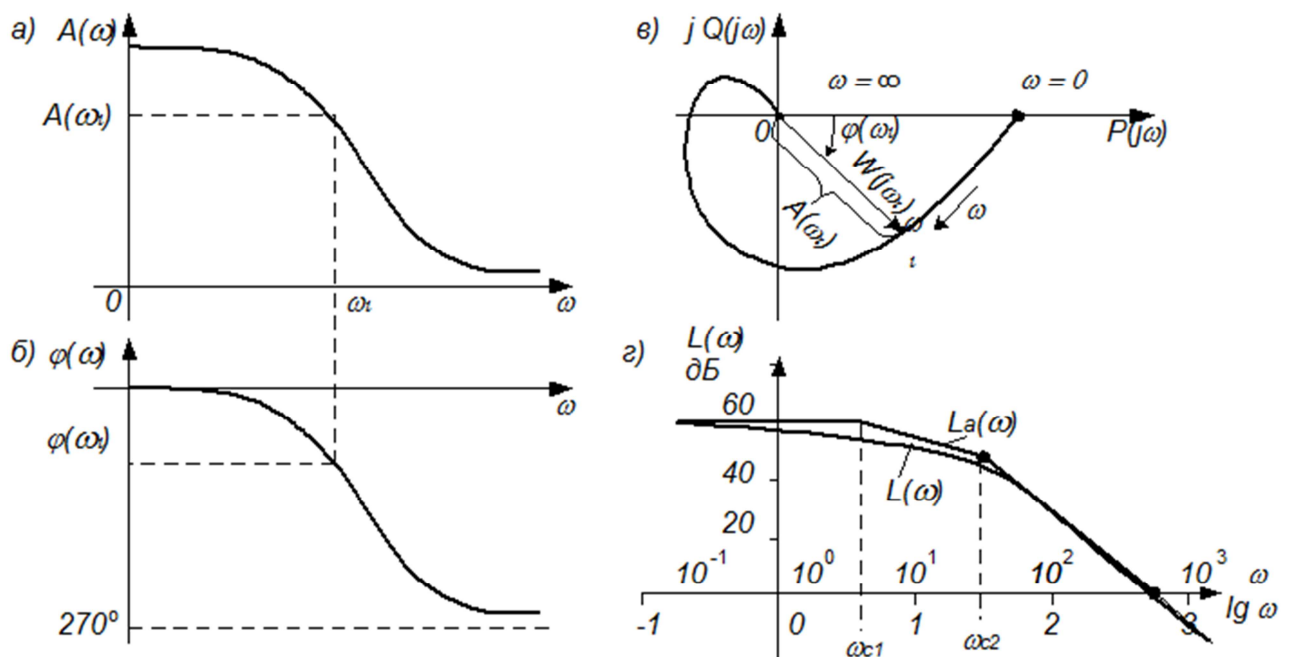


Рисунок 4. Частотные характеристики:

а – амплитудная; б – фазовая; в – амплитудно-фазовая; г – логарифмическая

Аналитическое выражение для АФЧХ конкретного элемента можно получить из его передаточной функции путем подстановки $p = j\omega$.

$$W(j\omega) = W(p) \big|_{p=j\omega}.$$

Связь между различными частотными характеристиками следующая:

$$A(\omega) = |W(j\omega)| = \sqrt{P^2(\omega) + Q^2(\omega)},$$

$$\varphi(\omega) = \arg W(j\omega) = \arctg \frac{Q(\omega)}{P(\omega)}.$$

Функциональные элементы, используемые в АСУ, могут иметь самые различные конструктивное выполнение и принципы действия. Однако общность математических выражений, связывающих входные и выходные величины различных функциональных элементов, позволяет выделить ограниченное число так называемых *типовых алгоритмических звеньев*. Каждому типовому алгоритмическому звену соответствует определенное математическое соотношение между входной и выходной величинами. Если это соотношение является *элементарным* (например, дифференцирование, умножение на постоянный коэффициент), то и звено называется *элементарным*.

Алгоритмические звенья, которые описываются обыкновенными дифференциальными уравнениями первого и второго порядка, получили название *типовых динамических звеньев*. Типовые динамические звенья являются основными составными частями алгоритмических схем непрерывных АСУ, поэтому знание их характеристик существенно облегчает анализ таких систем.

Классификацию типовых динамических звеньев удобно осуществить, рассматривая различные частные формы дифференциального уравнения

$$a_0 \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + a_1 \frac{dy(t)}{dt} + a_2 y(t) = b_0 \frac{dx(t)}{dt} + b_1 x(t). \quad (3)$$

Значения коэффициентов уравнения (3) и названия для наиболее часто применяемых звеньев приведены в табл. 3.

Таблица 3.

Значения коэффициентов уравнения (3)

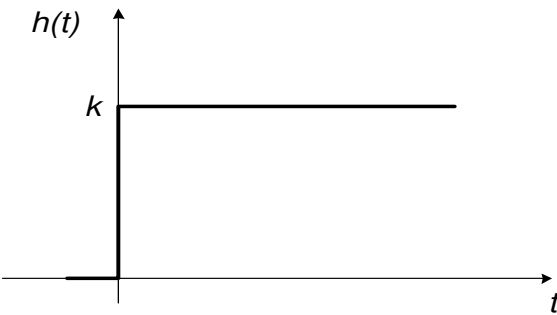
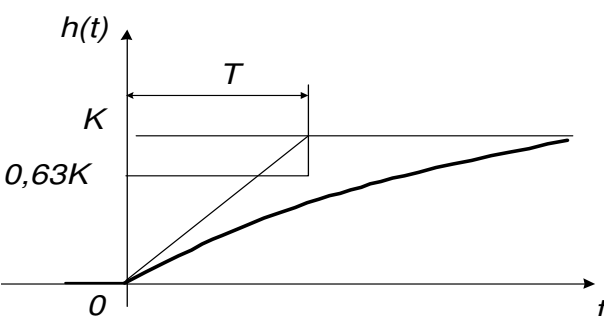
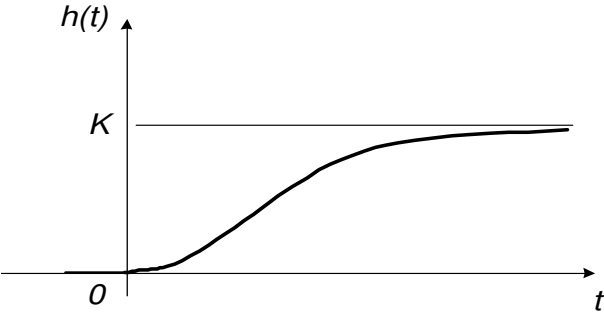
<i>n/n</i>	<i>Наименование звена</i>	<i>a₀</i>	<i>a₁</i>	<i>a₂</i>	<i>b₀</i>	<i>b₁</i>	<i>Примечание</i>
	Безинерционное (пропорциональное)	0	0	1	0	<i>k</i>	
	Инерционное 1-го порядка (апериодическое)	0	<i>T</i>	1	0	<i>k</i>	
	Инерционное 2-го порядка (апериодическое)	<i>T₂²</i>	<i>T₁</i>	1	0	<i>k</i>	<i>T₁ ≥ 2T₂</i>
	Инерционное 2-го порядка (колебательное)	<i>T₂²</i>	<i>T₁</i>	1	0	<i>k</i>	<i>T₁ < 2T₂</i>

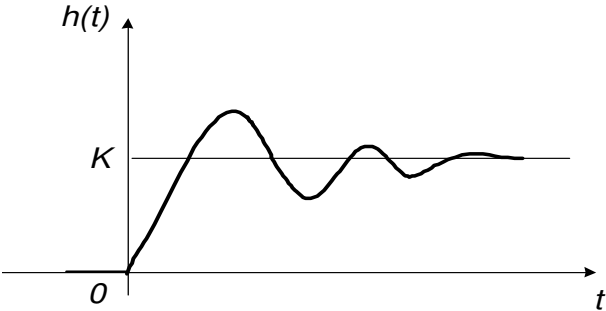
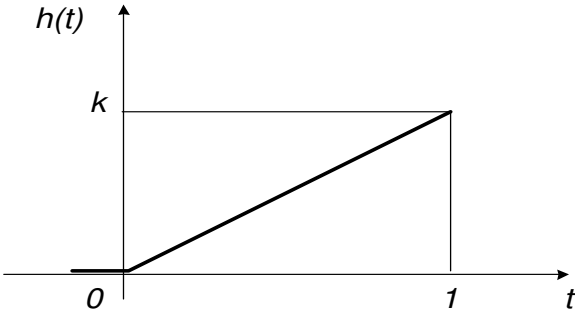
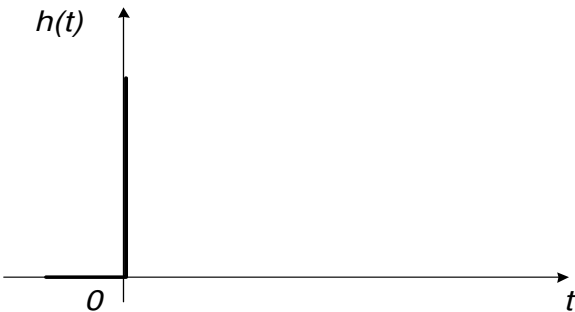
	Идеальное интегрирующее	0	1	0	0	k	
	Идеальное дифференцирующее	0	0	1	k	0	
	Реальное дифференцирующее	0	T	1	k	0	

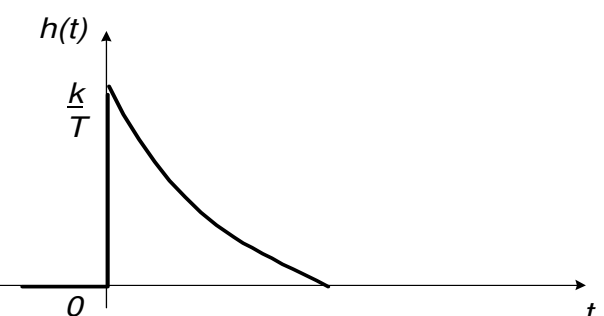
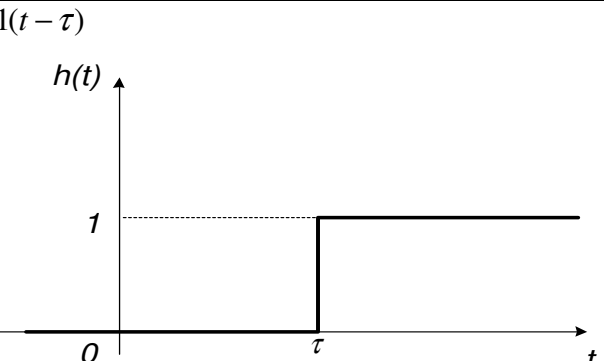
Передаточные и переходные функции для наиболее часто применяемых звеньев приведены в табл. 4.

Таблица 4.

Передаточные и переходные функции типовых динамических звеньев

№	Наименование звена и описывающее его уравнение	Передаточная функция $W(p)$	Переходная функция $h(t)$
1	Безинерционное (пропорциональное) $y(t) = kx(t)$	k	$k1(t)$ 
2	Инерционное 1-го порядка (апериодическое) $T \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = kx(t)$	$\frac{k}{Tp + 1}$	$k(1 - e^{-t/T})1(t)$ 
3	Инерционное 2-го порядка (апериодическое) $T_2^2 \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + T_1 \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = kx(t)$ $T_1 \geq 2T_2$	$\frac{k}{T_2^2 p^2 + T_1 p + 1}$ $T_1 \geq 2T_2$	$k(1 - \frac{T_3}{T_3 - T_4} e^{-t/T_3} + \frac{T_4}{T_3 - T_4} e^{-t/T_4})1(t)$, где $T_3 + T_4 = T_1$; $T_3 T_4 = T_2^2$. 

4	Инерционное 2-го порядка (колебательное) $T_2^2 \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + T_1 \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = kx(t)$ $T_1 < 2T_2$	$\frac{k}{T_2^2 p^2 + T_1 p + 1}$ $T_1 < 2T_2$	$k \left[1 - \frac{1}{\beta T_2} e^{-\alpha t} \sin(\beta t + \varphi) \right] 1(t),$ где $\beta = \sqrt{1 - \xi^2} / T_2$; $\varphi = \arccos \xi$; $\xi = T_1 / 2T_2$. 
5	Идеальное интегрирующее $\frac{dy(t)}{dt} = kx(t)$	$\frac{k}{p}$	$kt1(t)$ 
6	Идеальное дифференцирующее $y(t) = k \frac{dx(t)}{dt}$	kp	$k\delta(t)$ 
7	Реальное дифференцирующее $T \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = k \frac{dx(t)}{dt}$	$\frac{kp}{Tp + 1}$	$\frac{k}{T} e^{-t/T}$

			
8	Звено запаздывания $y(t) = x(t - \tau)$	$e^{-p\tau}$	

Для анализа АСУ используются их алгоритмические схемы. Для упрощения (свертывания) сложных алгоритмических схем применяют правила их преобразования. Три главных правила относятся к трем типовым соединениям элементов:

- последовательному;
- параллельному;
- встречно-параллельному (охват обратной связью).

Если эти соединения состоят из элементов направленного действия (с детектирующим свойством), то каждое такое соединение может быть заменено одним элементом, статические и динамические характеристики которого эквивалентны свойствам соединения. Рассмотрим эти типовые соединения звеньев при известности их передаточных функций.

Последовательное соединение звеньев.

Найдем передаточную функцию $W(p)$ звена (рис. 5, б), эквивалентного последовательному соединению звеньев (рис. 5, а).

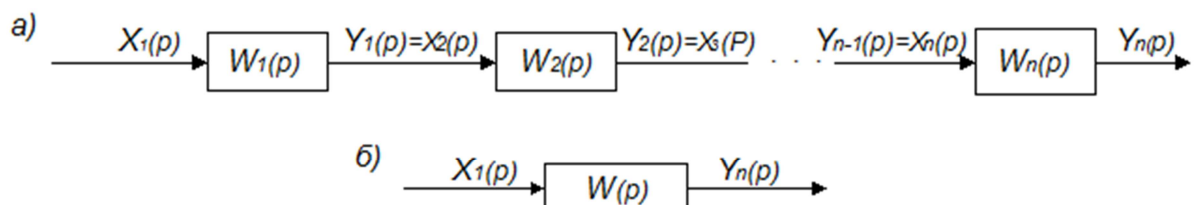


Рисунок 5. Алгоритмические схемы последовательного соединения звеньев (а) и эквивалентного ему звена (б)

Искомая передаточная функция эквивалентного звена:

$$W(p) = \frac{Y_n(p)}{X_1(p)} = \frac{Y_n(p)}{X_n(p)} \cdot \frac{X_n(p)}{X_{n-1}(p)} \cdot \dots \cdot \frac{X_2(p)}{X_1(p)} = \frac{Y_n(p)}{X_n(p)} \cdot \frac{Y_{n-1}(p)}{X_{n-1}(p)} \cdot \dots \cdot \frac{Y_1(p)}{X_1(p)} =$$

$$= W_n(p) \cdot W_{n-1}(p) \cdot \dots \cdot W_1(p) = \prod_{i=1}^n W_i(p).$$
(22)

Параллельное соединение звеньев.

Найдем передаточную функцию $W(p)$ звена (рис. 6, б), эквивалентного параллельному соединению звеньев (рис. 6, а).

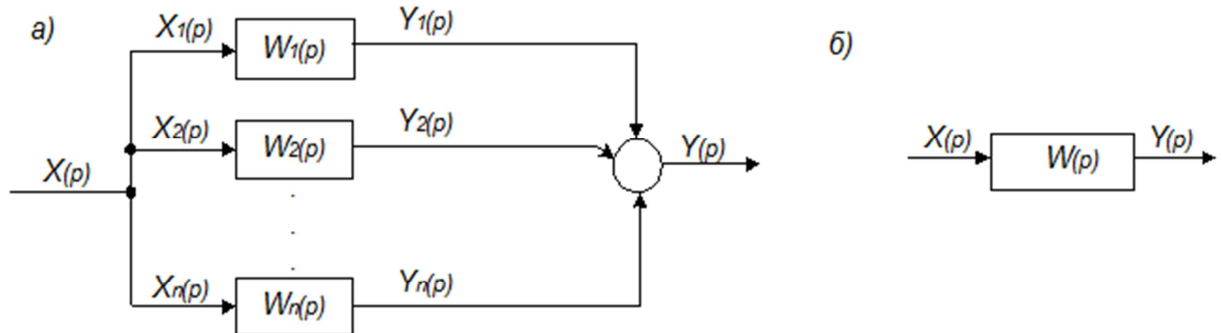


Рисунок 6. Алгоритмические схемы параллельного соединения звеньев (а) и эквивалентного ему звена (б)

Искомая передаточная функция эквивалентного звена:

$$W(p) = \frac{Y(p)}{X(p)} = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i(p)}{X(p)} = \sum_{i=1}^n \frac{Y_i(p)}{X(p)} = \sum_{i=1}^n W_i(p).$$
(23)

Встречно-параллельное соединение звеньев.

Найдем передаточную функцию $W(p)$ звена (рис. 7, б), эквивалентного встречно-параллельному соединению звеньев (рис. 7, а).

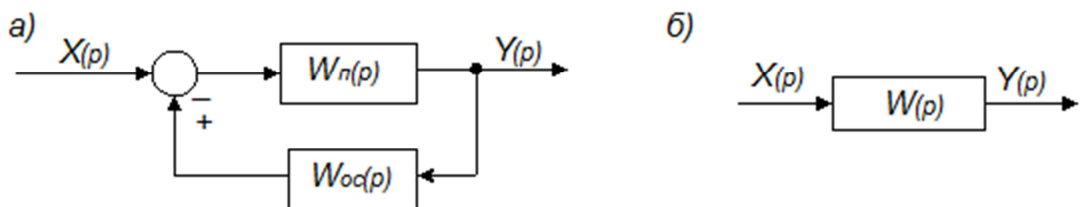


Рисунок 7. Алгоритмические схемы встречно-параллельного соединения звеньев (а) и эквивалентного ему звена (б)

Передаточная функция соединения:

$$W(p) = \frac{Y(p)}{X(p)}. \quad (4)$$

Но при этом:

$$Y(p) = W_{\pi}(p)[X(p) \mp W_{oc}(p)Y(p)]. \quad (5)$$

Здесь $W_{\pi}(p)$ и $W_{oc}(p)$ – передаточные функции соответственно прямой цепи и цепи обратной связи встречно-параллельного соединения звеньев. После деления обеих частей равенства (25) на $X(p)$ получаем:

$$\frac{Y(p)}{X(p)} = W_{\pi}(p) \left[1 \mp W_{oc}(p) \frac{Y(p)}{X(p)} \right]. \quad (6)$$

Учитывая соотношение (4) в равенстве (6), последнее приводим к виду:

$$W(p) = W_{\pi}(p) [1 \mp W_{oc}(p)W(p)]. \quad (7)$$

Решая уравнение (7), находим искомую передаточную функцию эквивалентного звена:

$$W(p) = \frac{W_{\pi}(p)}{1 \pm W_{\pi}(p)W_{oc}(p)}.$$

При отрицательной обратной связи передаточная функция эквивалентного звена:

$$W(p) = \frac{W_{\pi}(p)}{1 + W_{\pi}(p)W_{oc}(p)}.$$

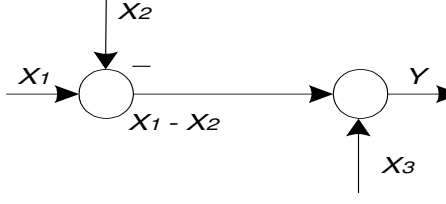
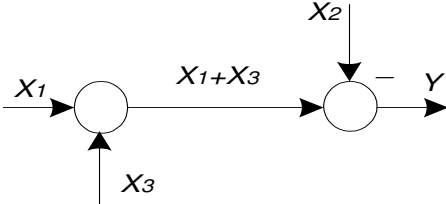
При положительной обратной связи передаточная функция эквивалентного звена:

$$W(p) = \frac{W_{\pi}(p)}{1 - W_{\pi}(p)W_{oc}(p)}.$$

Для устранения перекрестных связей следует использовать ряд вспомогательных правил преобразований алгоритмических схем, которые приведены в табл. 5.

Таблица 5.

Вспомогательные правила преобразования алгоритмических схем

№	Операция	Исходная схема	Преобразованная схема
1	Перестановка сумматоров		

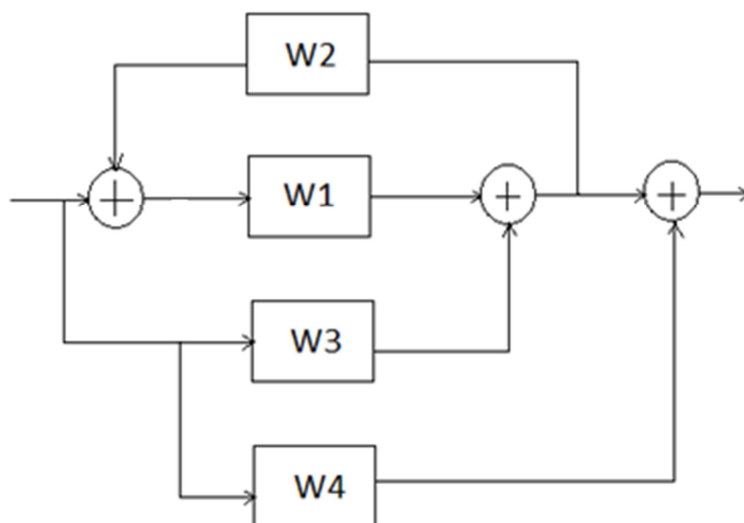
2	Перестановка узлов разветвления		
3	Перенос узла разветвления через звено вперед		
4	Перенос узла разветвления через звено назад		
5	Перенос сумматора через звено вперед		
6	Перенос сумматора через звено назад		

С помощью рассмотренных правил удастся преобразовать любую алгоритмическую схему, не содержащую *перекрестных связей* между звеньями, в простейший вид (рис. 7, б). Если же схема многоконтурная и содержит перекрестные связи, то эти правила можно применять лишь после устранения этих перекрестных связей [2].

1.3. Пример выполнения курсовой работы

Вариант 1.

Исходные данные:



W_1	W_2	W_3	W_4
22	$\frac{4p}{5p+1}$	$\frac{5}{p+1}$	$\frac{5}{56p^2+3p+1}$

Решение:

1. Построение частотных характеристик (АЧХ, ФЧХ, АФХ) типовых звеньев, входящих в систему автоматического управления.

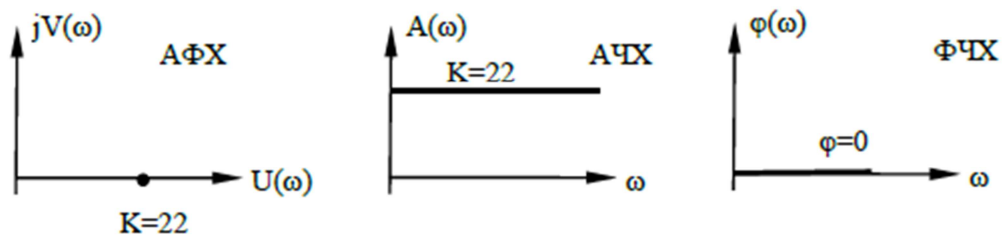
Звено $W_1 = 22$ является усилительным звеном.

АФХ $\varphi_1(\omega) = 22 = 2 + 0$

АЧХ $A_1(\omega) = k = 22$

ФЧХ $\varphi_1(\omega) = 0$

Построим графики частотных характеристик:



Звено W_4 является инерционным звеном второго порядка с передаточной функцией вида:

$$W_4 = \frac{5}{56p^2 + 3p + 1} = \frac{k}{T_2^2 p^2 + T_1 p + 1}$$

где $k = 5$, $T_2^2 = 56$, $T_1 = 3$.

АЧХ и ФЧХ звена рассчитываются по уравнениям:

$$A(\omega) = \frac{k}{\sqrt{T_1^2 + (1 - T_2^2 \omega^2)^2}} \quad \varphi(\omega) = \begin{cases} -\arctg \frac{T_1 \omega}{1 - T_2^2 \omega^2} & \text{при } \omega \leq 1/T \\ -\pi - \arctg \frac{T_1 \omega}{1 - T_2^2 \omega^2} & \text{при } \omega > 1/T \end{cases}$$

Подставив числовые значения, получим:

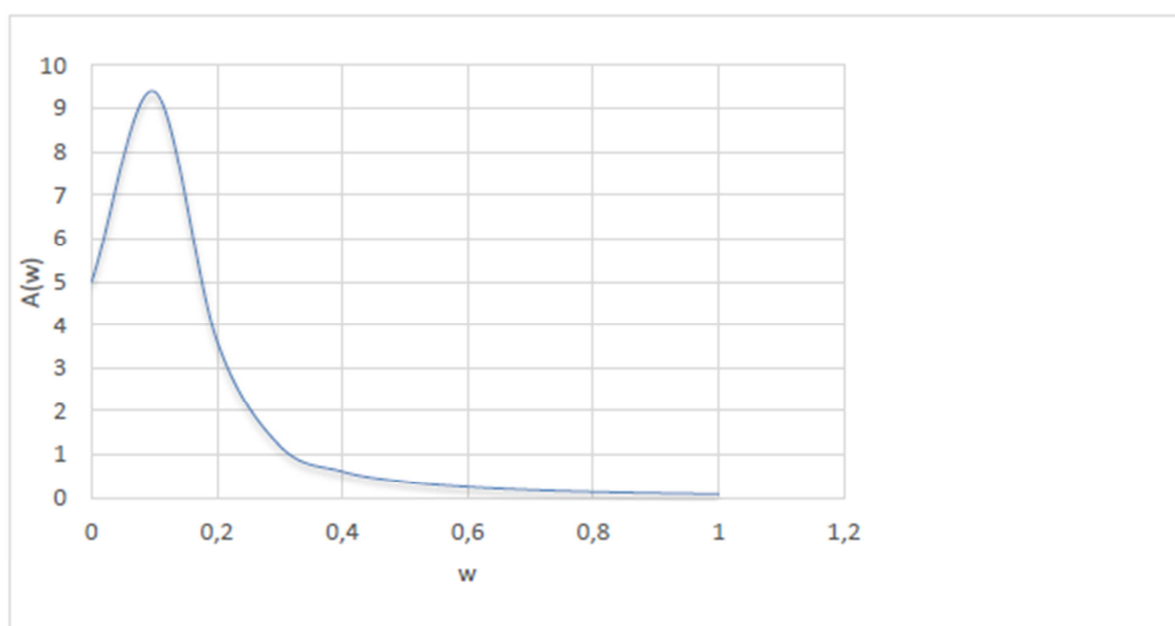
$$A_1(\omega) = \frac{5}{\sqrt{(1 - 56\omega^2)^2 + (3\omega)^2}}$$

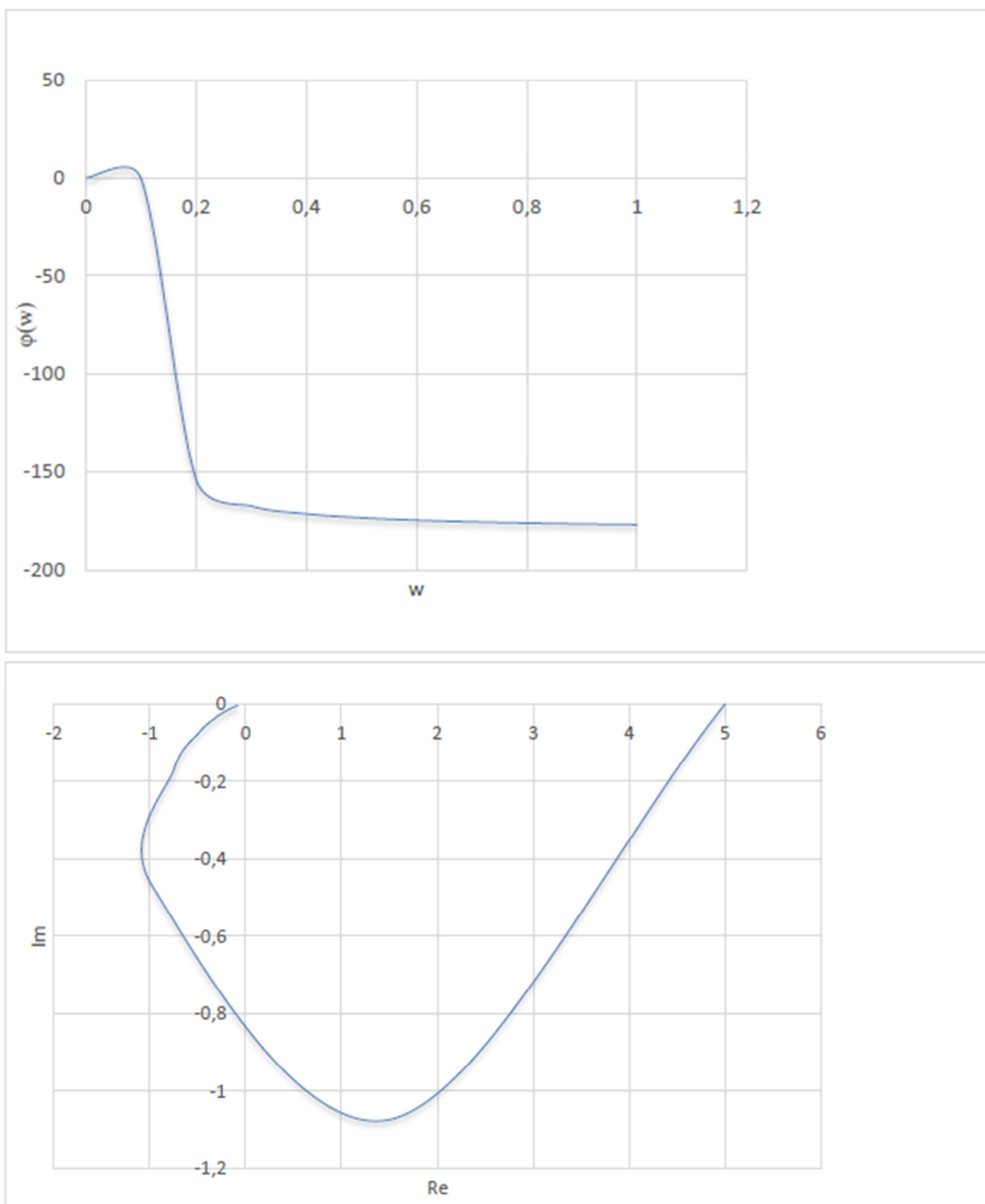
$$\varphi_1 = \begin{cases} -\arctg \frac{3\omega}{1 - 56\omega^2} & \text{при } \omega \leq 0,03 \\ -\pi - \arctg \frac{3\omega}{1 - 56\omega^2} & \text{при } \omega > 0,03 \end{cases}$$

В таблице приведены численные значения частотных характеристик звена W_4 при изменении частоты от 0 до $+\infty$.

ω	A	ϕ	Im	Re
0	5	0	0	5
0,1	9,388947077	-0,598418893	1,06868054	1,56739812
0,2	3,629674401	-154,179008	0,47039639	0,97215253
0,3	1,208011424	-167,4411631	0,16537065	0,74233048
0,4	0,621122326	-171,4270016	0,07253245	0,48113189
0,5	0,38208036	-173,4180553	0,03764115	0,32622334
0,6	0,25981631	-174,6330589	0,02191564	0,23327983
0,7	0,188513743	-175,4588093	-0,0138456	0,17432271
0,8	0,143173902	-176,059329	0,00929321	0,13490641
0,9	0,112505953	-176,5169523	0,00653494	0,10736659
1	0,090774155	-176,8778695	0,00476796	0,08741259

Графики:



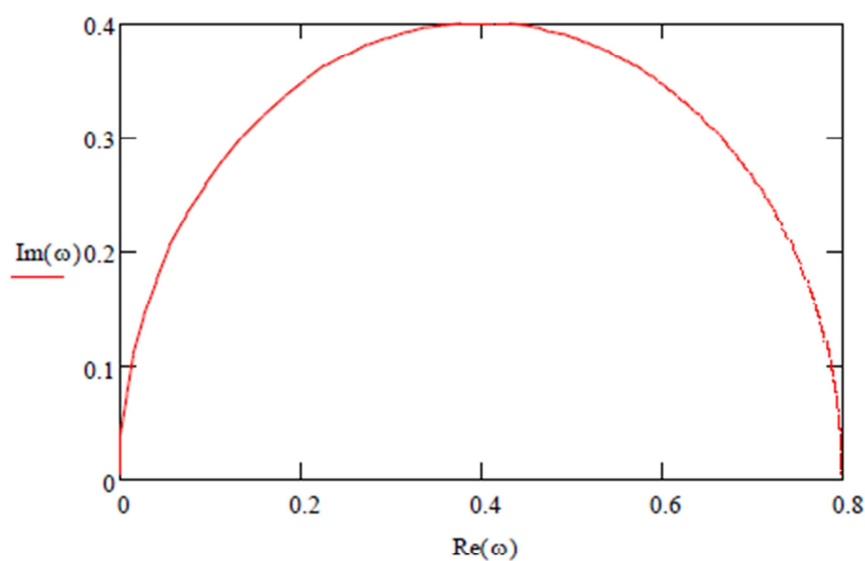


Звено W_2 является реальным дифференциальным звеном, частотные характеристики которого построены с помощью программного средства Mathcad.

$$W_2 = \frac{4p}{5p+1},$$

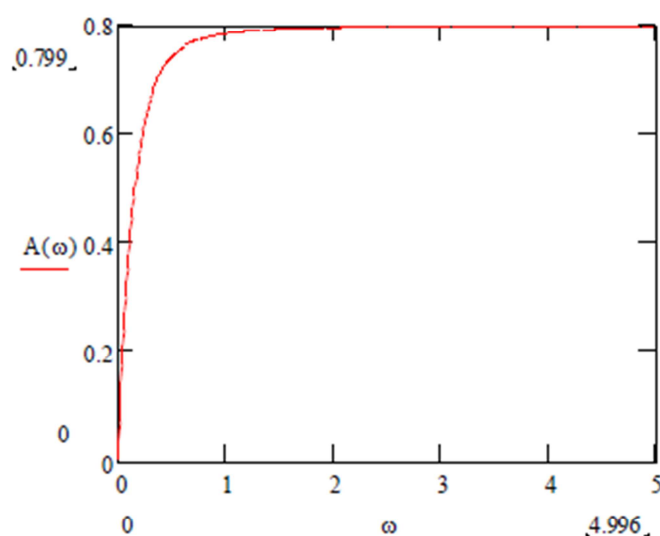
$$k := 4 \quad T := 5 \quad \omega := 0.001, 0.01, 0.5$$

$$\text{Re}(\omega) := \frac{k \cdot T \cdot \omega^2}{1 + T^2 \cdot \omega^2} \quad \text{Im}(\omega) := \frac{k \cdot \omega}{1 + T^2 \cdot \omega^2}$$

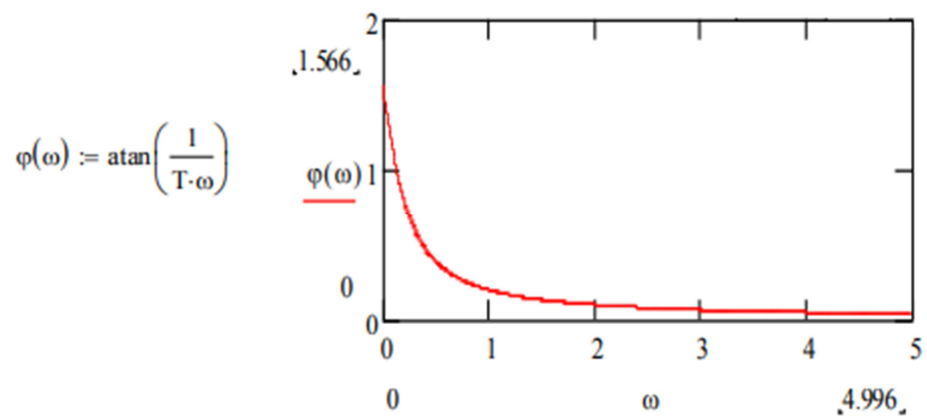


Re(ω) =	Im(ω) =
2·10 ⁻⁵	4·10 ⁻³
1.995·10 ⁻³	0.04
7.155·10 ⁻³	0.075
0.015	0.11
0.026	0.143
0.04	0.175
0.056	0.205
0.074	0.232
0.094	0.258
0.115	0.281
0.137	0.302
0.16	0.32
0.183	0.336
0.207	0.35
0.23	0.362
0.253	0.372

$$A(\omega) := \frac{k \omega}{\sqrt{1 + T^2 \cdot \omega^2}}$$



ω =	A(ω) =	φ(ω) =
1·10 ⁻³	4·10 ⁻³	1.566
0.01	0.04	1.521
0.019	0.076	1.476
0.028	0.111	1.432
0.037	0.146	1.388
0.046	0.179	1.345
0.055	0.212	1.302
0.064	0.244	1.261
0.073	0.274	1.221
0.082	0.303	1.182
0.091	0.331	1.144
0.1	0.358	1.107
0.109	0.383	1.072
0.118	0.407	1.038
0.127	0.429	1.005
0.136	0.45	0.974



Звено W_3 является инерционным звеном первого порядка:

$$W_3 = \frac{5}{p+1}$$

$$\omega := 0, 0.1..100$$

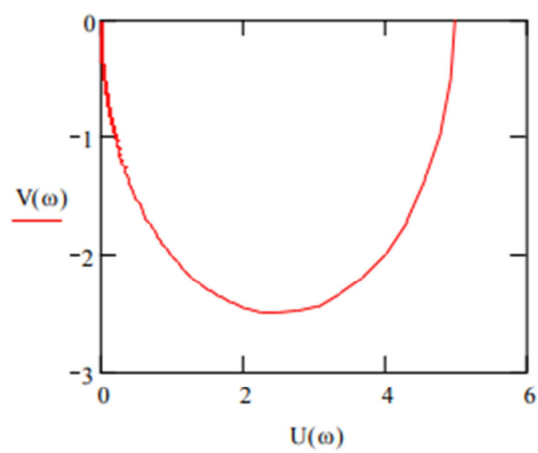
$$k := 5$$

$$T := 1$$

$$W(\omega) := \frac{k}{i \cdot \omega + 1}$$

$$U(\omega) := \operatorname{Re}(W(\omega))$$

$$V(\omega) := \operatorname{Im}(W(\omega))$$

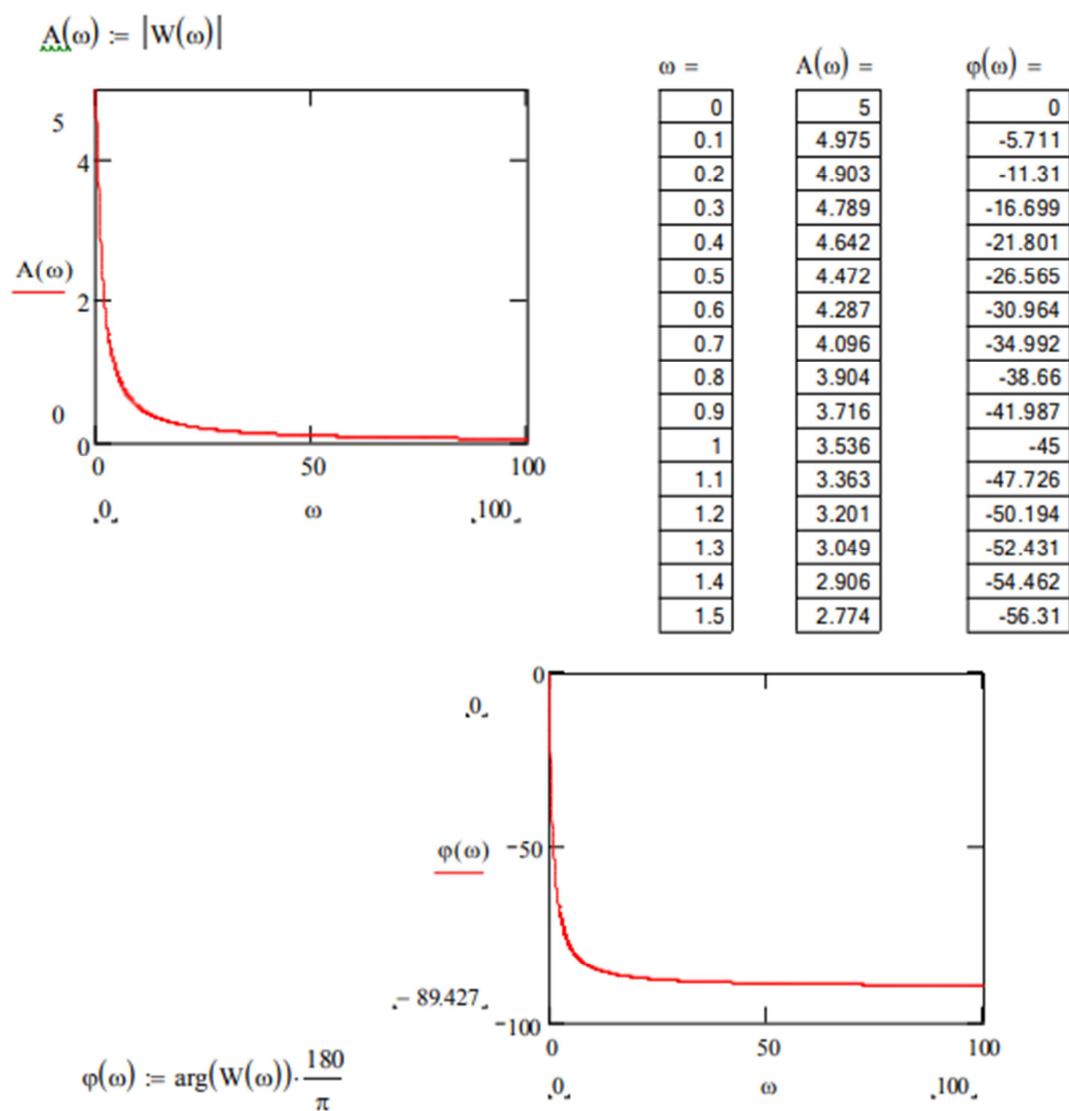


$$U(\omega) =$$

5
4.95
4.808
4.587
4.31
4
3.676
3.356
3.049
2.762
2.5
2.262
2.049
1.859
1.689
1.538

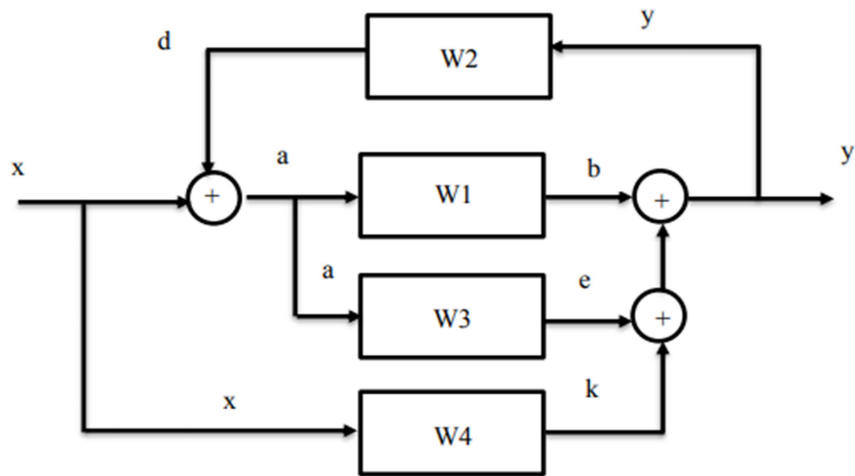
$$V(\omega) =$$

0
-0.495
-0.962
-1.376
-1.724
-2
-2.206
-2.349
-2.439
-2.486
-2.5
-2.489
-2.459
-2.416
-2.365
-2.308



2. Преобразование исходной структурной схемы системы автоматического управления.

Для получения передаточной функции исходной системы автоматического управления все внутренние сигналы обозначаются буквами:



Проведем преобразования:

$$w4 = \frac{k}{x}; y = b + c; b = a \cdot w1; c = e + k; e = a \cdot w3; k = x \cdot w4; d = w2 \cdot y;$$

$$a = d + x = w2 \cdot y + x;$$

$$y = w1 \cdot w2 \cdot y + x + (w2 \cdot y + x) \cdot w3 + w4 \cdot x$$

$$= w1 \cdot w2 \cdot y + x + w2 \cdot w3 \cdot y + w3 \cdot x + x \cdot w4;$$

$$y - w1 \cdot w2 \cdot y - w2 \cdot w3 \cdot y = x + w3 \cdot x + w4 \cdot x;$$

$$y(1 - w1 \cdot w2 - w2 \cdot w3) = x(1 + w3 + w4);$$

$$w(p) = \frac{y}{x} = \frac{1 + w3 + w4}{1 - w1 \cdot w2 - w2 \cdot w3}$$

Передаточная функция системы имеет вид:

$$W(p) = \frac{1 + W_3 + W_4}{1 - W_1 W_2 - W_2 W_3}$$

Подставив в общую передаточную функцию передаточные функции входящих с соединением элементов, получим:

$$W(p) = \frac{1 + \frac{5}{p+1} + \frac{5}{56p^2 + 3p + 1}}{1 - 22 \cdot \frac{4p}{5p+1} - \frac{4p}{5p+1} \cdot \frac{5}{p+1}} =$$

$$= \frac{\frac{(56p^2 + 3p + 1)(p+1) + (56p^2 + 3p + 1)5 + 5(p+1)}{(56p^2 + 3p + 1)(p+1)}}{\frac{(p+1)(5p+1) - (p+1)22 \cdot 4p - 4p(p+1) + (5p+1)5}{(5p+1)(p+1)}}$$

$$= \frac{280p^4 + 1751p^3 + 459p^2 + 54p + 6}{-5768p^4 - 6131p^3 + 578p^2 + 113p + 6}$$

3. Построение частотных характеристик преобразованной схемы.

Частотные характеристики преобразованного соединения имеют вид:

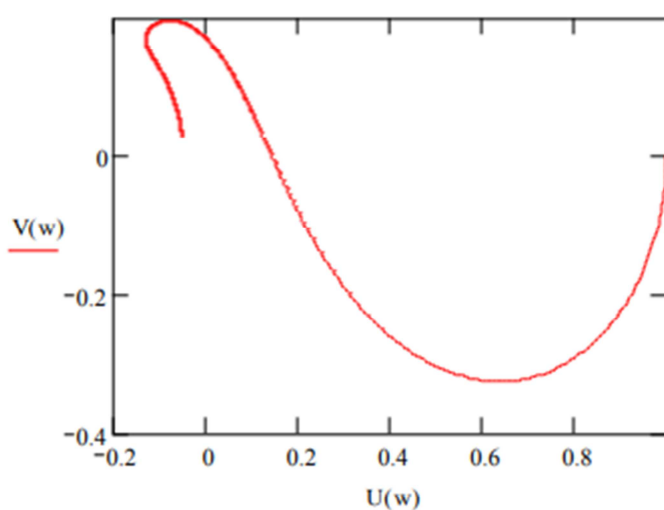
$$W(p) := \frac{280p^4 + 1751p^3 + 459p^2 + 54p + 6}{-5768p^4 - 6131p^3 + 578p^2 + 113p + 6}$$

$$W(p) \text{ simplify} \rightarrow \frac{-(280p^4 + 1751p^3 + 459p^2 + 54p + 6)}{5768p^4 + 6131p^3 - 578p^2 - 113p - 6}$$

$$w := 0.0001, 0.001, 1, 10$$

$$U(w) := \operatorname{Re}(W(j \cdot w))$$

$$V(w) := \operatorname{Im}(W(j \cdot w))$$



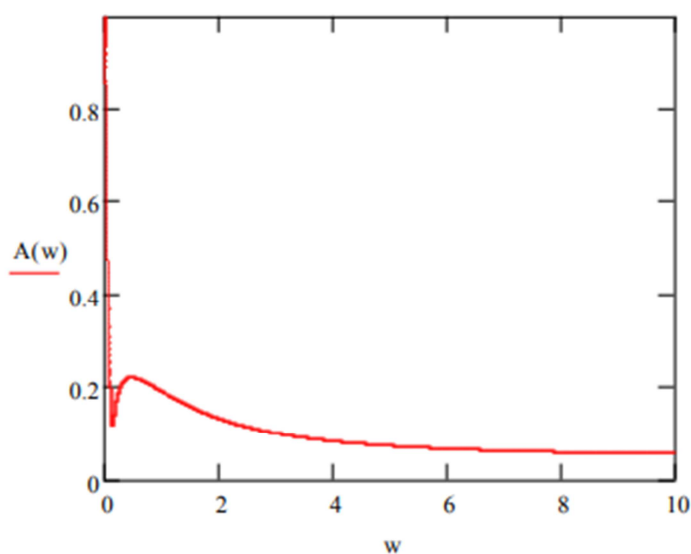
$$V(w) =$$

-9.833·10 ⁻⁴
-9.832·10 ⁻³
-0.019
-0.028
-0.036
-0.045
-0.054
-0.063
-0.071
-0.08
-0.089
-0.097
-0.106
-0.115
-0.123
-0.131

$$U(w) =$$

1
1
0.999
0.999
0.998
0.996
0.995
0.993
0.991
0.989
0.986
0.983
0.98
0.977
0.973
0.969

$$A(w) := |W(j \cdot w)|$$



$$A(w) =$$

1
1
1
0.999
0.998
0.998
0.996
0.995
0.994
0.992
0.99
0.988
0.986
0.984
0.981
0.978

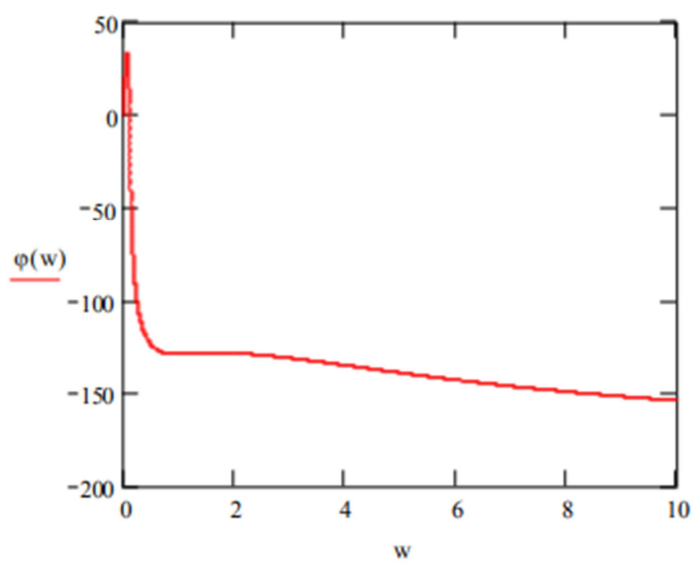
$$\varphi(w) =$$

0.056
0.563
1.071
1.578
2.086
2.594
3.103
3.613
4.123
4.634
5.146
5.659
6.173
6.688
7.204
7.721

$$w =$$

1·10 ⁻⁴
1·10 ⁻³
1.9·10 ⁻³
2.8·10 ⁻³
3.7·10 ⁻³
4.6·10 ⁻³
5.5·10 ⁻³
6.4·10 ⁻³
7.3·10 ⁻³
8.2·10 ⁻³
9.1·10 ⁻³
0.01
0.011
0.012
0.013
0.014

$$\varphi(w) \doteq \frac{-\arg(W(j \cdot w))}{\deg}$$



ЧАСТЬ II. ВЫПОЛНЕНИЕ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ТЕОРИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ»

Одним из способов формирования компетенций по дисциплине «Теория автоматического управления» является выполнение контрольной (семестровой) работы.

Контрольная работа выполняется самостоятельно; по ней определяется степень усвоения студентом учебной дисциплины. Контрольная работа должна представляться в сроки, указанные в личном учебном графике. Это дает возможность студенту, не получившему зачет, внести исправления в работу либо написать новую работу с учетом всех замечаний рецензента. Вновь выполненную работу вместе с незачётной следует выслать на проверку, написав на обложке – "повторно".

Перед выполнением контрольной работы необходимо изучить учебно-методические материалы в соответствии с программой дисциплины по источникам, указанным в соответствующем варианте задания.

Необходимо помнить, что основная цель контрольной работы, это описание выбранной темы с учетом прочитанного материала [3].

2.1. Название, содержание разделов и пример выполнения контрольной работы

Контрольная работа называется «Исследование эффективности систем автоматического управления» и состоит из 3 заданий. В первом задании рассчитываются численные значения коэффициентов передаточной функции объекта управления. Во втором задании проверяются навыки расчета оптимальных параметров для элементов систем управления. В третьем задании исследуется эффективность систем автоматического управления и их переходных процессов. Ниже приведены варианты индивидуальных заданий для выполнения контрольной работы.

Вариант № 1

t	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
y	0	0	0	0,3	0,9	1,3	2,1	3	4	5,2	7	9	10,5	11,6	12,5	13,1	13,8	14	14,2	14,3	14,5	14,5	14,5	14,5	14,5	14,5

Вариант № 2

t	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
y	0	0	0,1	0,4	1	1,5	2,2	3,1	4,1	5,3	7	8,7	10,2	11,8	12,8	13,5	14,1	14,5	14,8	14,9	15	15	15	15	15	15

Вариант № 3

y	t
0	0
0	1
0	2
0,5	3
1,1	4
1,8	5
3	6
4,2	7
5,5	8
7,1	9
8,5	10
10	11
11	12
12	13
13	14
13,	15
14,	16
14,	17
15	18
15,	19
15,	20
15,	21
15,	22
15,	23
15,	24
15,	25

Вариант № 4

y	t
0	0
0,1	1
0,2	2
0,5	3
1	4
1,8	5
2,7	6
3,7	7
4,8	8
6,1	9
8	10
9,5	11
11	12
12,3	13
13,3	14
14	15
14,6	16
15	17
15,6	18
15,9	19
16	20
16,2	21
16,2	22
16,2	23
16,2	24
16,2	25

Вариант № 5

y	t
0	0
0,1	1
0,4	2
1	3
1,9	4
3	5
4	6
5,5	7
7,5	8
9,2	9
10,9	10
12,2	11
13,5	12
14,5	13
15,3	14
16	15
16,5	16
16,9	17
17,1	18
17,1	19
17,1	20
17,1	21
17,1	22
17,1	23
17,1	24

Вариант № 6

y	t
0	0
0	1
0	2
0,4	3
0,8	4
1,4	5
2,3	6
3,2	7
4,8	8
6,4	9
9	10
10,6	11
12,3	12
13,5	13
14,3	14
15,3	15
16,1	16
16,7	17
17,2	18
17,6	19
17,8	20
17,9	21
17,9	22
17,9	23

Вариант № 7

y	t
0	0
0	1
0	2
0,2	3
0,9	4
1,2	5
2	6
3,1	7
4	8
5	9
6,5	10
8	11
9,2	12
11,1	13
12,5	14
13	15
13,2	16
13,4	17
13,5	18
13,5	19
13,5	20
13,5	21
13,5	22
13,5	23
13,5	24
13,5	25

Вариант № 8

y	t
0	0
0	1
0,1	2
0,2	3
0,6	4
1,3	5
2	6
3	7
4,5	8
6	9
7,8	10
9	11
10	12
11	13
11,5	14
12	15
12,5	16
13	17
13,1	18
13,2	19
13,3	20
13,5	21
13,5	22
13,5	23
13,5	24
13,5	25

Вариант № 9

y	t
0	0
0,1	1
0,2	2
0,4	3
1	4
1,7	5
2,5	6
3,6	7
5,3	8
7	9
9	10
10,8	11
12,1	12
13,2	13
14,1	14
14,8	15
15,3	16
15,7	17
15,8	18
15,8	19
15,8	20
15,8	21
15,8	22

Вариант № 10

y	t
0	0
0,01	1
0,2	2
0,6	3
1,1	4
1,9	5
3,1	6
4,6	7
6	8
7,5	9
9	10
10	11
11	12
11,8	13
12,5	14
13,1	15
13,6	16
13,9	17
14	18
14	19
14	20
14	21
14	22
14	23
14	24
14	25

Вариант № 11

y	t
0	0
0	1
0	2
0,4	3
0,91,4	4
2,1	5
3,2	6
4,5	7
6	8
8	9
9,4	10
10,6	11
11,3	12
12,5	13
13,2	14
13,9	15
14,5	16
14,8	17
14,9	18
15	19
15	20
15	21
15	22
15	23
15	24
15	25

Вариант № 12

y	t
0	0
0	1
0,4	2
0,5	3
0,8	4
1,5	5
2	6
2,9	7
3,9	8
5	9
6	10
7,3	11
8,4	12
9,8	13
11	14
12,1	15
13,2	16
14,3	17
15,2	18
16	19
16,6	20
17	21
17,4	22
17,7	23
17,9	24
18	25

Вариант № 13

y	t
0	0
0,1	1
0,4	2
0,8	3
1,4	4
2,2	5
3,1	6
4,3	7
5,5	8
7,2	9
8,6	10
9,8	11
10,9	12
11,8	13
12,5	14
13,1	15
13,7	16
14,3	17
14,7	18
15,1	19
15,4	20
15,6	21
15,8	22
15,9	23
16	24
16	25

Вариант № 14

y	t
0	0
0	1
0	2
0,6	3
1,2	4
2	5
3	6
4,4	7
6	8
7,4	9
8,9	10
10,2	11
11,3	12
12,2	13
12,8	14
13,4	15
13,8	16
14	17
14	18
14	19
14	20
14	21
14	22
14	23
14	24
14	25

Вариант № 15

y	t
0	0
0	1
0,2	2
0,8	3
1,8	4
2,8	5
4	6
5,8	7
7	8
8,7	9
10	10
11,5	11
13,3	12
14	13
14,8	14
14,9	15
15,1	16
15,3	17
15,5	18
15,5	19
15,5	20
15,5	21
15,5	22
15,5	23
15,5	24
15,5	25

Вариант № 16

y	t
0	0
0	1
0,4	2
0,8	3
1,6	4
2,2	5
3,2	6
4,3	7
5,7	8
7,2	9
8,8	10
10,2	11
11,4	12
12,3	13
13	14
13,6	15
14	16
14,3	17
14,4	18
14,5	19
14,55	20
14,6	21
14,6	22

Вариант № 17

y	t
0	0
0,2	1
0,5	2
1	3
1,8	4
2,7	5
3,8	6
5,2	7
6,6	8
8	9
9,8	10
11,3	11
12,8	12
13,8	13
14,8	14
15,6	15
16,2	16
16,5	17
16,8	18
17,2	19
17,4	20
17,5	21
17,6	22
17,6	23

Вариант № 18

y	t
0	0
0,2	1
0,6	2
1,3	3
2,2	4
3,3	5
4,4	6
5,6	7
6,9	8
8,2	9
9,4	10
10,3	11
11,2	12
12	13
12,6	14
13,2	15
13,7	16
14,1	17
14,4	18
14,7	19
14,9	20
15,1	21
15,1	22

Вариант № 19

y	t
0	0
0,2	1
0,6	2
1,2	3
1,8	4
2,6	5
3,7	6
5,1	7
6,7	8
8,2	9
9,7	10
11,2	11
12,5	12
13,5	13
14,4	14
15,1	15
15,8	16
16,4	17
16,9	18
17,3	19
17,6	20
17,8	21
18	22
18	23
18	24
18	25

Вариант № 20

y	t
0	0
0,6	1
2	2
4,1	3
5,8	4
7,5	5
9,3	6
10,6	7
11,5	8
12,5	9
13,8	10
14,2	11
14,6	12
15,1	13
15,2	14
15,3	15
15,5	16
15,6	17
15,6	18
15,8	19
15,8	20
15,9	21
15,9	22
15,9	23

Вариант № 21

y	t
0	0
0,05	1
0,3	2
0,8	3
1,3	4
2	5
2,7	6
3,6	7
4,6	8
5,7	9
7	10
8,1	11
9,3	12
10,4	13
11,1	14
11,7	15
12,2	16
12,6	17
12,9	18
13	19
13	20
13	21
13	22
13	23

Вариант № 22

y	t
0	0
0,02	1
0,16	2
0,56	3
1,25	4
2,2	5
3,31	6
4,5	7
5,73	8
6,91	9
7,95	10
8,87	11
9,67	12
10,3	13
10,9	14
11,4	15
11,8	16
12,1	17
12,3	18
12,5	19
12,6	20
12,8	21
12,9	22
13	23

Вариант № 23

y	t
0	0
0,15	1
0,78	2
1,8	3
3,2	4
4,7	5
6,1	6
7,4	7
8,6	8
9,5	9
10,3	10
11	11
11,5	12
11,9	13
12,2	14
12,4	15
12,6	16
12,7	17
12,8	18
12,87	19
12,9	20
13	21
13	22
13	23

Вариант № 24

y	t
0	0
0,02	1
1,3	2
2,87	3
4,9	4
6,65	5
8,2	6
9,44	7
10,4	8
11,1	9
11,7	10
12	11
12,3	12
12,5	13
12,7	14
12,8	15
12,9	16
12,95	17
13	18
13	19
13	20
13	21
13	22
13	23

Вариант № 25

y	t
0	0
0,1	1
0,2	2
0,8	3
1,5	4
2,1	5
3	6
3,9	7
4	8
7	9
8	10
9,5	11
10,8	12
11,7	13
12,5	14
13,2	15
13,8	16
14,1	17
14,5	18
14,7	19
14,8	20
14,8	21
14,8	22
14,8	23

Вариант № 26

y	t
0	0
0,1	1
0,4	2
1	3
1,7	4
2,4	5
3	6
4,1	7
5,6	8
7	9
8,5	10
10	11
11,3	12
12,5	13
13,6	14
14,5	15
15,2	16
15,9	17
16,4	18
16,8	19
17,1	20
17,4	21
17,9	22
18	23

Вариант № 27

y	t
0	0
0,1	1
0,2	2
11,7	3
2,2	4
3	5
4	6
5,5	7
7	8
8,2	9
10	10
11	11
12,5	12
13,6	13
14,4	14
15,1	15
16	16
16,2	17
16,9	18
17,2	19
17,5	20
17,6	21
17,9	22
18	23

Вариант № 28

t	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
y	0	0,15	0,5	1	2	3	4	5	6,2	7,8	9	10	11,2	12,1	13	13,6	14,3	14,8	15,2	15,4	15,7	15,9	16	16

Вариант № 29

t	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
y	0	0,2	0,5	1	2	3	3,8	5	6,1	7,8	9	10	11,2	12,1	13	13,7	14,2	14,7	15,1	15,4	15,6	15,8	16	16

Вариант № 30

t	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
y	0	0,1	0,3	0,8	1,6	2,7	4	5,4	6,9	8,4	9,8	11	12,1	13	13,8	14,4	14,9	15,4	15,6	15,8	15,9	16	16,1	16,1

2.2. Теоретический материал, необходимый для выполнения курсовой работы

При решении задач автоматизации технологических процессов часто приходится иметь дело с инерционными статическими объектами управления (например, с электрическими двигателями), переходные характеристики $h_0(t)$ которых имеют специфическую *s-образную* форму (рис. 8). Наклон, кривизна характеристики и ее расстояние от оси ординат зависят от динамических свойств конкретного объекта.

Для практических расчетов каждую *s-образную* кривую, снятую при единичном ступенчатом воздействии, достаточно охарактеризовать следующими параметрами, определяемыми непосредственно по графику:

- передаточным коэффициентом k_0 ;
- постоянной времени T_0 ;
- полным запаздыванием τ_0 , которое складывается из чистого запаздывания τ_c и переходного запаздывания τ_n , т. е. $\tau_0 = \tau_c + \tau_n$.

Параметры T_0 и τ_0 определяют проведением касательной AB к наиболее крутому участку переходной характеристики $h_0(t)$. При расчете настроечных параметров АСУ с объектами, имеющими *s-образные* переходные характеристики, ориентируются либо непосредственно на параметры k_0 , T_0 , τ_0 , τ_c и τ_n , которые обобщенно характеризуют статику и динамику реального объекта, либо используют *упрощенные модели* объекта, коэффициенты которых однозначно выражаются через указанные экспериментальные параметры.

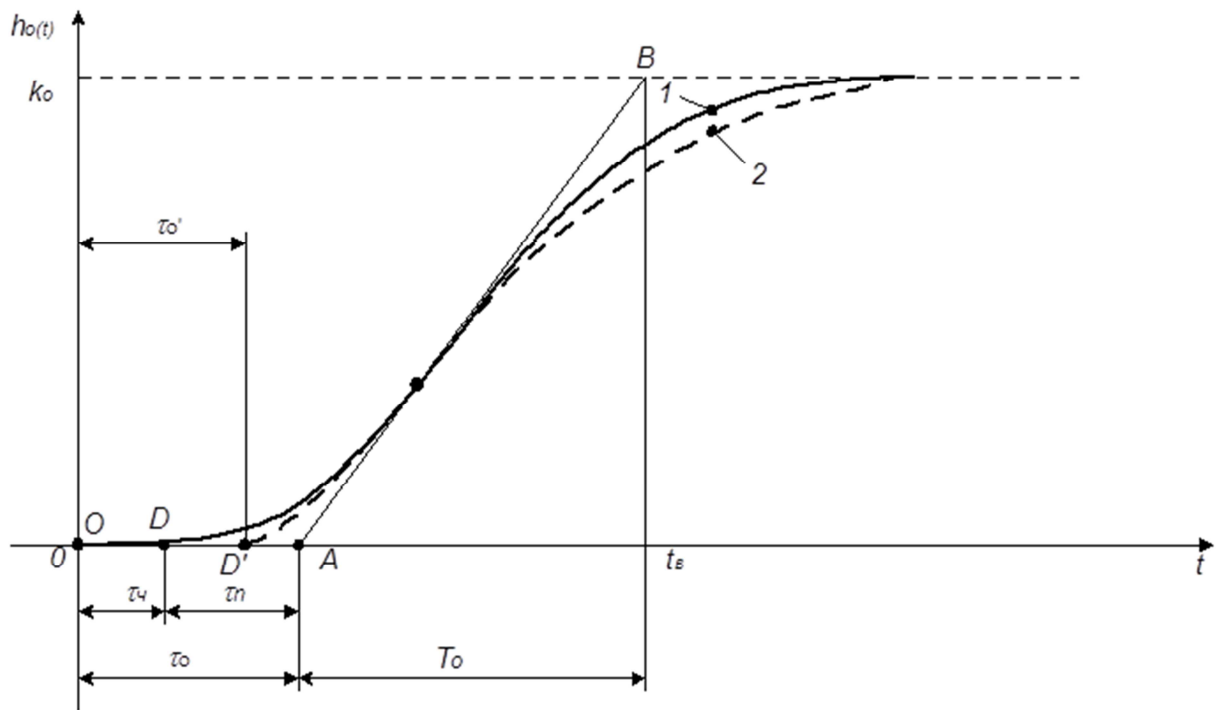


Рисунок 8. Переходные характеристики реального объекта (1) и его приближенной модели второго порядка (2) с запаздыванием

Достаточно хорошее приближение к *s-образным* переходным характеристикам дает модель второго порядка с запаздыванием и одинаковыми постоянными времени (рис. 8):

$$W_0(p) = k_0 \exp(-p\tau'_0) \frac{1}{(T'_0 p + 1)^2},$$

где $T'_0 = 0,368T_0$; $\tau'_0 = \tau_0 - 0,107T_0$.

Наиболее простой, но и менее точной является модель первого порядка:

$$W_0(p) = k_0 \exp(-p\tau'_0) \frac{1}{(T'_0 p + 1)},$$

где $T'_0 = 0,64T_0$; $\tau'_0 = \tau_0 - 0,11T_0$.

Существуют и более сложные модели, например, модель второго порядка с запаздыванием и разными постоянными времени:

$$W_0(p) = k_0 \exp(-p\tau_q) \frac{1}{(T_{01} p + 1)(T_{02} p + 1)}.$$

Здесь параметры T_{01} и T_{02} определяются не через параметры T_0 и τ_0 , а по некоторым координатам характерных точек переходной характеристики.

В большинстве случаев модель обеспечивает достаточную для практических расчетов точность, если принять $T_{01} = 0,5T_{02}$. При этом

постоянную времени T_{02} определяют следующим образом: по ординате $h(t_2) = 0,63 k_0$ экспериментальной переходной характеристики находят момент времени t_2 , отсчитываемый от точки D , а затем вычисляют $T_{02} = 0,64 t_2$. Такая аппроксимация целесообразна, когда $h(0,5 t) \geq 0,3 k_0$.

Следующим этапом исследования системы управления объектом является *параметрическая оптимизация* – определение настроечных параметров выбранного регулятора. Для этого должны быть известны:

- передаточная функция объекта управления $W_o(p)$;
- возмущение, действующее на выходе объекта, $X_B(p)$.

Результатом решения задачи синтеза алгоритмической структуры должна быть передаточная функция регулятора $W_p(p)$.

В простейшем случае, когда возмущающее воздействие на объект отсутствует ($X(p) = 0$), управление можно осуществлять по разомкнутой схеме (рис. 9, а) при передаточной функции регулятора:

$$W_p(p) = \frac{1}{W_o(p)}, \quad (8)$$

так как передаточная функция АСУ:

$$W(p) = W_p(p)W_o(p) = 1. \quad (9)$$

Это означает мгновенное воспроизведение выходной величиной задающего воздействия:

$$X(p) = X_z(p). \quad (10)$$

Такой переходный процесс называют идеальным, а алгоритмическую структуру его обеспечивающую – идеальной.

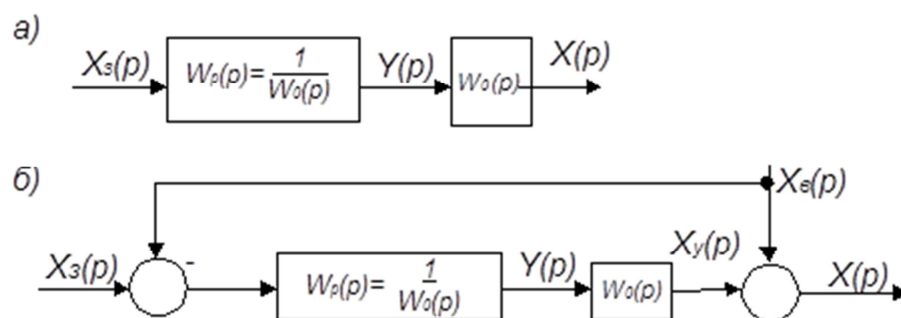


Рисунок 9. Алгоритмические схемы идеальной АСУ

Если на объект действует возмущение $X_B(p)$, которое поддается измерению, то теоретически можно синтезировать идеальную разомкнутую АСУ (рис. 9, б) с полной компенсацией возмущения, подав его с обратным

знаком на вход регулятора с передаточной функцией (8). Действительно, в этом случае при $X_3(p) = 0$ регулируемая величина:

$$X(p) = X_B(p) - W_P(p) W_O(p) X_B(p) = X_B(p) - \frac{1}{W_O(p)} W_O(p) X_B(p) = 0. \quad (11)$$

Поэтому полезная составляющая $X_Y(p)$ на выходе объекта будет полностью уравнивать возмущение $X_B(p)$. Однако возмущение $X_B(p)$, как правило, измерить не удастся, и АСУ приходится строить по замкнутой схеме (с обратной связью).

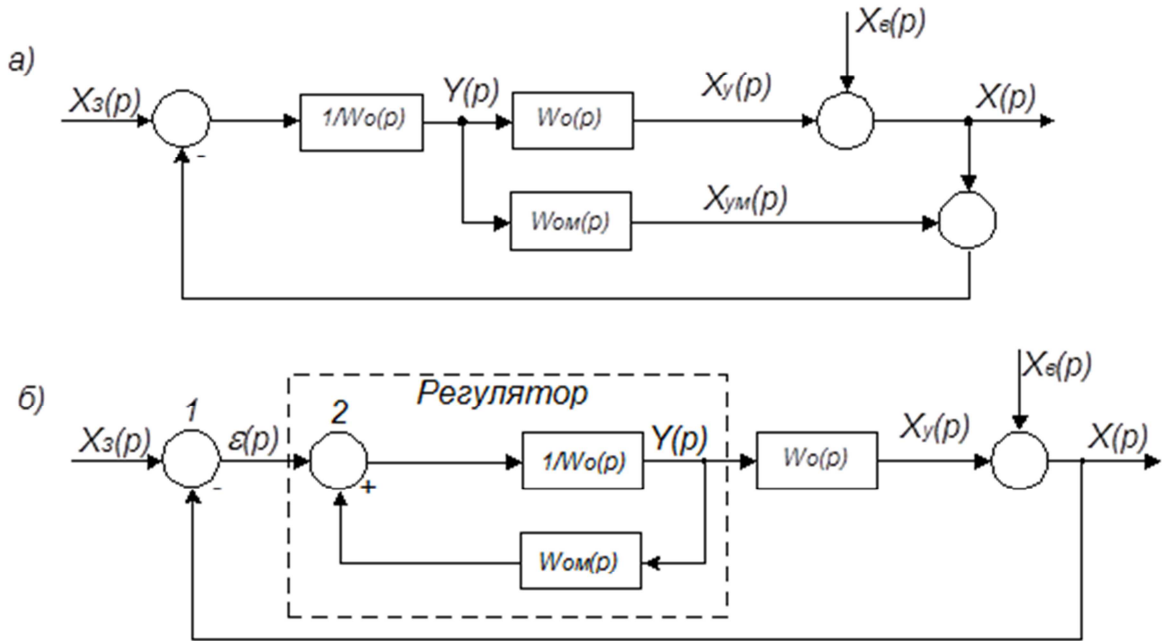


Рисунок 10. Алгоритмические схемы идеальной замкнутой АСУ

Для отыскания структуры идеальной замкнутой системы можно использовать идею косвенного измерения возмущения $X_B(p)$ с помощью модели объекта $W_{OM}(p)$ (рис. 10, а). Очевидно, что при:

$$W_{OM}(p) = W_O(p) \quad (12)$$

вычисляемый на выходе модели объекта сигнал:

$$X_{BM}(p) = X(p) - X_{YM}(p) \quad (13)$$

является косвенно измеренным возмущением $X_B(p)$ и его можно, как и в предыдущей схеме (рис. 9, б), ввести в регулятор с передаточной функцией (8) и, таким образом, снова получить идеальную разомкнутую структуру (рис. 10, а). В ней в соответствии с правилами структурных преобразований сигнал $W_{YM}(p)$ можно перенести на вход регулятора и приложить к

сумматору 2 (рис. 10, б). Тогда регулятор с передаточной функцией $1/W_o(p)$ окажется охваченным внутренней положительной обратной связью, а сигнал после сумматора 1 будет соответствовать сигналу ошибки:

$$\varepsilon(p) = X_3(p) - X(p). \quad (14)$$

Последнее означает, что АСУ стала замкнутой и работает по принципу отрицательной обратной связи с регулятором (см. рис. 10, б), имеющим передаточную функцию:

$$W_p(p) = \frac{1/W_o(p)}{1 - W_{om}(p)/W_o(p)}. \quad (15)$$

При точном совпадении объекта управления и его модели ($W_o(p) = W_{om}(p)$) регулятор будет работать как пропорциональный с коэффициентом $k_n = \infty$, что соответствует нулевым ошибкам по каналам задания и возмущения.

Техническая реализация безинерционного (идеального) регулятора невозможна. Однако такая структура является идеалом, к которому необходимо стремиться при синтезировании высококачественных систем управления. В соответствии с идеальной структурой (рис. 10, б) можно сформулировать фундаментальный принцип структурно-параметрической оптимизации АСУ с обратной связью: *регулятор должен содержать динамическое звено с передаточной функцией, равной или близкой обратной передаточной функции объекта управления.*

На практике наиболее часто приходится решать задачу синтеза АСУ с инерционными объектами управления с запаздыванием, которые можно описать следующей обобщенной передаточной функцией:

$$W_o(p) = W_o'(p) \exp(-p\tau_o), \quad (16)$$

где $W_o'(p)$ – дробно-рациональная функция, характеризующая инерционную часть объекта управления; τ_o – чистое запаздывание объекта управления.

Определим структуру и передаточную функцию *идеального регулятора* для инерционных объектов управления с запаздыванием.

Подставляя значение передаточной функции $W_o(p)$ из выражения (16) в формулу (15) получаем передаточную функцию идеального регулятора для инерционных объектов управления с запаздыванием:

$$W_p(p) = \exp(p\tau_o) \cdot \frac{1}{1 - \frac{\exp(p\tau_o)}{W_o'(p)} \cdot W_{om}(p)} \cdot \frac{1}{W_o'(p)}. \quad (17)$$

Здесь присутствует множитель $\exp(p\tau_o)$, который соответствует *идеальному упредителю* и точная реализация которого технически

невозможна. Поэтому с целью упрощения искомой структуры регулятора и облегчения его технической реализации полагают, что для объектов управления с чистым запаздыванием τ_o , идеальная АСУ воспроизводит задающее воздействие с запаздыванием τ_o , т.е.:

$$\frac{X(p)}{X_3(p)} = \exp(-p\tau_o). \quad (18)$$

С другой стороны, применяя правила структурного преобразования к алгоритмической схеме АСУ, можно записать отношение:

$$\frac{X(p)}{X_3(p)} = \frac{W_p(p)W_o(p)}{1 + W_p(p)W_o(p)}. \quad (19)$$

Приравняв правые части выражений (18) и (19) и учитывая в них значение передаточной функции $W_o(p)$ из выражения 16), записываем уравнение:

$$\exp(-p\tau_o) = \frac{W_p(p)W_o'(p)\exp(-p\tau_o)}{1 + W_p(p)W_o'(p)\exp(-p\tau_o)}. \quad (20)$$

Решая это уравнение, получаем искомую передаточную функцию идеального регулятора (*регулятора Ресвика*):

$$W_p(p) = \frac{\frac{1}{W_o'(p)}}{1 - \frac{1}{W_o'(p)} \cdot W_o'(p)\exp(-p\tau_o)}. \quad (21)$$

Этой передаточной функции соответствует алгоритмическая схема АСУ (рис. 11), которая уже не содержит упреждителя.

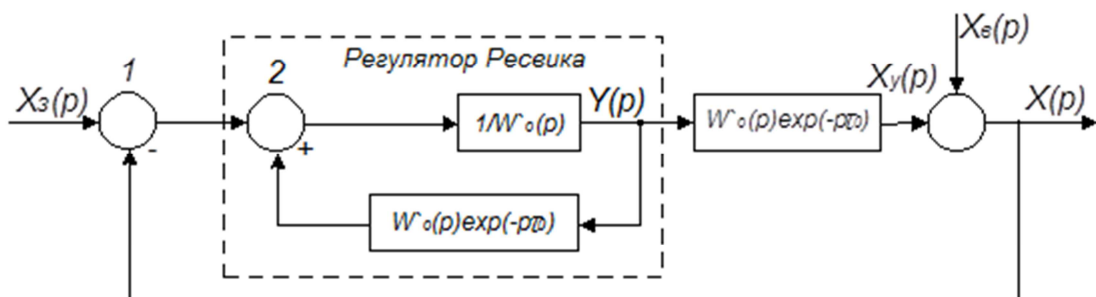


Рисунок 11. Алгоритмическая схема идеальной АСУ с объектом с запаздыванием

Передаточная функция по каналу возмущения в такой АСУ согласно (18) имеет вид:

$$\frac{X(p)}{X_B(p)} = \frac{1}{1 + W_P(p)W_O'(p)\exp(-p\tau_o)} = \frac{1}{1 + \frac{W_O'(p)\exp(-p\tau_o)}{[1 - \exp(-p\tau_o)]W_O'(p)}} = 1 - \exp(-p\tau_o). \quad (22)$$

Это означает, что действие возмущения $X_B(p)$ мгновенно компенсируется системой через время τ_o .

Ранее было показано, что инерционные статические объекты управления с *s*-образной переходной характеристикой (рис. 8) можно представить в виде моделей первого или второго порядка с запаздыванием.

Представим первоначально объект управления моделью первого порядка. Тогда, полагая запаздывание τ_o' модели объекта равным чистому запаздыванию τ_o реального объекта и подставляя в выражение (21) значение передаточной функции модели объекта, определяем передаточную функцию регулятора:

$$W_P(p) = \frac{T_o'p + 1}{[1 - \exp(-p\tau_o')]k_o}. \quad (23)$$

При относительно медленно изменяющихся воздействиях можно принять $\exp(-p\tau_o') \approx 1 - p\tau_o'$.

Тогда, учитывая это равенство в выражении (23), получаем искомую передаточную функцию регулятора:

$$W_P(p) = \frac{T_o'p + 1}{p\tau_o'k_o} = \frac{T_o'}{k_o\tau_o'} + \frac{1}{k_o\tau_o'} \cdot \frac{1}{p} = k_{\Pi} + k_{\Pi} \frac{1}{p},$$

где $k_{\Pi} = \frac{T_o'}{k_o\tau_o'}$, $k_{\Pi} = \frac{1}{k_o\tau_o'}$.

Такую передаточную функцию имеет пропорционально-интегральный (ПИ) регулятор с настроечными параметрами k_{Π} и k_{Π} .

Представив объект управления с более точной моделью второго порядка и проведя аналогичные рассуждения, получаем искомую передаточную функцию регулятора:

$$W_P(p) = \frac{2T_o'}{k_o\tau_o'} + \frac{1}{k_o\tau_o'} \cdot \frac{1}{p} + \frac{(T_o')^2}{k_o\tau_o'} p = k_{\Pi} + k_{\Pi} \frac{1}{p} + k_D p,$$

где $k_{\Pi} = \frac{2T_o'}{k_o\tau_o'}$, $k_{\Pi} = \frac{1}{k_o\tau_o'}$, $k_D = \frac{(T_o')^2}{k_o\tau_o'}$.

Такую передаточную функцию имеет пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД) регулятор с настроечными параметрами k_{Π} , k_{Π} , k_D .

На основании полученных общих соотношений между параметрами объекта управления и регулятора можно сформулировать *рекомендации по выбору типа регулятора и его настроечных параметров*:

- для объектов с запаздыванием, инерционная часть которых действительно близка звену первого порядка (а не просто аппроксимирована таким звеном!), целесообразно применять ПИ-регулятор;
- для объектов с запаздыванием, инерционная часть которых имеет порядок $n \geq 2$, наилучшим регулятором является ПИД-регулятор.

Таблица 6.

Настроечные параметры типовых регуляторов

Тип регулятора	Настроечные параметры					
	k_{II}		k_{II}		k_D	
	$\sigma = 0$	$\sigma = 20 \%$	$\sigma = 0$	$\sigma = 20 \%$	$\sigma = 0$	$\sigma = 20 \%$
П	$\frac{0,3 T_o}{k_o \tau_o}$	$\frac{0,7 T_o}{k_o \tau_o}$	0	0	0	0
ПИ	$\frac{0,35 T_o}{k_o \tau_o}$	$\frac{0,6 T_o}{k_o \tau_o}$	$\frac{0,29}{k_o \tau_o}$	$\frac{0,6}{k_o \tau_o}$	0	0
ПИД	$\frac{0,6 T_o}{k_o \tau_o}$	$\frac{0,95 T_o}{k_o \tau_o}$	$\frac{0,6}{k_o \tau_o}$	$\frac{0,7}{k_o \tau_o}$	$\frac{0,3 T_o}{k_o}$	$\frac{0,45 T_o}{k_o}$

Эмпирические формулы в табл. 6 обобщают результаты экспериментальных исследований по определению настроечных параметров типовых регуляторов для объектов с запаздыванием (при $\tau_o / T_o = 0 \dots 1$). Параметры определены путем моделирования систем при ступенчатом изменении задающего x_z воздействия. Обеспечиваемым показателем качества АСУ является перерегулирование σ (0 или 20 %) на выходе объекта регулирования.

Если необходимо обеспечить колебательный характер переходного процесса в АСУ, при котором амплитуда каждого последующего колебания должна быть в 4 раза меньше амплитуды предыдущего колебания, т. е. степень затухания:

$$\psi = \frac{A_1 - A_3}{A_1} = \frac{A_1 - A_1 / 4}{A_1} = 0,75,$$

что соответствует нижней границе, при которой качество управления еще признается удовлетворительным, то следует воспользоваться рекомендациями по выбору настроечных параметров регуляторов, приведенных в табл. 7.

Таблица 7.

Настроечные параметры типовых регуляторов

Тип регулятора	Настроечные параметры		
	k_P	k_I	k_D
П	$\frac{\tau_o + T_o}{k_o \tau_o}$	0	0
ПИ	$\frac{\tau_o + T_o}{1,1 k_o \tau_o}$	$\frac{\tau_o + T_o}{3,66 k_o \tau_o^2}$	0
ПИД	$\frac{\tau_o + T_o}{0,8 k_o \tau_o}$	$\frac{\tau_o + T_o}{1,6 k_o \tau_o^2}$	$\frac{\tau_o + T_o}{1,6 k_o}$

Проведенные исследования позволили также сформулировать следующие общие выводы о влиянии настроечных параметров на показатели качества регулирования:

- увеличение коэффициента k_P пропорциональной части регулятора приводит к увеличению перерегулирования σ , времени t_n переходного процесса и уменьшению степени затухания Ψ ;
- увеличение коэффициента k_I интегральной части регулятора приводит к уменьшению времени t_n переходного процесса и увеличению перерегулирования σ ;
- увеличение коэффициента k_D дифференциальной части регулятора приводит к уменьшению времени t_n переходного процесса и увеличению перерегулирования σ .

Качество управления АСУ – совокупность свойств АСУ, характеризующих точность поддержания управляемой величины на заданном уровне в установившихся и переходных режимах.

В свою очередь, свойства из этой совокупности, выраженные в количественной форме, называют *показателями качества управления АСУ*.

Точность АСУ в переходном режиме оценивают при помощи *прямых* и *косвенных* показателей качества.

Прямые показатели качества определяют по графику переходного процесса, возникающего в системе при ступенчатом внешнем воздействии.

Косвенные показатели качества определяют по распределению корней характеристического уравнения или по частотным характеристикам системы.

В настоящее время разработаны и получили широкое распространение мощные средства компьютерного моделирования АСУ, позволяющие точно и быстро вычислять переходный процесс, т. е. оценивать точность системы через *прямые показатели качества*.

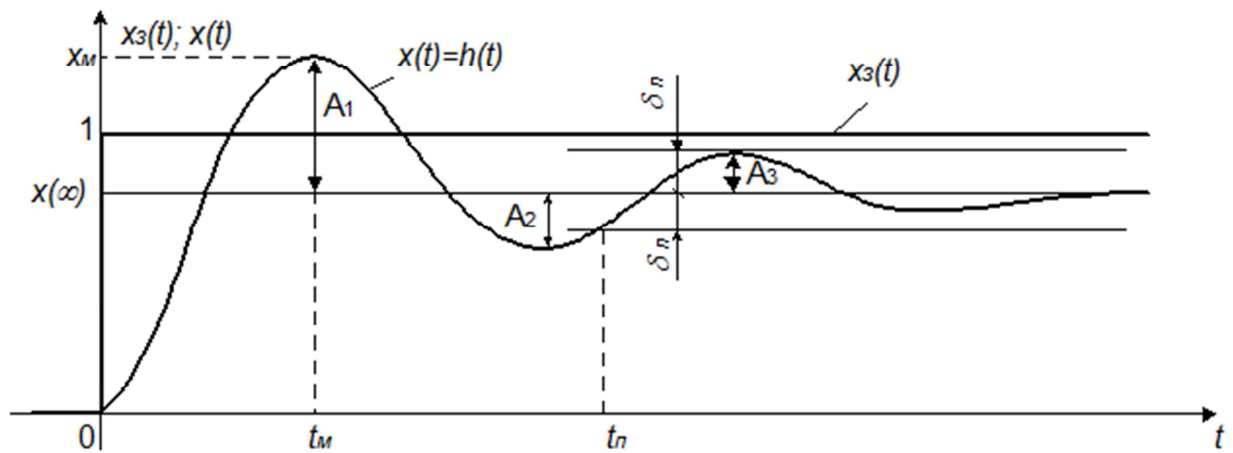


Рисунок 12. Прямые показатели качества процесса управления (регулирования)

Перерегулирование σ — величина, равная отношению первого максимального отклонения x_M управляемой величины $x(t)$ от ее установившегося значения $x(\infty)$ к этому установившемуся значению:

$$\sigma = \frac{x_M - x(\infty)}{x(\infty)} \cdot 100 = \frac{A_1}{x(\infty)} \cdot 100, \%,$$

Качество управления считается удовлетворительным, если перерегулирование не превышает 30...40%.

Степень затухания:

$$\psi = \frac{A_1 - A_3}{A_1} = 1 - \frac{A_3}{A_1}.$$

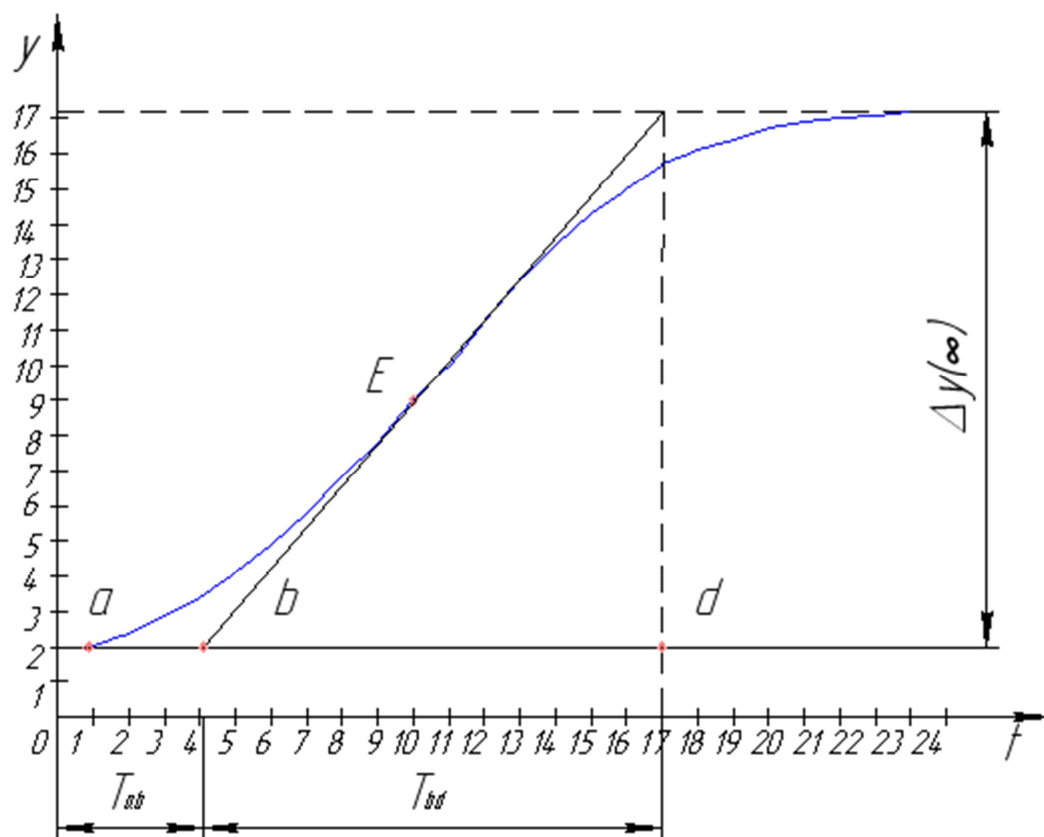
Интенсивность затухания колебаний в системе считается удовлетворительной, если $\psi = 0,75 \dots 0,95$.

Длительность переходного процесса (время регулирования) t_n — интервал времени от момента приложения ступенчатого воздействия до момента, после которого отклонения управляемой величины $x(t)$ от ее нового установившегося значения $x(\infty)$ становятся меньше некоторого заданного числа δ_n , т.е. до момента, после которого выполняется условие $|x(t) - x(\infty)| \leq \delta_n$. В промышленной автоматике величину δ_n обычно принимают равной 5% от установившегося значения $x(\infty)$ [$\delta_n = 0,05 x(\infty)$].

Колебательность N — число переходов управляемой величины $x(t)$ через ее установившееся значение $x(\infty)$ за время переходного процесса t_n [2].

2.3. Пример выполнения контрольной работы.

Задание 1. Определение передаточной функции объекта по исходной кривой разгона.



Коэффициент усиления равен:

$$k = \frac{\Delta y(\infty)}{\Delta x} = \frac{15.2}{9} = 1.69$$

Из графика 1 определяем значение отрезков времени T_{ab} и T_{bd} :

$$T_{ab} = 3.1; T_{bd} = 12.9$$

По отношению $\frac{T_{ab}}{T_{bd}} = 0.24$ и из таблицы определяем порядок. При этом выбирается ближайшее **меньшее** к рассчитанному значению число.

$\frac{T_{ab}}{T_{bd}}$	n	k_1	k_2
0	1	1	0
0,104	2	2,718	0,282
0,218	3	3,695	0,805
0,319	4	4,463	1,425
0,41	5	5,119	2,1

$$n = 3$$

$$k_1 = 3.695$$

$$k_2 = 0.805$$

Передаточная функция объекта определяется выражением:

$$W(p) = \frac{k}{(Tp + 1)^n} e^{-p\tau}$$

где $T = \frac{T_{bd}}{k_1} = \frac{12.9}{3.695} = 3.491$ - постоянная времени

$$\tau_y = T \cdot k_2 = 3.491 \cdot 0.805 = 2.81 - \text{условное время запаздывания}$$

$$\tau = T_{ab} - \tau_y = 3.1 - 2.81 = 0.29 - \text{время запаздывания}$$

Таким образом, получим передаточную функцию объекта в виде:

$$W(p) = \frac{1.69}{(3.49 \cdot p + 1)^3} \cdot e^{-p \cdot 0.29} = \frac{1.69}{42.53p^3 + 36.56p^2 + 10.47p + 1} \cdot e^{-p \cdot 0.29}$$

Задание 2. Определение оптимальных параметров настройки типовых законов управления

А. Аналитический метод расчета.

1. Исходные данные

1.1. Передаточная функция объекта имеет вид:

$$W(p) = \frac{1.69}{45.53p^3 + 36.56p^2 + 10.47p + 1} \cdot e^{-0.29p};$$

1.2. Передаточная функция регулятора – $R(p) = k_1$

1.3. Критерий устойчивости Найквиста представлен в виде системы уравнений:

$$\begin{cases} A_0 \cdot A_p = 1 \\ F_0 + F_p = \pi \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} \frac{1.69}{\sqrt{(10.47\omega - 45.53\omega^3)^2 + (1 - 36.56\omega^2)^2}} \cdot k_1 = 1 \\ -\arctg\left(\frac{10.47\omega - 45.53\omega^3}{1 - 36.56\omega^2}\right) - 0.29 \cdot \omega = -\pi \end{cases} (*)$$

где A_o, A_p – АЧХ объекта и регулятора соответственно; F_o, F_p – ФЧХ объекта и регулятора.

2. Расчет

2.1. Из уравнения ФЧХ (2-е) системы (*) находим рабочую частоту $\omega_p = 0,437$

2.2. Подставим рабочую частоту в уравнение АЧХ (1-е) системы (*):

$$A_0(\omega_p) = 0,28$$

$$k_1 = A_p(\omega) = \frac{1}{A_0(\omega_p)} = \frac{1}{0,28} = 3,57$$

3. Ответ

Передаточная функция регулятора: $R(p) = 3,57$.

Б. Графический метод расчета

1. Исходные данные

1.1. Передаточная функция объекта имеет вид:

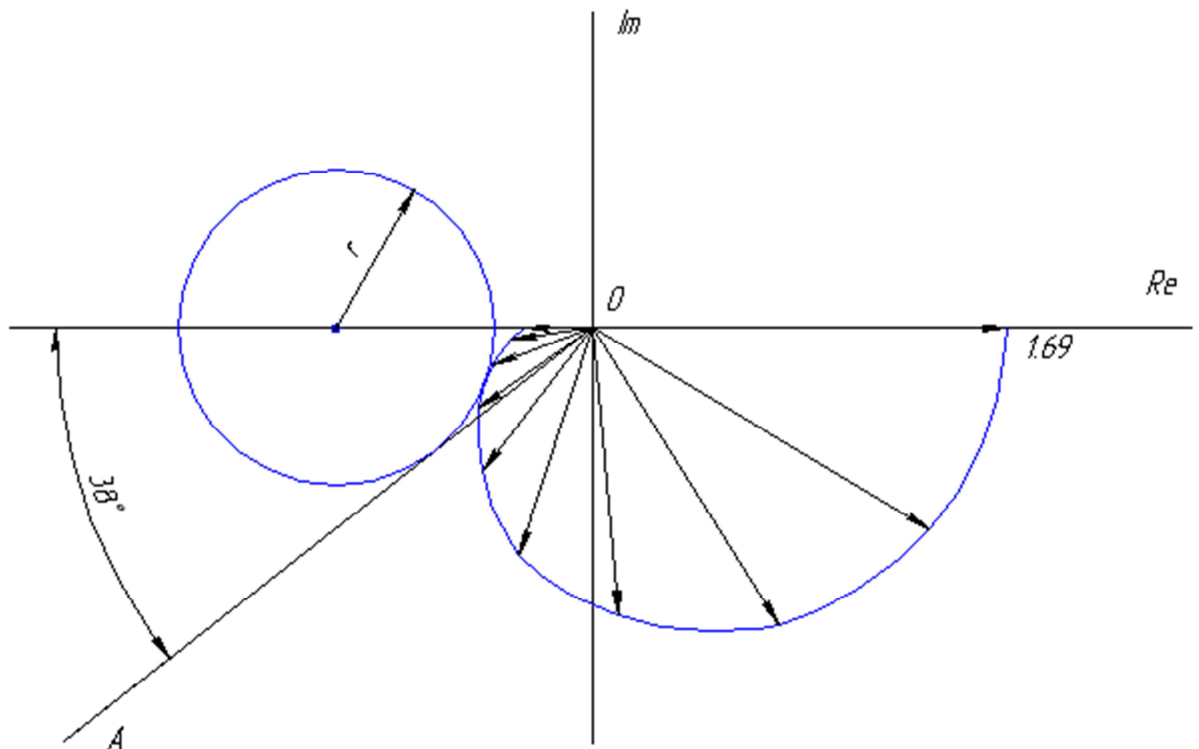
$$W(p) = \frac{1.69}{45.53p^3 + 36.56p^2 + 10.47p + 1} \cdot e^{-0.29p};$$

1.2. Передаточная функция регулятора – $R(p) = k_1$

2. Расчет

2.1. На основании исходных данных строим АФХ объекта.

ω	0	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,3	0,35	0,4	0,437
$A(\omega)$	1,69	1,6	1,43	1,18	0,98	0,74	0,57	0,44	0,34	0,28
$F(\omega)$	0°	-31°	-58°	-85°	-108°	-128°	-145°	-160°	-172°	-180°



2.2. Из начала координат под углом 38° к отрицательной реальной оси проводим луч ОА.

2.3. Строим касательную окружность с центром на отрицательной реальной оси таким образом, чтобы она касалась и АФХ объекта, и луча ОА.

2.4. Численное значение пропорциональной настройки находим по формуле:

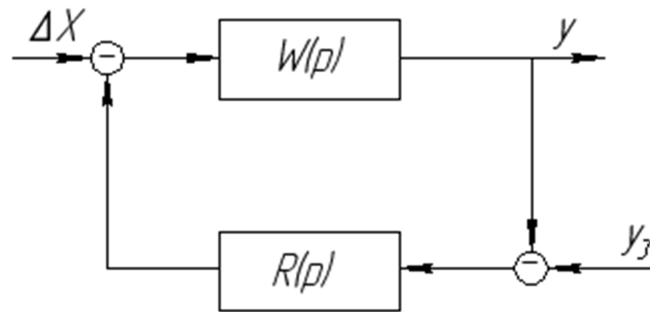
$$k_1 = \frac{1}{r} = \frac{1}{0,65} = 1,538$$

3. Ответ

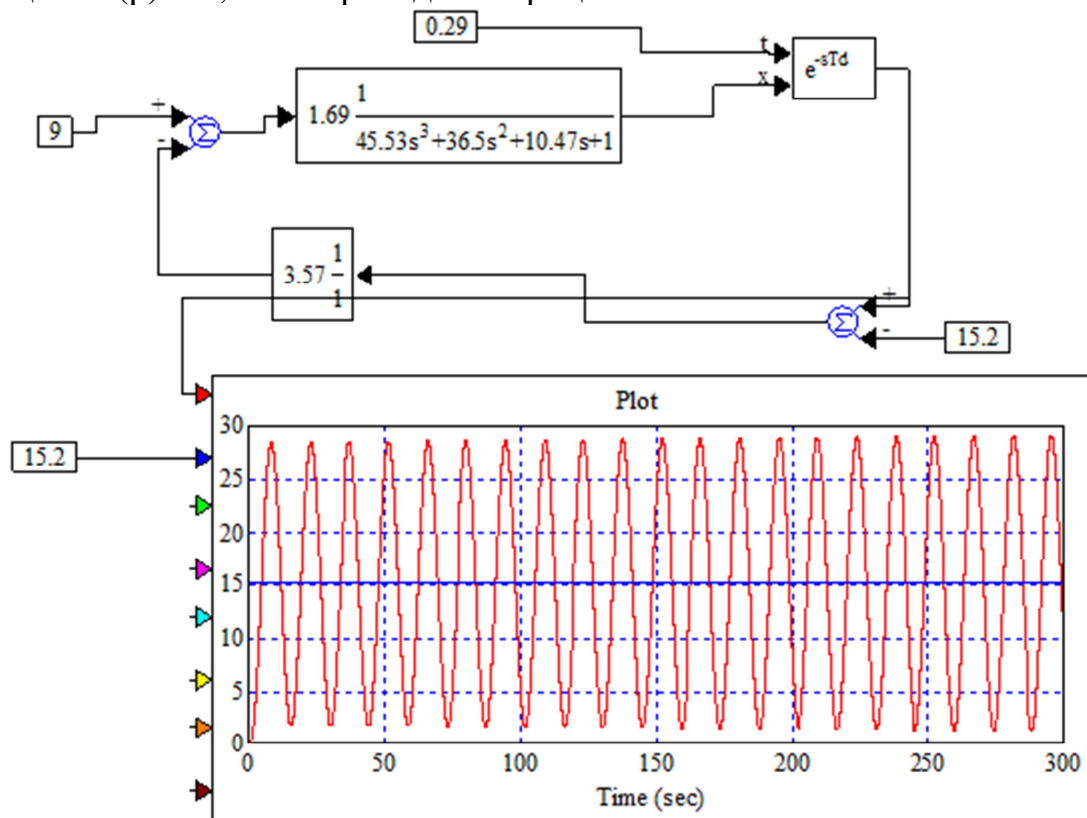
Передаточная функция регулятора: $R(p) = 1,538$.

Задание 3. Получение переходных процессов. Проверка их качества.

Структурная схема формируется в виде замкнутой одноконтурной системы вида:

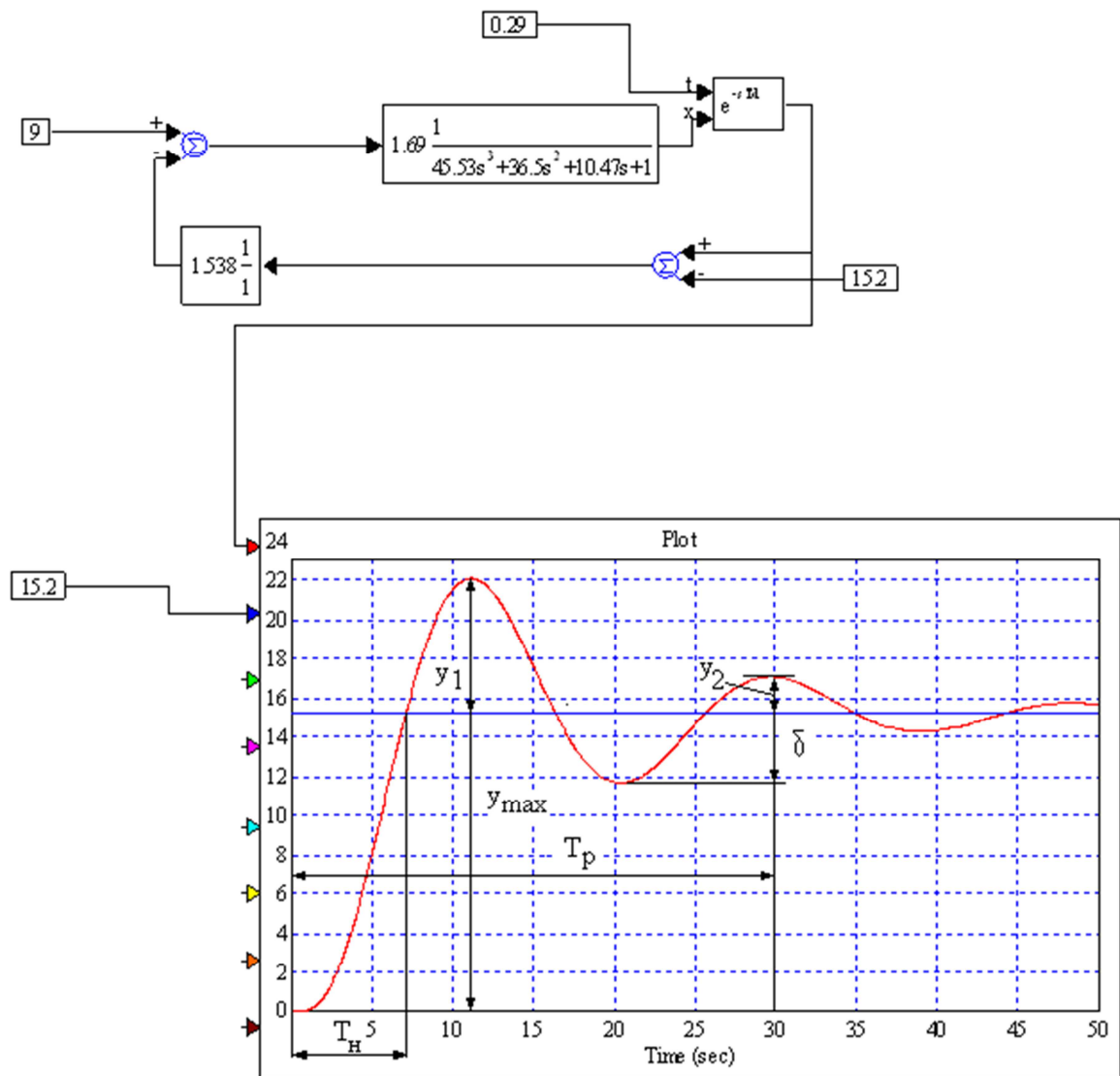


П-регулятор, рассчитанный аналитически, имеет передаточную функцию $R(p) = 3,57$ и переходный процесс:



Этот регулятор расходящийся, поэтому не нужно проводить проверку на качество.

П-регулятор, рассчитанный графически, имеет передаточную функцию $R(p) = 1,538$ и переходный процесс:



Прямые показатели качества согласно расчетам составили:

- перерегулирование: $\sigma = \frac{y_{max} - y_z}{y_{max}} \cdot 100\%$

$$\sigma = \frac{22 - 15.2}{22} \cdot 100\% = 31\%$$

- время регулирования – время, за которое переходный процесс достигает заданной статической погрешности $T_p = 30$ с;

- заданная степень затухания: $\psi = \frac{y_1 - y_2}{y_1} \cdot 100\%$

$$\psi = \frac{6.8 - 2}{6.8} \cdot 100\% = 71\%$$

Таким образом, для исследуемого объекта управления более эффективным является пропорциональный регулятор, численное значение коэффициента преобразования k_1 которого рассчитано графическим методом.

ЧАСТЬ III. ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИОННЫХ РАБОТ

Общие требования, касающиеся оформления квалификационной работы, заключены в ГОСТ 7.32-2001 под названием «Отчёт о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления». В соответствии с ним односторонняя печать текста осуществляется на бумажном листе формата А4 с соблюдением полуторного интервала.

У шрифта должен быть чёрный цвет, по всему объёму текста он должен быть одинаковым, прямым с кеглем не меньше двенадцатого. Часто при оформлении работ используют четырнадцатый кегль и возможно использование полужирного шрифта для выделения структурных частей работы. К сожалению, в ГОСТе не указан тип шрифта, но на практике авторы останавливают выбор на Times New Roman и выравнивают текст по ширине. Необходимо соблюдать абзацный отступ размером 1,25 см.

В ГОСТе содержатся правила и по оформлению *полей*. Страница, на которой размещается текст, должна содержать левое поле для прошива шириной в 30 мм, правое – 10 мм, нижнее и верхнее поле – 20 мм.

Страницы работы содержат сквозную *нумерацию* арабскими цифрами. Номер страницы помещается в нижней части листа, располагаясь по центру без точки. Размер шрифта номера 11 с типом Times New Roman. Общей нумерации подвергается также титульный лист, но номер на нём не проставляется. Нумеруются все страницы, начиная с Введения (третья страница).

В работе лучше использовать кавычки-ёлочки: «», а для вложенных записей – кавычки-палочки: “”.

Заголовками служат наименования структурных частей работы. Это – вся основная часть, аннотация, содержание, введение, заключение, библиографический список. Суть заголовков заключается в чётком и кратком отражении содержания разделов и сопутствующих им подразделов, пунктов.

Структурные части работы печатаются заглавными буквами, не подчёркиваются и располагаются посередине строки без точки, начинаются с новой страницы. В случае состава заголовка из двух предложений они разделяются точкой, не допускаются в заголовках и переносы.

Нумерация глав обычно является обязательной, но если главы представлять как структурные элементы работы, то на этот счёт указаний стандартов никаких нет. Можно нумерацию не производить.

Авторам следует применять три стиля по оформлению заголовков работы:

- основной стиль (соблюдается для всего текста).

- заголовок 1 (касается заголовков структурных частей, разделов, глав).
- заголовок 2 (касается заголовков подразделов и пунктов).

Допускается деление глав на параграфы, а параграфов – на пункты, подпункты. У параграфа есть номер, который составляется из номера главы и параграфа в ней, разбиваемых точкой. В конце номера параграфа точка не ставится. Таким образом осуществляется и нумерация пунктов в параграфе (для примера: 2.3.1 Практический подход). Наличие одного параграфа в главе и одного пункта в параграфе допускается.

Заголовки параграфов и сопутствующих им пунктов, подпунктов необходимо начинать с абзацного отступа и прописной буквы, не допуская подчёркивания и не ставя точку в конце.

Согласно ГОСТ 2.105-95 абзацный отступ равняется 15 или 17 мм. В ГОСТ 7.32-2001 об этом не сказано. 15 мм равняется расстояние между текстом и заголовком. Если вы напечатали курсовую работу, соблюдая полуторный интервал, то расстояние между текстом и заголовком в вашем случае будет равняться одной пустой строке. А заголовок главы от заголовка параграфа будут отделять 8 мм, то есть два интервала.

Согласно ГОСТ 7.32-2001 заголовок содержания прописывается автором заглавными буквами и размещается посередине строки. В содержание входят введение, название глав работы, параграфов, пунктов и подпунктов, заключение, библиографический список и название приложений. Указываются в содержании номера страниц, которые служат началом перечисленных выше элементов работы.

В ГОСТе 2.105-95 указано, что наименования, которые включены в содержание, прописываются строчными буквами, начинаясь с прописной. Однако ГОСТ 7.32-2001 не затрагивает этот вопрос, но так как он обладает предпочтением над ГОСТ 2.105-95, то автор решает сам, как прописывать наименования.

Рисунок в контрольной или курсовой работах представляет собой графики, иллюстративные примеры, диаграммы, изображения. Согласно ГОСТ 7.32-2001 на все размещённые рисунки должны присутствовать ссылки в тексте. Рисунки располагаются после текста, впервые содержащего информацию о них. Сквозная нумерация рисунков производится при помощи арабских цифр, но можно осуществлять нумерацию только в пределах главы или раздела. Так, номер рисунка складывается из номера, под которым находится раздел, и порядкового номера, принадлежащего иллюстрации. Цифры разделяются точкой (например: Рисунок 2.2). Под рисунком следует расположить подпись к нему, размещаемую посередине строки. Прописать слово «Рисунок» необходимо полностью. Конечно, придерживаясь ГОСТа, можно указать только номер рисунка (например: Рисунок 3), но практически все вузы требуют и название. Учитывая требования вуза, подпись меняет вид (Рисунок 3 – Структурная схема системы автоматического управления). В конце названия точка не ставится.

Некоторые работы содержат приложения с рисунками. Рисунок каждого из них обозначается отдельной нумерацией с помощью арабских цифр. Впереди добавляется обозначение приложения.

Применение *таблиц* в квалификационных работах позволяет улучшать наглядность работы и сделать удобным сравнение различных показателей. Согласно ГОСТ 7.32-2001 на таблицы, помещаемые в работе, должны присутствовать ссылки в тексте. Таблица располагается после фрагмента, где впервые упоминается, или на следующей странице. Необходимо пронумеровать все таблицы, придерживаясь сквозной нумерации. Таблицы можно нумеровать в рамках раздела: при этом номер таблицы начинается с номера раздела и заканчивается порядковым номером внутри раздела, которые разделяются точкой. Например: Таблица 2.3. Таблицы, которые включены в приложения, обозначаются отдельной нумерацией с употреблением арабских цифр, а впереди добавляется обозначение приложения (Таблица А.3). Необходимо полностью прописывать слово «Таблица». Необязательно наличие собственного названия у таблицы согласно ГОСТ. Однако вузы требуют это. Слева над таблицей помещается её название без использования абзацного отступа. Название пишется в единой строчке, содержит номер и тире (Например: Таблица 5 – Численные значения частотных характеристик). Точка в конце не ставится.

Осуществляя перенос таблицы на следующую страницу, её название размещают только над первой частью, не проводя при этом нижнюю горизонтальную черту, ограничивающую её первую часть. Слева над частями таблицы должна быть фраза «Продолжение» и номер таблицы (Например: Продолжение таблицы 12).

Таблицу, содержащую много столбцов, допускается разделять на части, помещать их друг над другом, не выходя за пределы единой страницы. В случае выхода строк за формат листа необходимо повторять головку в каждой части таблицы, в ситуации выхода столбцов – нужно повторять боковик. Если таблица делится на части, то можно головку, боковик заменить номерами столбцов, строк соответственно. Тогда осуществляется нумерация столбцов или строк, принадлежащих первой части таблицы, арабскими цифрами.

В единственном числе с прописной буквы пишутся заголовки строк и столбцов, а подзаголовки столбцов начинаются со строчной буквы в случае составления ими одного предложения с заголовком, а если у них есть самостоятельное значение – с прописной буквы. Не ставится точка в конце заголовков, подзаголовков. Не допускается деление диагональными линиями заголовков, подзаголовков боковых столбцов.

Заголовки столбцов, как правило, записываются строкам таблицы параллельно. Когда необходимо, допустимо и перпендикулярное их расположение.

Не допускается проводить вертикальные, горизонтальные линии, которые разграничивают строки таблицы, если отсутствие таковых

пользование таблицей не затрудняет. Но необходимо отделять головку таблицы от оставшейся её части.

Уравнения, формулы из текста, согласно ГОСТ 7.32-2001, выделять необходимо в отдельно взятую строку. Пустая строка ставится как над, так и под каждой из приведённых формул. Когда уравнение не помещается в одну строчку, его нужно перенести после любого математического знака (знак равенства, плюс, минус, умножение, деление и другие) с повторением в начале последующей строки этого знака. Нужно знать, что перенос формулы на знаке умножения сопровождается знаком «х».

При необходимости грамотного пояснения к коэффициентам и символам его приводят под формулой сразу, соблюдая последовательность, которая отражает появление их в формуле, а началом первой строки пояснения должно быть слово «где».

Например:

$$F=m*a, \quad (5.2)$$

где F – равнодействующая всех сил;

m – масса тела;

a – ускорение.

Существует обязательная сквозная нумерация формул. Номер проставляют в круглые скобки арабскими цифрами, помещая их в крайнее правое положение на строчке.

$$S = a*b \quad (1)$$

Нумерация формул в рамках раздела допускается. Тогда номер формулы включает номер раздела, порядковый номер формулы внутри раздела, которые разделены точкой (Например: 1.5).

В приложениях формулы отличаются отдельной нумерацией, заключённой в пределы определённого приложения, впереди добавляется обозначение приложения (Например: С.3).

Формулы и уравнения можно прописывать в тексте рукописным способом с помощью чёрных чернил.

Перечисления могут приводиться внутри пунктов, подпунктов. Следует ставить маркер перед каждой позицией перечня в виде точки или тире. Дальнейшая детализация перечислений подразумевает использование арабских цифр, следом за которыми ставится скобка. Запись каждого пункта, подпункта и перечисления осуществляется с абзацного отступа, который равен 12, 5 мм.

Пример:

многоэтажные дома:

1) кирпичные;

2) панельные.

Перечисления могут содержать законченные и незаконченные фразы. Для незаконченных фраз справедливо такое правило: пишутся они со строчных букв, а обозначаются – арабскими цифрами либо строчными

буквами, которые закрывает полукруглая скобка. Для незаконченных фраз есть два варианта оформления:

1. Перечисления представляются в виде отдельных слов или небольших фраз, не содержащих знаков препинания. Пишутся они в подбор с текстом, отделяясь друг от друга запятой.

Пример:

Зимние сорта яблок, наиболее популярные в России:

- 1) пепин,
- 2) кутузовец,
- 3) башкирское яблоко,
- 4) кальвиль,
- 5) синап.

2. Перечисления представляют развёрнутые фразы, в которых свои знаки препинания. В подобных случаях части перечисления записываются с новой строки, отделяясь друг от друга точкой с запятой.

Пример:

Зимние сорта яблок, наиболее популярные в России:

пепин;
кутузовец;
башкирское яблоко;
кальвиль;
синап.

Когда части перечисления представляют собой законченные фразы, пишутся они с абзачными отступами, начинаясь с прописных букв, отделяясь друг от друга точкой.

Пример:

Все живые организмы делятся на две основные группы по строению клеток:

Прокариоты. У прокариотов нет чётко оформленного ядра, мембральными структурами заменены органеллы.

Эукариоты. В клетках эукариотов есть ядра и определённый набор органелл, который зависит от функций и вида клетки.

Важно помнить, что текст всех имеющихся элементов перечисления обязан грамматически подчиняться основной вводной фразе, предшествующей перечислению.

Приложения представляют собой целый раздел, в который включаются автором работы дополнительные наглядные материалы, считающиеся своеобразным продолжением работы.

Согласно ГОСТ 7.32-2001 ссылки на приложения в тексте самой работы совпадают с последовательностью написания приложений, их нумерацией. То есть указание на какое из приложений появилось в работе первым, то приложение и будет возглавлять раздел приложений, а вторым станет то приложение, указание на которое в авторской работе было вторым.

Приложения начинаются с новой чистой страницы, посередине страницы указывается слово «ПРИЛОЖЕНИЕ», его обозначение.

Приложение имеет заголовок, записываемый относительно текста симметрично с прописной буквы в отдельной строке.

Обозначают приложения заглавными буквами русского алфавита. Следом за словом «Приложение» прописывают букву, которая обозначает его последовательность (Например: ПРИЛОЖЕНИЕ В). Если в обозначении приложений все буквы были использованы (латинского, русского алфавитов), то приложения обозначать можно и арабскими цифрами. Когда документ содержит лишь одно приложение, то его обозначают «ПРИЛОЖЕНИЕ А».

Относящийся к каждому из приводимых приложений текст можно разделять на разделы, подразделы. Они нумеруются в рамках определённого приложения. Обозначение ставится перед номером этого приложения. Сквозной должна быть нумерация страниц, где размещаются приложения и основной текст работы.

Высокой оценке со стороны преподавателя способствует правильное оформление *библиографического списка*. Если он оформлен небрежно, то преподаватель имеет право понизить отметку за выполненную работу. Поэтому список источников литературы должен быть грамотно составлен и соответствовать содержанию работы.

Современные российские вузы предъявляют к библиографическому списку целый ряд требований, которые нужно обязательно выполнять. Это полнота, точность, достоверность и надёжность библиографической информации. Оформление списка источников литературы соответствует требованиям определённого ГОСТ.

Список литературы по ГОСТ 7.32-2001 носит название списка использованных источников. Сведения, содержащие данные об источниках, располагаются в порядке появления ссылки на источники в самом тексте, нумеруются арабскими цифрами без использования точки, печатаются с абзацного отступа. Но указанный список в подобном контексте подразумевает отнюдь не список литературы, а – ссылок. Подобный список ссылок регламентируется ГОСТом Р 7.0.5-2008 под названием «Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления». В нём приводится чёткая граница между списком ссылок и списком литературы.

По ГОСТ 2003 список литературы оформляется с учётом различных нюансов. Применение предметно-тематического принципа справедливо по ГОСТ 2003 в случае разбиения массива источников на некоторое число предметно-тематических разделов, имеющих свои заголовки. Размещение записей внутри подобных разделов соблюдается в алфавитном порядке.

Согласно ГОСТ 2003 допускается хронологический принцип формирования библиографического списка, исходя из которого литература, которая считается предметом исследования, должна располагаться в порядке публикации или написания. Создаваемая таким образом хронологическая

последовательность содержит представление о развитии проводимого исследования в науке или отдельно взятом вопросе.

В современное время остаётся открытым вопрос по оформлению списка литературы: вузы сами устанавливают правила, останавливая свой выбор или на ГОСТ 2001, или на ГОСТ 2003, или на сочетании требований из разных ГОСТов.

Общими правилами по оформлению библиографических списков можно считать следующие:

- алфавитный порядок должен соблюдаться для всех источников из списка литературы.
- все авторы, которые указаны на обложке издания, вписываются в библиографический список.
- вначале необходимо писать фамилию автора книги, а только затем инициалы.
- от номера ГОСТ не зависит принятый порядок расположения источников, справедливый при оформлении списка источников. В первую очередь записываются нормативные акты, затем – книги, после них – печатная периодика. Следом идут источники на электронных носителях с локальным доступом и источники на электронных носителях с удалённым доступом.
- каждый раздел начинается с источников на русском языке и заканчивается источниками на иностранных языках.
- нельзя допускать опечатки и грамматические ошибки при оформлении библиографического списка.

К сожалению, нет государственного стандарта, который отвечает за грамотное представление списка литературы, но есть общепринятая практика. На практике источники, входящие в список, принято располагать согласно алфавитному порядку. Ему подлежит заголовок источника библиографической записи. Нормативные акты при этом не зависят от алфавитного порядка и обычно идут впереди. Опираясь на это, нетрудно составить правило, касающееся порядка расположения источников.

Итак, как было отмечено ранее, первые места в списке использованных источников занимают нормативные акты, на втором – книги, на третьем месте – печатная периодика. На четвёртой позиции располагаются источники на электронных носителях локального доступа, а завершают список источники на электронных носителях удалённого доступа или интернет-ресурсы.

Каждый раздел начинается с источников, написанных на русском языке, и заканчивается источниками на иностранных языках с соблюдением алфавитного порядка.

Общие требования, относящиеся к описанию библиографических источников, приведены в ГОСТ 7.1-2003, носящем название «Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие

требования и правила составления». Этот стандарт предназначен для грамотного описания в карточках каталогов документов. Над такими описаниями работают библиотекари и другие библиографирующие учреждения.

По ГОСТ 7.1-2003 ряд областей содержит следующее описание документа:

- первая область носит название области заглавия, сведений, указывающих на ответственность. В ней приводится название, ФИО автора, редактора;
- вторая область – область издания, которая содержит описание особенностей приводимого издания, его отличий от изданий предыдущих;
- третья область раскрывает специфические сведения;
- четвёртая область именуется областью выходных данных, включает место издания, само издательство, а также – дату издания;
- пятая область носит название области физической характеристики, указывает на объём материала, его размеры и другое;
- к шестой области относится область серии. Входят в неё заглавие серии, ФИО редактора, включается и международный стандартный номер, принадлежащий серии ISSN, другое;
- седьмая область носит название области примечания;
- восьмая область носит название области стандартного номера (либо его альтернативы), включает условия доступности.

Зачастую востребованными становятся в студенческих работах не все из перечисленных областей. Обычно достаточными становятся первая, вторая, четвёртая области и частично пятая.

Отделяются друг от друга области описания точкой, тире (подробнее: точка, пробел, тире, пробел). Обязательно необходимо ставить точку в конце библиографического описания.

Стоит отметить: указываются библиографические сведения в виде, приводимом в характеризуемом источнике информации. Основываясь на анализе документа, формулируют уточняющие сведения или необходимые данные, которые полностью отсутствуют. Полученные сведения при этом помещают в квадратные скобки.

Сокращать не запрещено словосочетания и слова, осуществляя составление библиографического описания, пропускать части элемента, использовать другие методы сокращения. Однозначность понимания, обеспеченность расшифровкой являются главнейшим условием для сокращения слов. В областях, связанных с библиографическим описанием, применяют сокращения. Однако абсолютно недопустимым является сокращение любых заголовков (исключениями считаются случаи применения сокращений непосредственно в информационном источнике, характеризуемом в списке библиографическом). В случае наличия длинного

заглавия допустимо применить пропуск отдельных фраз и слов, который не искажает смысл заглавия.

Применяют прописные буквы, ссылаясь на современные правила грамматики языка по составлению библиографического описания. Это не зависит от букв, употреблённых в информационном источнике. Первое слово, относящееся к каждой области, начинают с прописных букв. С них же начинаются такие элементы, как обозначение материала общее во всевозможных областях описания и любые заглавия. Остальные элементы прописываются со строчной буквы. Сохраняются при этом строчные и прописные буквы, принадлежащие официальным наименованиям организаций и другим именам собственным.

Оформление заголовка, принадлежащего библиографической записи осуществляется согласно ГОСТ 7.80-2000. Он называется «Библиографическая запись. Заголовок. Общие требования и правила составления».

Впереди описания приводят имена авторов документа, если они существуют. Если у документа два либо три автора, то прописывают только имя первого. В случае наличия у документа четырёх, более авторов его описание начинают с названия, а после него фамилии и инициалы, принадлежащие авторам, пишут через черту косую.

Автором не является редактор, он считается ответственным, а имя редактора приводится после названия за косой чертой.

Авторское имя приводят в той форме, которая получила наибольшую известность. Фамилию приводят в начале заголовка, отделяя от имени, отчества запятой. Точка ставится после представленного ФИО (например: Мирнова, Галина Павловна.; Павлов, Г.И.).

Когда в документе присутствуют фамилии, объединяющие два, три лица, заголовок содержит фамилию лишь одного лица (выбирают, как правило, первую, ориентируясь на алфавит).

Идентифицирующие признаки могут указываться с именем автора. Приводят их со строчной буквы следом за именем лица в специальных круглых скобках, а отделяют точкой с запятой.

Согласно ГОСТ 7.1-2003 основное заглавие может иметь альтернативное. Они соединяются с помощью союза «или», а само альтернативное заглавие записывается с прописной буквы. Нужно помнить, что обязательно ставится запятая впереди союза «или». Например: Физика, или Наука о природе.

В квадратные скобки помещается общее обозначение материала, размещаемое после основного заглавия, начинается оно с прописной буквы. Например: Психология [Текст].

В случае размещения произведения на нескольких различных носителях, которые относятся к материалам разных категорий, необходимо привести общее обозначение, касающееся материала, который является основным объектом описания. Когда выбор основного объекта невозможен:

объекты на различных носителях равны по значению, стараются указать обозначение [Комплект] либо [Мультимедиа].

Затем необходимо привести сведения, которые относятся непосредственно к заглавию. Они должны содержать информацию, которая поясняет и раскрывает основное заглавие, подзаголовок (другое название), включает сведения о жанре, виде и назначении приводимого произведения. Если документ получен путём перевода с иностранного языка, то это тоже необходимо указать. Двоеточие предшествует сведениям, которые относятся к заглавию, они представлены нами выше: пробел, двоеточие, пробел. Например: Экономика [Текст]: учебное пособие.

Каждые последующие разнородные сведения о заглавии сопровождаются двоеточием. Например: Челябинская область [Текст]: Челябинск – Миасс – Златоуст – Куса : путеводитель.

В некоторых случаях обязательно указывать обозначение документа. Если они отсутствуют в заголовке записи, то их необходимо добавить. Например: Отчёт о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления [Текст]: ГОСТ 7.32-2001.

Сведения, касающиеся ответственности, отражают информацию об организациях и лицах, которые непосредственно принимали участие в создании художественного, интеллектуального содержания произведения, играющего роль объекта описания, согласно ГОСТ 7.1-2003. Состоять они могут из наименований организаций или имён лиц, включая слова, которые уточняют степень участия их в возникновении произведения. Необходимо учесть, что сведения, касающиеся ответственности, записываются в рамках формы, указанной в информационном источнике.

Косая черта предшествует первым сведениям об ответственности: пробел, косая черта, пробел. Точка с запятой отделяет последующие группы сведений: пробел, точка с запятой, пробел. Запятые отделяют однородные сведения, содержащиеся внутри группы: запятая, пробел. За порядок, в котором приводятся сведения, отвечают их полиграфические оформления или последовательность в информационном источнике, что не зависит от степени возложенной ответственности. Например: / Мария Боровцова; под ред. А. Бердниковой; пер. с англ. Н. Ю. Миронова.

Если имеется информация о четырёх, более организациях (лицах) в описании, то её можно сократить: указывается первое лицо из каждой группы. При этом в квадратные скобки помещается сокращение «и другие», предполагая что [и др.] более трёх лиц (организаций).

/ авт. таблицы А.Н. Анисимова [и др.]; отв. ред. П.Б. Борисов [и др.]

Согласно ГОСТ 7.1-2003 информация об особенностях конкретного издания в сопоставлении с предыдущими изданиями, об изменениях содержится в области издания.

Сведения, представляющие издание, приводятся в тех формулировках, в той последовательности, которые имеются в информационном источнике.

Обычно в них содержится слово «издание», которое иногда заменяется словами «вариант», «версия», «редакция», «выпуск», «репринт» и другое.

Арабскими цифрами записывают порядковый номер, который указывается либо в цифровой, либо в словесной формах. Окончание при этом добавляется, ориентируясь на правила грамматики. Например: . – 8-е изд., – Изд. 6-е., – 3-я ред.

Область издания должна включать и сведения, касающиеся ответственности, в случае отношения их лишь к конкретному изданию. Записываются они после сведений, касающихся издания, а предшествует им косая черта: пробел, косая черта, пробел. Например: . – Изд. 4-е / перераб. с 3-го изд. Н. Нагорный.

Эта область согласно ГОСТ 7.1-2003 включает сведения, содержащие информацию о времени и месте публикации, изготовления и распространения объекта описания, сведения, характеризующие распространителя, издателя, изготовителя.

Форма и падеж названия места распространения и издания должны полностью совпадать с формой и падежом, которые указаны в информационном источнике. Например: . – Екатеринбург. – В. Сатке.

В случае, когда мест издания несколько, приводят выделенное полиграфическим способом, а также указанное первым. Если некоторые сведения опускаются, то употребляют сокращение [и др.]. Можно воспользоваться и эквивалентным ему сокращением на латинском языке, которое тоже приводится в скобках квадратных: [etc.]. Например: . – М. [и др.] или . – Abadan[etc.]

Конечно, можно привести и названия последующих мест, в которых издавалось произведение, но их необходимо отделить точкой с запятой: пробел, точка с запятой, пробел.

Если нет сведений, касающихся места издания, то в скобки квадратные можно поместить сокращение [Б. м.], что означает «без места». Эквивалентным на латинском языке будет выражение [S. l.].

Не приводят место издания для неопубликованных материалов. Ими, например, считаются рукописи. Тогда не прописывают и сокращение [Б. м.].

Распространителя или издателя отмечают после сведений, касающихся места издания, отделяя двоеточием. Сведения приводятся непосредственно в том виде, в котором они указываются в информационном источнике, сохраняются фразы и слова, которые перечисляют функции организации или лица (помимо издательской). Опускают сведения, которые раскрывают форму собственности распространителя или издателя (ООО, АО, Inc., Ltd., GmbH). Опускаются и кавычки, которые обычно сопровождают название издательства.

В случае, когда физическое лицо является издателем, описание содержит фамилию и его инициалы. Их падеж и форма соответствуют приведённым в источнике информации.

Если у произведения два или более издателей, то в описании прописываются имя или наименование, которое указано первым или выделено полиграфическим способом. Опущены или приведены только в примечании могут быть сведения об остальных издателях. Сведения, которые были опущены, обозначают сокращением [etc.] или [и др.]. Сведения эти можно и привести. Тогда их необходимо разделить двоеточием. Например: . – СПб. : Полиграф; Наука; Дрофа.

Если несколько групп сведений у источника, которые включают как место издания, так и издательство, к нему относящееся, то необходимо указать их последовательно, отделяя точкой запятой. Можно ограничить количество подобных групп. Например: . – М. : Дрофа; Тамбов: Вымпел.

В случае отсутствия информации, которая касается издательства, приводят сокращение, помещаемое в квадратные скобки [Б. и.], либо эквивалентное сокращение на латинском языке [S. n.].

Издательство не приводят в случае неопубликованных материалов, отсутствует тогда и сокращение [Б. и.].

В квадратные скобки можно добавить пояснение функции, которая выполняется издательством. Прописывают их рядом с именем издателя.

Датой издания служит год его публикации. Он указывается с помощью арабских цифр с предшествующей ему запятой.

В случае, когда дата указана по летоисчислению, отличающемуся от общепринятого, её приводят в указанном виде, но в квадратных скобках прописывают год, который отражает современное летоисчисление.

Когда в информационном источнике нет даты публикации, то приводят дату издания предполагаемую, поясняя свой выбор в случае необходимости. Не приводят обозначение «без года»: [Б.г.]. Например: , [1941?] , [2001 или 2002], [ок. 2005], [между 2009 и 2013] и другое.

Что касается неопубликованных материалов, то роль даты издания играет дата создания или дата производства.

В области физической характеристики, согласно ГОСТ 7.1-2003, содержится обозначение физической формы представления объекта описания, указывается объём и размер документа, сопроводительный материал, который составляет часть объекта описания, иллюстрации документа.

Приводятся в описываемой области и сведения, касающиеся количества физических единиц, с помощью арабских цифр, а также – специфическое обозначение используемого материала. Язык сведений, раскрывающих вид материала, соответствует языку библиографирующего учреждения. Например: . – 3 т., . – 2 к. (5 л.), . – 1 электрон.опт. диск..

Те сведения, которые характеризуют объём, приводятся с помощью цифр, используемых в объекте описания. Они могут быть как арабскими, так и римскими. Например: . – 213 с., . – XI, 436 с., . – С. 12-14.

В круглые скобки в случае необходимости может помещаться и количество кадров, время воспроизведения и другое. Например: . – 2 зв. кассеты (100 мин.).

Другими физическими характеристиками объекта описания быть могут сведения, касающиеся иллюстраций, материала, послужившего для изготовления объекта описания.

В области серии, согласно ГОСТ 7.1-2003, содержатся сведения, описывающие многочастный документ, где объект описания является его отдельным выпуском. Например: . – (Научные разработки университета / МГУ им. Ломоносова; т. 200. Раздел «Право». Серия «Гражданское право» ;вып. 12).

В области примечания, согласно ГОСТ 7.1-2003, содержится дополнительная информация, касающаяся объекта описания, не приведённая ранее ни в одних элементах описания. В целом область примечания факультативна, но сопоставляя описания некоторых объектов, можно выявить некоторые отдельные примечания, которые считаются обязательными. Это примечания, касающиеся источника основного заглавия, раскрывающие системные требования в случае описания электронных ресурсов, указывающие на сведения, касающиеся депонирования, в случае описания депонированной научной работы и другие. Не регламентируется текст примечания. Например: . – Загл. с обложки видеодиска,. – Режим доступа: www.ra.ru.

Основным заглавием, согласно ГОСТ 7.1-2003, считается общее заглавие многотомного документа. В случае отсутствия у многотомного документа отдельно сформулированного общего заглавия, когда у каждого тома есть заглавие, которое состоит из изменяющейся и постоянной частей, основным заглавием считается постоянная часть.

Сведения, которые относятся к заглавию, включают данные о количестве томов, предусмотренных при написании документа. Например: Серебряный век [Текст]: сборник стихотворений : в 5 т.

Область данных выходных содержит информацию о годах публикации первого, самого последнего томов, которые соединены с помощью знака тире, либо один год в случае публикации всех имеющихся томов в течение года. Например: . – СПб. : Полиграф, 2005-2009.

Двумя способами можно оформить отдельный том, принадлежащий многотомнику. Например: Обухов, Д.В. Практика по экономике [Текст]. В 2 ч. Ч. 1. Задачи / Д. В. Обухов. – СПб.: Дрофа, 2013. – 201 с. ИЛИ Обухов, Д. В. Задачи [Текст] / Д. В. Обухов. – СПб. : Дрофа, 2013. – 201 с. – (Практика по экономике: в 2 ч. / Д. В. Обухов ; ч.1).

Таким образом, первый случай – попадание частного название тома в область заглавия, сведений, касающихся ответственности. Это осуществляется через точку, пробел следом за общим названием многотомника и общим обозначением материала, помещаемого в скобки квадратные, а указывается впереди номер тома. Второй случай – заглавие

тома частное, оно заполняет область заглавия, сведений, касающихся ответственности, номер его не указывается. А в итоге описания вносятся сведения общие об описании многотомника, в которых прописывается количество томов, а номер конкретного тома прописывается в области серии.

Основным заглавием сериального документа согласно ГОСТ 7.1-2003 является:

- общее заглавие для всех имеющихся подсерий, а также заглавие подсерии, зависящее от общего и связанное с помощью слов «раздел», «серия» с заглавием общим. От зависимого заглавия общее отделяют точкой, а номер подсерии и обозначение – запятой в случае предшествования их зависимому заглавию. Двоеточие следует за словом «серия» в случае следования за ним грамматически не связанного с ним тематического заглавия. В качестве примера можно привести следующую запись: Университетский вестник. Серия «Экология».
- заглавие подсерии, которое не зависит от заглавия общего и выделяется полиграфически. А общее заглавие указывается в конце всего описания, в области серии, помещается в круглые скобки: Объединение аспирантов университета... — (Серия практических разработок аспирантов).

В случае у наличия у основного заглавия даты или нумерации, меняющейся в зависимости от выпуска, заменяют многоточием и опускают данную часть заглавия: Обзор важных бухгалтерских отчётов за...

В область нумерации входят сведения, содержащие

- как первую, так и последнюю дату (номер), связанную с началом и прекращением публикации документа, которые соединены знаком тире, в случае описания сериального документа, который прекратил своё существование;
- первую дату (номер) опубликования документа. После них проставляется тире и оставляется интервал, равный четырём пробелам.

Этот случай характерен для описания сериального документа, который продолжает публиковаться.

Способ нумерации сериального документа влияет на начало записи в области. Она начинается либо с номера (буквенного или цифрового обозначения), либо с года (хронологического обозначения).

В случае буквенной или цифровой нумерации приводится обозначение, номер выпуска. Когда указан год, соответствующий опубликованию выпуска, приводят его в круглых скобках. Например: №2 (2014)-

В случае совпадения годов публикации самого первого и самого последнего номеров с годами, которые приведены в области выходных данных, первые опускают.

Хронологическую запись осуществляют следующим образом: вначале приводится год, следом – номер. Арабскими цифрами обозначают номер и год. Например: 2014, № 2 Б или 2013, вып. ¼.

Номер опускают лишь в случае, когда он для года основания является первейшим, а для года прекращения – последним.

Приводят даты в таком порядке: год, месяц (год), день, месяц. Например: 2014, февраль или 2014, 23 февр.

Когда в документе есть и цифровое, и хронологическое обозначение, хронологическое обозначение приводится после цифрового. В случае перерывов в нумерации и её возобновлении, необходимо приводить оба ряда нумерации, ставя между ними точку с запятой. Например: Вып. 5 (2001) – 10 (2010); т. 2 (2011) – 3 (2013) или 2002-2004 ; 2006-2009 ; 2013-.

Можно опустить номера страниц, где размещается описываемый документ, в случае, если страниц менее восьми (в первую очередь, в газете). Например: Неприхотливые сорта тюльпанов [Текст] / Анна Жмаева // Садовод. – 2009. – 21 марта

Когда возникает необходимость описания рефератов и рецензий, то сведения, касающиеся реферируемых (рецензируемых) документов, необходимо приводить в примечании следом за словами «Рец. на ст.:», «Рец. на кн.:», «Реф. кн.:» и «Реф. ст.:» либо на других языках их эквивалентов: «Ref.op.:» и «Rev. op.:». Например: Революция в Киеве [Текст] / А. Арсеньев // История революций. – 2014. — №3. – С. 34-38. – Рец. на кн.: Внутренние силы революционных течений: (материалы к формированию оппозиционных течений) / А. Н. Бутько. – Киев.: Киевская Печать, 2014.

Для описания правил по оформлению электронных ресурсов был разработан ГОСТ 7.82-2001 под названием «Библиографическая запись. Библиографическое описание электронных ресурсов. Общие требования и правила составления».

Электронные ресурсы – это данные, полученные из Интернета, с конкретного винчестера, дискет, CD, с других носителей электронной информации. Данные подобного рода являются опубликованными.

Для описания электронных ресурсов используется следующая схема: Основное заглавие [Общее обозначение материала] = Параллельное заглавие: сведения, которые относятся к заглавию / сведения, отвечающие за ответственность. – Сведения об издании = Параллельные сведения об издании / сведения, касающиеся ответственности, которые относятся к изданию, и дополнительные сведения, характеризующие издание. – Обозначение вида ресурса (его объём). – Место издания: имя издателя, дата издания (Место изготовления: имя изготовителя, дата производства). – Специфическое обозначение материала, количество физических единиц: другие физические характеристики ; размер + сведения о сопроводительном материале. – (Основное заглавие серии (подсерии) = Параллельное заглавие серии (подсерии) : сведения, которые относятся к заглавию серии (подсерии) = Параллельное заглавие серии (подсерии): сведения, которые относятся

непосредственно к заглавию серии (подсерии) / сведения, касающиеся ответственности, которые относятся к серии (подсерии), ISSN; нумерация внутри серии (подсерии). – Примечание. – Стандартный номер = Ключевое заглавие: условия доступности (цена).

В практическом описании рефераты, курсовые, дипломы, диссертации из интернет-ресурсов выглядят примерно следующим образом: Овицин, П. Р. Социальные опросы в сети-интернет [Электронный ресурс] / П. Р. Овицин, А. Г. Розьгин. – Режим доступа: <http://www.cozopros.com:5152/Metodica/6.html>. — Подзаг. с экрана.

Согласно ГОСТ Р 7.0.5-2008 «Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления» осуществляется оформление *ссылок*. Распространяется стандарт на библиографические ссылки, которые применяются в любых, как опубликованных, так неопубликованных документах, предоставляемых на разнообразных носителях.

Название ссылок зависит от их расположения:

- внутритекстовые ссылки, которые помещаются непосредственно в тексте;
- подстрочные ссылки, которые выносятся из текста в сноску (вниз страницы составляемого документа);
- затекстовые ссылки, которые выносятся в выноску (за текст создаваемого документа либо его части).

Когда возникают повторы ссылок (появление ссылок на один и тот же документ), ссылки разделяются:

- первичные ссылки – это те ссылки, с помощью которых в документе приводятся впервые библиографические сведения;
- повторные ссылки – это такие ссылки, в которых повторяются ранее приведённые библиографические сведения, но в сокращённой форме. Повторные ссылки делятся на внутритекстовые, подстрочные и затекстовые.

В случае появления нескольких объектов у ссылки необходимо осуществлять объединение их в одну библиографическую ссылку, комплексную. Те ссылки, которые были включены в комплексную, отделяются точкой запятой с пробелами, проставляемыми до и после знака. Если необходимо описать несколько объектов, которым соответствует одна ссылка, то их необходимо расположить в хронологическом либо в алфавитном порядках с соблюдением принципа единой графической основы. Основа может быть как кириллическая, так и латинская или отдельная на каждом из предложенных языков (согласно алфавитному порядку названий языков). При включении в комплекс нескольких приведённых ссылок подряд, которые содержат записи, характеризующиеся идентичными заголовками (работы созданы одними и теми же авторами), заголовки, включаемые во вторую и последующую ссылки, можно заменить словесными их эквивалентами: «Её же», «Его же», «Их же», а для

документов, составленных на языках с латинской графикой: «Eadem», «Idem», «Iidem».

В ссылках можно заменять точку и тире, которые разделяют области описания библиографического источника, вносимого в список литературы, точкой, а скобки квадратные, предназначенные для сведений, которые заимствуются не из самого источника информации, – просто опускать.

Область физической характеристики ссылки содержит или общий объём используемого документа (количество страниц общее), или сведения, касающиеся местоположения объекта ссылки.

Заголовок записи, характерный ссылке, содержать может несколько имён авторов документа. Если указывать имена авторов в заготовке, то их в сведениях не повторяют, которые касаются ответственности.

При цитировании текста, который берётся не из первоисточника, приводят в месте начала ссылки следующие слова: «Приводится по: », «Цит. по: ». При этом указывается источник, из которого были заимствованы данные. Например: Цит. по: Боровков П. Д. Мыслительный процесс. М., 2008. Т. 1. С. 23.

Чтобы связать подстрочные библиографические ссылки с создаваемым текстом документа, необходимо использовать знак сноски, а чтобы связать затекстовые библиографические ссылки с формируемым текстом документа, нужно использовать отсылку или знак выноски, приводимые в виде порядковых номеров (цифр), звёздочек, букв, других знаков.

В квадратных скобках размещаются отсылки в создаваемом тексте. При необходимости могут содержать отсылки определённые сведения (идентифицирующие): имя авторов (автора), название документа, его год издания, номер тома и его обозначение, указание страниц.

В самом тексте следует располагать внутритекстовую библиографическую ссылку и заключать её в круглые скобки. В неё могут содержаться все элементы, присутствие которых обязательно в описании источника из списка литературы.

Например: (Куйдышев, Е. П., Ардышев, Л. Г. Информатика в задачах : учеб.пособие. М., 2011); (Лекции университета. ЧелГУ., 2001. С. 112-129).

Оформление подстрочной библиографической ссылки осуществляется подобно примечанию, которое выносится вниз страницы из текста документа. Данная ссылка может включать все элементы, должным образом обозначенные в описании источника из списка литературы. Например:

³Бердникова П. Т. Политическая история зарубежных стран. М., 2003. С. 109.

Если в тексте, касающемся библиографических сведений, имеются данные о составной части, то в подстрочной ссылке допускается указание только сведений об идентифицирующем документе. Например:

¹Артемьев В. Ч. Социальные науки // Вопр. социологии. – 2013. — №9. – С. 34-45. А если о данном материале указано ранее в тексте создаваемого документа: ¹Вопр. социологии. 2013. №9. С. 35-45.

В подстрочной ссылке, касающейся записи интернет-ресурса, можно указать лишь его электронный адрес (URL) в случае, когда в тексте присутствуют сведения, идентифицирующие электронный ресурс удалённого доступа ранее. Например: ³Периодические издания Армении: электрон.путеводитель / Библиотека Армении. [Арм.], 2003-2011. URL: <http://www.bibarm.ru/index.html>(дата обращения: 14.02.2011), а если в тексте документа ранее указывается на данную публикацию, то ³URL: <http://www.bibarm.ru/index.html>.

Когда необходимо произвести нумерацию подстрочных библиографических ссылок, лучше использовать единообразный порядок, касающийся всего создаваемого документа: это наличие сквозной нумерации по всему тексту, а также в пределах отдельно взятой главы, части или раздела.

Затекстовая библиографическая ссылка представляет собой номер источника из списка ссылок.

Оформление совокупности затекстовых ссылок осуществляется в виде перечня библиографических записей, который размещается после составной части документа либо его составной части. Совокупность данных ссылок при этом не считается списком литературы, который, как правило, помещается также после текста документа и имеет самостоятельное значение.

Ссылка из совокупности затекстовых ссылок содержать может все элементы, наличие которых в описании источника из списка литературы обязательны.

Сплошную нумерацию необходимо использовать в случае нумерации затекстовых ссылок как для всего документа, так и для отдельных разделов, глав и частей. Чтобы соблюсти связь с текстом документа номер порядковый библиографической записи, прописываемый в затекстовой ссылке, указывают в специальном знаке – знаке выноски. Его набор осуществляется в отсылке либо в верхнем регистре. Отсылку приводят в строке из текста документа, помещая в квадратные скобки.

В случае приведения ссылки, касающейся контекстного фрагмента текста из документа, то в ней необходимо указать его порядковый номер и номер страницы, где помещается ссылочный объект. Приведённые сведения разделяются запятой.

Например, в тексте: [25, с. 14], а в ссылке затекстовой: 25. Николин Б. Ю. История эпох. М.: АСТ, 2003. 243 с.

Когда нумерация записей, размещаемая в затекстовой ссылке, отсутствует (в случае не нумерования списка ссылок), отсылка должна содержать сведения, которые позволяют производить идентификацию объекта ссылки.

В случае, когда ссылка приводится на документ, располагающий авторами в количестве от одного до трёх, то отсылка должна содержать фамилии всех авторов. А когда у документа авторов больше четырёх или авторы вовсе не указаны, то отсылка содержит только название документа.

Иногда дополняют сведения с помощью данных о годе издания и количества страниц. Запятой необходимо отделять сведения, содержащиеся в отсылке.

Если в тексте есть отсылки, которые указывают на книги одного автора только разных лет издания, то в отсылку необходимо включить и год издания. Например: [Узовченко, 2006, с. 12].

Допускаются в отсылке сокращения длинных заглавий, когда опускаемые слова обозначаются многоточием с пробелом до и после: [Философия бытия ... , с. 23].

Когда в отсылке содержатся сведения, касающиеся нескольких затекстовых ссылок, необходимо разделить точкой с запятой группы сведений: [Мигунов, Красносельский, 2006; Павленко, Валуев, 2005].

В случае, когда первичная, повторная ссылки, указывающие на сериальный документ, следуют друг за другом, повторная ссылка содержит основное заглавие, имеющееся у документа, данные, которые отличаются от сведений в первичной ссылке, и содержит сведения о годе, месяце, числе, страницах.

В случае последовательного расположения первичной, повторной ссылок заменяют словами текст, задаваемый для повторной ссылки, словами: «Там же» («Ibid.»). Если повторная ссылка создаётся на другую страницу, то после слов «Там же» добавляется номер страницы, – на другую часть (том, выпуск), то – номер тома (части, выпуска).

Что касается примечания, указывающее на ограничение доступности, то его приводят в тех ссылках, которые относятся к документам из локальных сетей, полнотекстовых баз данных. Доступ к таким документам осуществляется по подписке или на основе договорной: «Гарант», «Кодекс», «КонсультантПлюс» и другие. Для ссылки подстрочной это правило будет соблюдаться так:

¹⁰Осуществление надбавок к заработной плате [Электронный ресурс]: указ М-ва по соц. защите в Рос. Федерации от 15 августа 1993 г. № 2-34-П. Публикация документа не осуществлялась. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

В ссылке указывают также сведения, если они присутствуют, касающиеся даты последнего обновления сетевого документа или его пересмотра, применяя фразу «Дата пересмотра» и другие. В дату пересмотра входят день, месяц, год. Для затекстовой ссылки можно привести такой пример:

45. Социальный рост // Новая эра: [библиогр. указ.] / сост.: Р. Радикова, И. Заковкина, У. Витт; Отд-ние ТБ КА ТИМ. Сатка, [2001 -]. Дата обновления: 10.05.2004. URL: <http://novayaera.ru/news/ader.ssi> (дата обращения: 25.07.2013).

В круглые скобки, следующие за электронным адресом, помещают сведения, содержащие дату обращения к определённом сетевому ресурсу. За словами «дата обращения» прописывают число, месяц, год. Примером для данного случая служат оформленные ссылки:

²Весь Екатеринбург 6 форум // Екатеринбург в деталях: сайт Екатеринбург, 2011. URL: <http://www.ekaterinburghistori.ru/forum/> (дата обращения: 14.06.2008). [4]

Список литературы

1. ИЦ «KURSOVIKS» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://kursoviks.com.ua/nauchnye-raboty/raschetno-graficheskaya-rabota>. свободный – (23.05.19).
2. Сенигов П.Н. Теория автоматического управления: Конспект лекций. – Челябинск: ЮУрГУ, 2001 - 93с.
3. Поиск лекций [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://poisk-ru.ru/s13695t10.html>. свободный – (11.05.19).
4. Пишем диплом сами. Образовательный портал. Все о написании дипломных и курсовых [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.пишем-диплом-сами.рф/> свободный – (17.05.19).

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

**Волжский политехнический институт (филиал)
федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования «Волгоградский государственный
технический университет»**

Факультет _____ Автомеханический _____

Кафедра _____ Автоматика, электроника и вычислительная техника _____

**ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
к курсовой работе (проекту)**

по дисциплине _____ «Теория автоматического управления» _____

на тему:

Студент _____

Группа _____

Руководитель работы (проекта) _____ Л.И. Медведева

Члены комиссии:

(подпись и дата подписания) _____ А.А. Силаев
(инициалы и фамилия)

(подпись и дата подписания) _____ А.В. Савчиц
(инициалы и фамилия)

(подпись и дата подписания) _____
(инициалы и фамилия)

Волжский, 2019

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

**Волжский политехнический институт (филиал)
федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования «Волгоградский государственный
технический университет»**

Факультет _____ Автомеханический _____

Кафедра _____ Автоматика, электроника и вычислительная техника _____

Специальность (направление) _____ 15.03.04 _____

Дисциплина _____ «ТАУ» _____

Утверждаю
зав. кафедрой

_____ А.А. Силаев
(подпись) (инициалы, фамилия)
« _____ » _____ 20 ____ г.

**ЗАДАНИЕ
на курсовую работу**

Студент _____

Группа _____

1. Тема: _____

Утверждено приказом от « ____ » _____

2. Срок предоставления проекта (работы) к защите _____

3. Содержание расчётно-пояснительной записки: _____

4. Перечень графического
материала _____

5. Дата выдачи задания _____

Руководитель работы (проекта) _____ Л.И. Медведева
(подпись и дата)

Задание принял к исполнению _____
(подпись и дата)

РЕЦЕНЗИЯ
на курсовую работу по дисциплине «ГЛУ»

Студент _____

Группа _____

№ критерия	Критерий оценки	«отлично»	«хорошо»	«удовлетв.»	«неудовлетв.»
		Глубокое и прочное усвоение программного материала, глубокое применение полученных знаний, правильное обоснование принятого решения; владение различными приемами и приемами выполнения практических задач. [Полностью правильно и грамотно оформлены: работа, расчеты, графики; ответы на контрольные вопросы.]	Правильное применение теоретических положений при решении практических вопросов и задач, владение необходимыми навыками и приемами их выполнения. [Небольшие недочеты в оформлении работы; неаккуратный графический материал; ответы на контрольные вопросы.]	Допущены неточности, недостаточна правильная формулировка; проявление затруднений при выполнении практических работ. [Небольшие недочеты в оформлении работы; неаккуратный графический материал; неполные ответы на контрольные вопросы.]	Допущены существенные ошибки; неумеренность в принятии решений; несоблюдение сроков выполнения. [Допущены существенные ошибки при оформлении; отсутствие ответов на контрольные вопросы.]
1.	Степень решенности поставленной задачи				
2.	Степень самостоятельности и инициативности студента				
3.	Полнота описания методики расчета или проведенных исследований, изложения собственных расчетов, теоретических и экспериментальных результатов				
4.	Наличие аргументированных выводов по результатам работы				
5.	Итоговая оценка				

Преподаватель _____

Дата _____

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

**Волжский политехнический институт (филиал)
федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования «Волгоградский государственный
технический университет»**

Контрольная работа по дисциплине «ТАУ»

Вариант №

Выполнил:

Проверил:

Волжский, 2019

Электронное учебное издание

Людмила Ивановна **Медведева**

**ВЫПОЛНЕНИЕ КОНТРОЛЬНОЙ И КУРСОВОЙ
РАБОТ ПО ДИСЦИПЛИНЕ
«ТЕОРИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ»**

Учебно-методическое пособие

Электронное издание сетевого распространения

Редактор Матвеева Н.И.

Темплан 2019 г. Поз. № 37.

Подписано к использованию 16.07.2019. Формат 60x84 1/16.

Гарнитура Times. Усл. печ. л. 4,88.

Волгоградский государственный технический университет.

400005, г. Волгоград, пр. Ленина, 28, корп. 1.

ВПИ (филиал) ВолгГТУ.

404121, г. Волжский, ул. Энгельса, 42а.