

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**  
для проведения текущей и промежуточной аттестации

по учебной дисциплине

**«Теория автоматического управления»**

для направления подготовки 15.03.04 – Автоматизация технологических  
процессов и производств

Направленность ОП: Автоматизация технологических процессов и производств  
(по отраслям)

## 1. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

Контроль качества освоения дисциплины включает в себя текущий контроль успеваемости и промежуточную аттестацию. Текущий контроль успеваемости и промежуточная аттестация обучающихся проводятся в целях установления соответствия достижений обучающихся поэтапным требованиям образовательной программы к результатам обучения и формирования компетенций.

### 1.1 Показатели и критерии оценивания компетенций на различных этапах их формирования (промежуточная аттестация)

Компетенции	Показатели	Критерии в соответствии с уровнем освоения ОП			Оценочное средство (промежуточная аттестация)
		пороговый (удовлетворительно) 55-69 баллов	стандартный (хорошо) 70-84 балла	эталонный (отлично) 85-100 баллов	
ПК-6	Знать	Современную элементную базу современных средств автоматики. 2) Основные принципы автоматического управления и соответствующие структурные схемы САУ. 3) Классификационные признаки современных и классических САУ	1) Физические принципы формирования информации в структуре САУ. 2) Математические модели основных законов управления. 3) Назначение основных пакетов прикладных программ при моделировании работы САУ.	1) Качественные показатели устойчивости САУ. 2) Основные критерии устойчивости динамических звеньев и систем.	Теоретические опросы

Уметь	<p>1) Составлять принципиальные схемы основных узлов и блоков электронных регуляторов.</p> <p>2) Использовать достижения современной науки и техники в конструкции разрабатываемой техники.</p> <p>3) Выполнять эксперименты по проверке работоспособности разрабатываемой аппаратуры.</p>	<p>1) Осуществлять сбор и анализ исходных данных для расчета и проектирования узлов автоматического управления.</p> <p>2) Составлять структурные схемы автоматических устройств и подбирать соответствующие комплекты выпускаемой аппаратуры.</p> <p>3) Использовать современные информационные технологии для обработки и интерпретации начальной и рабочей информации в контурах САУ.</p>	<p>1) Диагностировать работоспособность отдельных блоков и аппаратов в целом.</p> <p>2) Проводить проверку и наладку основных видов систем управления.</p>	Практические задания
Владеть	<p>1) Правилами и методами настройки и регулировки узлов и блоков типовых регуляторов и САУ.</p> <p>2) Правилами и методами ремонта и отладки программного обеспечения типовых регуляторов.</p>	<p>1) Методикой разработки элементарных систем автоматического регулирования.</p> <p>2) Правилами разработки проектной и технической документации на разрабатываемые устройства.</p>	<p>1) Готовностью формировать презентации и отчеты по результатам выполненной работы</p> <p>2) Умением определять поведенческие свойства современных систем управления.</p>	Практические задания

**2. Критерии и шкалы оценивания результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости**

Текущий контроль предназначен для проверки хода и качества формирования компетенций, стимулирования учебной работы обучаемых и совершенствования методики освоения новых знаний. Он обеспечивается проведением семинаров, оцениванием контрольных заданий, проверкой конспектов лекций, выполнением индивидуальных и творческих заданий, периодическим опросом обучающихся на занятиях. Контролируемые разделы (темы) дисциплины, компетенции и оценочные средства представлены в таблице.

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины*	Код контролируемой компетенции (или ее части)	Наименование оценочного средства **
1	Введение в ТАУ	ПК-6	Опрос, отчеты по лабораторным работам
2	Классификация и анализ систем	ПК-6	Опрос, отчеты по лабораторным работам
3	Математические модели систем	ПК-6	Опрос, реферат, тестирование, отчеты по лабораторным работам
4	Устойчивость регуляторов	ПК-6	Опрос, отчеты по лабораторным работам

5	Качество регулирования	ПК-6	Опрос, отчеты по лабораторным работам
6	Нелинейные регуляторы	ПК-6	Реферат, электронная презентация
7	Оптимальные регуляторы	ПК-6	Отчеты по темам заданий
8	Цифровые системы	ПК-6	Отчеты по темам заданий

### **2.1 Критерии и шкалы оценивания результатов обучения при проведении промежуточной аттестации**

Промежуточная аттестация предназначена для определения уровня освоения всего объема учебной дисциплины. Для оценивания результатов обучения при проведении промежуточной аттестации используется 4 балльная шкала

#### **Основные виды систем оценивания**

Европейская	100-балльная	4-балльная	2-балльная
A	94-100	отлично	зачтено
A-	90-94		
B+	85-89		
B	80-84	хорошо	
B-	75-79		
C+	70-74		
C	65-69	удовлетворительно	
C-	60-64		
D	55-59		
F	50-54	неудовлетворительно	не зачтено

Промежуточная аттестация предназначена для определения уровня освоения всего объема учебной дисциплины. Для оценивания результатов обучения при проведении промежуточной аттестации используется четырех-балльная шкала: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «Не удовлетворительно».

### *Дифференцированный зачет*

<i>Шкала оценивания</i>	<i>Критерии</i>	<i>Уровень освоения компетенций</i>
<i>Отлично</i>	<i>наличие глубоких и исчерпывающих знаний в объеме пройденного программного материала, правильные и уверенные действия по применению полученных знаний на практике, грамотное и логически стройное изложение материала при ответе, знание дополнительно рекомендованной литературы</i>	<i>Эталонный</i>
<i>Хорошо</i>	<i>наличие твердых и достаточно полных знаний программного материала, незначительные ошибки при освещении заданных вопросов, правильные действия по применению знаний на практике, четкое изложение материала</i>	<i>Стандартный</i>
<i>Удовлетворительно</i>	<i>наличие твердых знаний пройденного материала, изложение ответов с ошибками, уверенно исправляемыми после дополнительных вопросов, необходимость наводящих вопросов, правильные действия по применению знаний на практике</i>	<i>Пороговый</i>
<i>Неудовлетворительно</i>	<i>наличие грубых ошибок в ответе, непонимание сущности излагаемого вопроса, неумение применять знания на практике, неуверенность и неточность ответов на дополнительные и наводящие вопросы.</i>	<i>Компетенции и не сформированы</i>

**3. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы**

#### *3.1. Оценочные средства текущего контроля успеваемости*

##### **3.1.1. Примерные темы рефератов:**

- Основные понятия и определения в теории автоматического управления.
- Классификация систем автоматического регулирования.
- Статические характеристики, способы получения, представления и линеаризации.

- Временные, переходные и частотные характеристики; передаточные функции, логарифмические частотные характеристики.
- Структурные схемы. Правила преобразования структурных схем.
- Передаточные функции разомкнутых и замкнутых систем.
- Типовые звенья и их характеристики. Примеры звеньев.
- Методы описания объектов, свойства объектов. Статические, астатические и неустойчивые объекты. Примеры объектов.
- Понятие состояния. Уравнение объекта в переменных состояния. Наблюдаемость и управляемость.
- Построение АФЧХ разомкнутых и замкнутых систем. Построение вещественной частотной характеристики замкнутой системы с использованием номограмм.
- Построение ЛЧХ разомкнутой одноконтурной системы.
- Устойчивость линейных систем. Необходимые и достаточные условия устойчивости. Критерии устойчивости и области их применения.
- Критерии устойчивости Гурвица, Рауса, Михайлова и Найквиста.
- Определение устойчивости по логарифмическим частотным характеристикам.
- Запас устойчивости. Способы определения запасов устойчивости.
- Построение переходных характеристик систем.
- Показатели качества.
- Способы повышения точности.
- Определение установившихся ошибок с использованием коэффициентов ошибок.
- Корневые оценки качества.
- Интегральные оценки качества.
- Изменение свойств элементов системы за счет использования обратных связей.
- Задачи и методы синтеза систем.
- Выбор корректирующих устройств последовательного типа с использованием логарифмических характеристик.
- Нелинейные системы и их особенности. Основные методы исследования нелинейных систем.
- Типовые нелинейности и их характеристики.
- Определение устойчивости и автоколебаний нелинейной системы по фазовым траекториям.

### ***Критерии и шкала оценивания рефератов***

<i>Оценка</i>	<i>Критерий оценки</i>
<i>«зачтено»</i>	<i>Выставляется студенту, если реферат создан с использованием компьютерных технологий. Используются дополнительные источники информации. Содержание заданной темы раскрыто в полном объеме. Отражена структура реферата (вступление, основная часть, заключение, присутствуют выводы и примеры). Оформление работы, соответствует предъявляемым требованиям.</i>
<i>«не зачтено»</i>	<i>Доклад сделан без использования компьютерных технологий. Содержание реферата ограничено информацией. Заданная тема реферата не раскрыта.</i>

### ***3.1.1. Перечень контрольных вопросов (для оценки знаний):***

1. Дайте определение обратной связи и укажите назначение каждого из ее типов.
2. Какой тип обратной связи применяют для повышения чувствительности системы?
3. Усилитель с обратной связью перешел в режим самовозбуждения (в неустойчивое состояние). Что необходимо предпринять для устранения самогенерации: а) при положительной обратной связи; б) при отрицательной обратной связи.
4. Каким образом связаны показатели статизма и глубины обратной связи?
5. Дайте определение алгоритма.
6. Какими формализованными представлениями описываются алгоритмы?
7. Можно ли алгоритм работы какого либо устройства описать таблицей и каким образом сформировать строки и столбцы?
8. Какие операторы используются в схемах алгоритмов?
9. Что подразумевается под циклом алгоритма?
10. Что представляет корневой портрет системы?
11. Как получают характеристическое уравнение системы?
12. Что такое астатизм системы?
13. Почему астатические системы не имеют статических ошибок?
14. В чем суть появления скоростной ошибки?
15. Какими мерами можно снизить скоростную ошибку?
16. Какие процессы описывают уравнения в переменных состояния?
17. Какова последовательность хода построения функциональной схемы САУ?
18. Какая информация заключена в блочной схеме САУ?
19. Чему равен порядок общего дифференциального уравнения САУ?
20. Что определяет порядок дифференциального уравнения САУ?

### ***Критерии и шкала оценивания результатов опроса***

<i>Оценка</i>	<i>Критерий оценки</i>
<i>«зачтено»</i>	<i>Обучающийся полно излагает изученный материал, даёт правильное определение понятий; обнаруживает понимание материала, может обосновать свои суждения, применить знания на практике, привести необходимые примеры не только по учебнику, но и самостоятельно составленные; излагает материал последовательно и правильно.</i>
<i>«не зачтено»</i>	<i>Студент обнаруживает незнание большей части соответствующего раздела изучаемого материала, допускает ошибки в формулировке материала.</i>

### **3.1.2. Перечень лабораторных работ**

Форма обучения - очная

1. Структурные преобразования и вывод общей передаточной функции САР
2. Построение амплитудно-частотных характеристик САР
3. Исследование САУ стабилизации и слежения
4. Устойчивость САР. Критерии устойчивости
5. Исследование САУ методом математического моделирования
6. Исследование динамических звеньев САУ

7. Расчет параметров статического регулятора
8. Расчет параметров быстродействия оптимального регулятора
9. Исследование САУ экстремального регулирования с микроЭВМ
10. Исследование САР с запаздыванием
11. Исследование нелинейной САР
12. Исследование скользящих режимов работы нелинейной САР
13. Исследование САР при случайных воздействиях
14. Исследование САУ скоростью электродвигателя
15. Исследование статических и астатических САУ ДПТ
16. Исследование ДПТ в режиме динамического торможения
17. Исследования датчиков
18. Исследование электрических параметров датчиков
19. Исследования динамических звеньев
20. Исследование работы электромагнитного реле
21. Исследование характеристик магнитного усилителя
22. Исследование характеристик реле времени

Форма обучения - заочная

Модуль	Номер раздела	Содержание практических (семинарских) занятий
1	1	Структурные преобразования и вывод общей передаточной функции САР
	2	Построение амплитудно-частотных характеристик САР
	3	Исследование САУ стабилизации и слежения
	4	Устойчивость САР. Критерии устойчивости
	5	Исследование САУ методом математического моделирования
	6	Исследование динамических звеньев САУ
	7	Расчет параметров статического регулятора
	8	Расчет параметров быстродействия оптимального регулятора

**Критерии и шкала оценивания выполнения лабораторных работ**

Оценка	Критерий оценки
«зачтено»	Обучающийся правильно выполнил индивидуальное творческое задание. Показал отличное владения навыками применения полученных знаний и умений при решении профессиональных задач в рамках усвоенного учебного материала.
«не зачтено»	При выполнении индивидуального творческого задания студент продемонстрировал недостаточный уровень владения умениями и

### **3.2. Оценочные средства промежуточной аттестации**

#### **3.2.1. Перечень теоретических вопросов (для оценки знаний):**

1. Что называется канонической формой записи передаточных функций?
2. Какие процессы в системе описывают канонические формы записи?
3. Какой канонической форме соответствует сигнальный граф по структуре с многомерным входом?
4. Как формируются прямые пути сигнальных графов для обеих канонических форм?
5. Для чего строятся аналоговые модели систем?
6. Для чего строятся частотные характеристики объектов и систем?
7. Какая информация заложена в АЧХ, ФЧХ, АФЧХ?
8. Чем графически представлен амплитудный модуль?
9. Как определить фазовый сдвиг в определенной частотной точке АФЧХ?
10. Какие функции выполняют ПИ-регуляторы?
11. Как получить дифференциальное уравнение объекта или системы по их передаточным функциям?
12. Как соединены пропорциональное и интегрирующее звенья в ПИ-регуляторе?
13. Каким образом выводится характеристическое уравнение САР?
14. Что нужно для получения амплитудно-частотной характеристики САР?
15. Будет ли система устойчива, если годограф ее частотной характеристики начнет свое движение с отрицательной вещественной полуоси?
16. Как влияет на устойчивость САР положительная обратная связь в структуре системы?

#### **3.2.2. Примеры тестов для промежуточной аттестации:**

Задание 1.

В системе автоматического регулирования температуры движков утюга, регулирующий режимы глажения является ...

Варианты ответа:

- элементом сравнения
- задающим элементом
- чувствительным элементом
- регулятором

Задание 2.

Система, содержащая элемент, выходной сигнал которого в каждый момент времени равен произведению его входных сигналов, называется ...

Варианты ответа:

- линейной
- цифровой
- дискретной
- нелинейной

Задание 3.

Если процессы в системе управления слабо зависят от параметров объекта управления, то такую систему называют...

Варианты ответа:

- астатиической
- устойчивой
- нейтральной
- грубой (робастной)

Задание №9.

Установите соответствие между типовыми звеньями и предельными фазовыми сдвигами (в угловых градусах), вносимыми этими звеньями при обработке высокочастотных гармонических сигналов.

Варианты ответа:

1. Форсирующее первого порядка
2. Усилительное
3. Аперриодическое первого порядка
4. Консервативное

Задание №20.

Регулятор, построенный в результате решения задачи аналитического конструирования регулятора (АКОР), содержит...

Варианты ответа:

- ПИД –регулятор
- местные обратные связи по всем звеньям
- интегро -дифференцирующий фильтр в прямой цепи
- обратные связи по всем переменным состояниям.

### ***Критерии и шкала оценивания результатов опроса***

<i>Оценка</i>	<i>Критерий оценки</i>
<i>«зачтено»</i>	<i>Обучающийся полно излагает изученный материал, даёт правильное определение понятий; обнаруживает понимание материала, может обосновать свои суждения, применить знания на практике, привести необходимые примеры не только по учебнику, но и самостоятельно составленные; излагает материал последовательно и правильно с точки зрения норм литературного языка.</i>
<i>«не зачтено»</i>	<i>Студент обнаруживает незнание большей части соответствующего раздела изучаемого материала, допускает ошибки в формулировке материала.</i>

**4. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы**

**4.1. Описание процедур проведения текущего контроля успеваемости студентов**

В таблице представлено описание процедур проведения контрольно-оценочных мероприятий текущего контроля успеваемости студентов, в соответствии с рабочей программой дисциплины, и процедур оценивания результатов обучения с помощью спланированных оценочных средств.

Наименование оценочного средства	Описания процедуры проведения контрольно-оценочного мероприятия и процедуры оценивания результатов обучения
Лабораторная работа	Выполнение лабораторной работы осуществляется на лабораторно-практическом занятии. Преподаватель на занятии, предшествующем занятию проведения контроля, доводит до обучающихся тему работы. Результаты работы оформляются студентами самостоятельно в форме отчета и сдаются на проверку преподавателю
Дискуссия	Дискуссии проводятся во время лабораторно-практических занятий. Преподаватель на практическом занятии, предшествующем занятию проведения круглого стола, доводит до обучающихся тему дискуссии и вопросы для ее проведения
Доклад по теме реферата	Защита докладов предусмотренные рабочей программой дисциплины, проводится во время практических занятий. Преподаватель на практическом занятии, предшествующем занятию проведения контроля, доводит до обучающихся: тему докладов и требования, предъявляемые к их выполнению и защите
Тестирование	Тестирование производится на 15-ти минутке лекционного занятия выборочно с занесением результата в журнал.
Контрольная работа для заочной формы обучения	Контрольная работа «Расчет объемных регулируемых гидроприводов». Выполняется по вариантам индивидуальных заданий и представляет расчетно-проектную часть по разработке принципиальной схемы привода с расчетным выбором всех элементов.

## Контрольная работа (заочная форма обучения).

### Исследование работоспособности объекта управления с ПИ-регулятором

#### 1. Цель работы

Ознакомиться с методикой структурных преобразований для составления эквивалентной передаточной функции системы автоматического регулирования (САР) с обратной связью и ПИ-регулятором.

На основании выражения общей передаточной функции САР научиться получать общее дифференциальное уравнение САР.

Освоить методику исследования устойчивости замкнутой САР по критерию А.В. Михайлова.

#### 2. Упрощение структурной схемы объекта управления и вывод формулы его эквивалентной передаточной функции

Зачастую объект имеет достаточно сложную структуру, каждый из элементов которой известен, и задача построения математической модели объекта сводится к определению его дифференциального уравнения или уравнения всей системы в целом.

Предположим, что объект обладает следующей структурой (рис. 9.1).

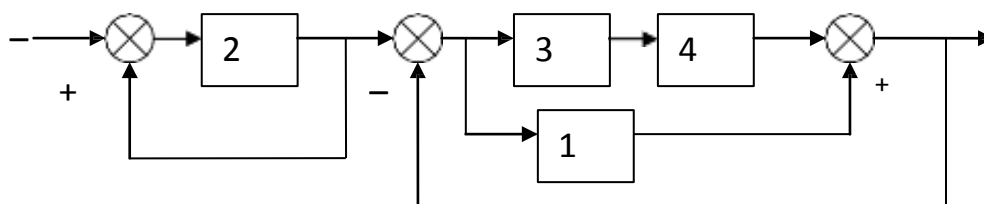


Рис. 1. Структурная схема анализируемого объекта управления

Элементы структуры описываются выражениями следующего вида в порядке их номеров:

$$(1) \frac{dy}{dx} = 2x; (2) y = 7x + 5 \frac{dx}{dt}; (3) 3 \frac{dy}{dt} + y = 2x; (4) 5y = 3x.$$

Первоначально необходимо записать уравнения элементов в операторной форме и их передаточные функции.

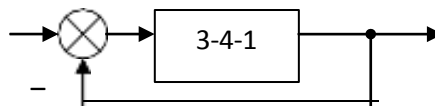
$$p \cdot y = 2x; \quad y = 7x + 5px; \quad 3py + y = 2x; \quad 5y = 3x.$$

Соответственно, передаточные функции будут иметь вид

$$W_1(p) = \frac{2}{p}; \quad W_2(p) = 7 + 5p; \quad W_3(p) = \frac{2}{3p + 1}; \quad W_4(p) = \frac{3}{5}.$$

Затем следует поэтапно упростить систему объекта, используя правила преобразования передаточных функций для последовательного, параллельного или встречно-параллельного соединения динамических звеньев, а также для звеньев, имеющих единичные обратные связи.

Структурную схему на рис. 9.1 можно упростить в несколько этапов. Вначале заменим эквивалентными элементами последовательное соединение звеньев 3, 4 и параллельную цепь со звеном 1 и представим соединения эти звеньев в виде обобщенного звена 3-4-1, охваченного единичной обратной связью (рис. 9.2).



**Рис. 2. Образование эквивалентного звена  $W_{3-4-1}(p)$  правой части исходной схемы**

Такая замена возможна по схеме:

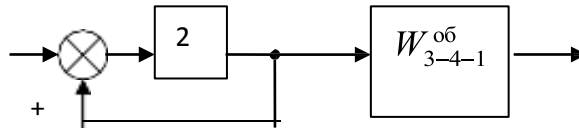
а)  $W_{3-4}(p) = W_3(p) \cdot W_4(p);$

б)  $W_{3-4-1}(p) = W_3(p) \cdot W_4(p) + W_1(p).$

Охват эквивалентного звена 3-4-1 единичной отрицательной обратной связью можно также упростить, заменив его на другое эквивалентное звено, используя известные правила преобразования

$$W_{3-4-1}^{об}(p) = \frac{W_{3-4-1}(p)}{1 + W_{3-4-1}(p)} \quad (1)$$

Таким образом, мы приходим к схеме, приведенной на рис. 9.3.



**Рис. 9.3. Образование единого эквивалентного звена в правой части схемы**

В левой части схемы осталось звено 2, охваченное положительной обратной связью. В соответствии с правилами преобразования его эквивалентным звеном будет звено

$$W_2^{об}(p) = \frac{W_2(p)}{1 - W_2(p)} \quad (2)$$

В результате такого шага мы будем иметь структуру с двумя последовательно соединенными звеньями  $W_2^{об}(p)$  и  $W_{3-4-1}^{об}(p)$ .

Тогда общая передаточная функция объекта с исходной схемой, приведенной на рис. 9.1 будет иметь вид

$$W(p) = W_2^{об}(p) \cdot W_{3-4-1}^{об}(p) \quad (3)$$

Подставим все операторные формулы составляющих звеньев в полученные выражения

$$W_{3-4-1}^{об}(p) = \frac{3}{5} \cdot \frac{2}{3p+1} + \frac{2}{p} = \frac{6p+30p+10}{15p^2+5p} = \frac{7,2p+2}{p(3p+1)}$$

В соответствии с формулой (9.1)

$$W_{3-4-1}^{об} = \frac{(7,2p+2)/p(3p+1)}{1 + (7,2p+2)/p(3p+1)} = \frac{7,2p+2}{p(3p+8,2)+2}$$

В соответствии с формулой (9.2)

$$W_2^{об}(p) = \frac{7+5p}{1-(7+5p)} = \frac{7+5p}{-5p-6}$$

Тогда, в соответствии с формулой (9.3) передаточная функция объекта будет соответствовать следующему выражению

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

что после преобразований приведет к виду

$$W(p) = \frac{2,58p^2 + 4,31p + 1}{-1,07p^3 - 4,2p^2 - 4,23p - 0,86} \quad (4)$$

В соответствии с правилом обратного преобразования передаточной функции в дифференциальное уравнение  $y(p) = W(p) \cdot x(p)$ , можно реализовать обратное преобразование.

$$\text{Тогда } y(p) = \frac{2,58p^2 + 4,31p + 1}{-1,07p^3 - 4,2p^2 - 4,23p - 0,86} \cdot x(p).$$

или

$$\left(-1,07p^3 - 4,2p^2 - 4,23p - 0,86\right) \cdot y(p) = (2,58p^2 + 4,31p + 1)x(p).$$

или, в дифференциальной форме

$$-1,07 \frac{d^3 y}{dt^3} - 4,2 \frac{d^2 y}{dt^2} - 4,23 \frac{dy}{dt} - 0,86 y = 2,58 \frac{d^2 x}{dt^2} + 4,31 \frac{dx}{dt} + x. \quad (5)$$

Выражение (9.5) является математической моделью поведения объекта в динамике.

### 3. Общая модель системы «Объект-ПИ-регулятор»

Для стабильной и устойчивой работы объектов они снабжаются пропорционально-интегрирующими регуляторами (иначе ПИ-регуляторами). Необходимо сразу заметить, что не все объекты могут обрести устойчивость при их соединении с ПИ-регуляторами. Для решения задачи устойчивости, во-первых, применяются специальные методики расчета параметров ПИ-регуляторов, во-вторых, исследуются причины неустойчивости самих объектов и, соответствующим образом устраняются.

В нашем случае не ставится задачи разработки устойчивой системы «объект-регулятор», а только осваивается сама методика анализа работы таких систем.

Работа ПИ-регулятора описывается уравнением следующего вида

$$y_p(t) = K_p \left( x_p(t) + \frac{1}{T_i} \int x_p(t) dt \right),$$

или иначе, в операторной форме записи

$$y_p(p) = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_{И} \cdot p} \right) x_p(p), \quad (6)$$

где  $K_p$  – коэффициент усиления пропорциональной части регулятора;

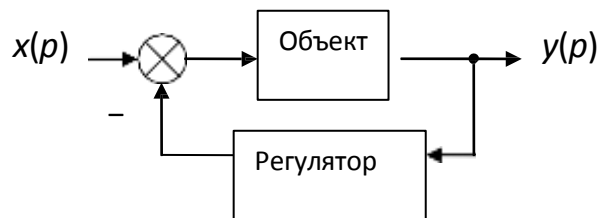
$T_{И}$  – постоянная времени интегрирующей части регулятора.

Индексы при переменных  $X$  и  $Y$ , а также постоянной  $K$  означают их принадлежность к регулятору. Их нельзя путать с обозначением оператора

дифференцирования  $p = \frac{d}{dt}$ .

Произвольно выберем параметры настройки регулятора:  $K_p=5$ ;  $T_{И}=0,1$ .

Структура системы автоматического регулирования (САР) будет иметь вид, приведенный на рис. 4.



**Рис. 4. структура системы САР**

Общая передаточная функция САР будет представлена формулой

$$W_{САР}(p) = \frac{W(p)}{1 + W(p) \cdot W_p(p)}; \quad (7)$$

где  $W(p)$  – передаточная функция объекта (формула (9.4));

$W_p(p)$  – передаточная функция регулятора, которая, в соответствии с формулой (9.6) будет иметь вид с подставленными в нее параметрами регулятора

$$W_p(p) = \frac{K_p(T_{И}p + 1)}{T_{И}p} = \frac{5(0,1p + 1)}{0,1p}; \quad (8)$$

Подставим в формулу (9.7) численные значения функции  $W(p)$ , (см. формулу (9.4) и функции регулятора – формула (8).

$$W_{CAP}(p) = \frac{2,58p^2 + 4,31p + 1}{-1,07p^3 - 4,2p^2 - 4,23p - 0,86} \cdot \frac{5(0,1p + 1)}{0,1p} =$$

$$= \frac{2,58p^2 + 4,31p + 1}{-0,1p^4 + 0,87p^3 + 14,63p^2 + 22,05p + 4,91} \quad (9)$$

Последнее выражение представляет собой передаточную функцию замкнутой САР объекта с ПИ-регулятором. Аналогично выражению (5), для нее можно получить общее дифференциальное управление поведения замкнутой САР.

#### 4. Исследование системы на устойчивость

Для данной процедуры применим критерий А.В. Михайлова. Из уравнения (9.9) выделим знаменатель передаточной функции и приравняем его к нулю

$$G(p) = -0,1p^4 + 0,87p^3 + 14,63p^2 + 22,05p + 4,91 = 0 \quad (10)$$

Данное выражение есть характеристическое уравнение системы.

Согласно критерию А.В. Михайлова, для устойчивости системы необходимо и достаточно, чтобы при изменении угловой частоты  $\omega$  от 0 до  $\infty$  ( $0 \leq \omega \leq \infty$ ), годограф, описываемый концом вектора частотной характеристики  $W(i\omega)$  на плоскости комплексного переменного:

- а) начинался на вещественной положительной полуоси;
- б) вращался бы только против часовой стрелки;
- в) нигде не обращался бы в нуль;
- г) проходил последовательно число квадратов, равное степени характеристического уравнения  $n$ , повернувшись на угол  $n \cdot \frac{\pi}{2}$ .

Тогда, путем подстановки в характеристическое уравнение (10) частотное отображение оператора дифференцирования  $p = i \cdot \omega$ , где  $i$  – комплексное число, получим уравнение частотной характеристики системы

$$W(i\omega) = -0,1\omega^4 - 0,87i\omega^3 - 14,63\omega^2 + 22,05i\omega + 4,91.$$

Выделим из нее вещественную  $Re(\omega)$  и мнимую  $I_m(\omega)$  части:

$$Re(\omega) = -0,1\omega^4 - 14,63\omega^2 + 4,91;$$

$$I_m(\omega) = -0,87\omega^3 + 22,05\omega.$$

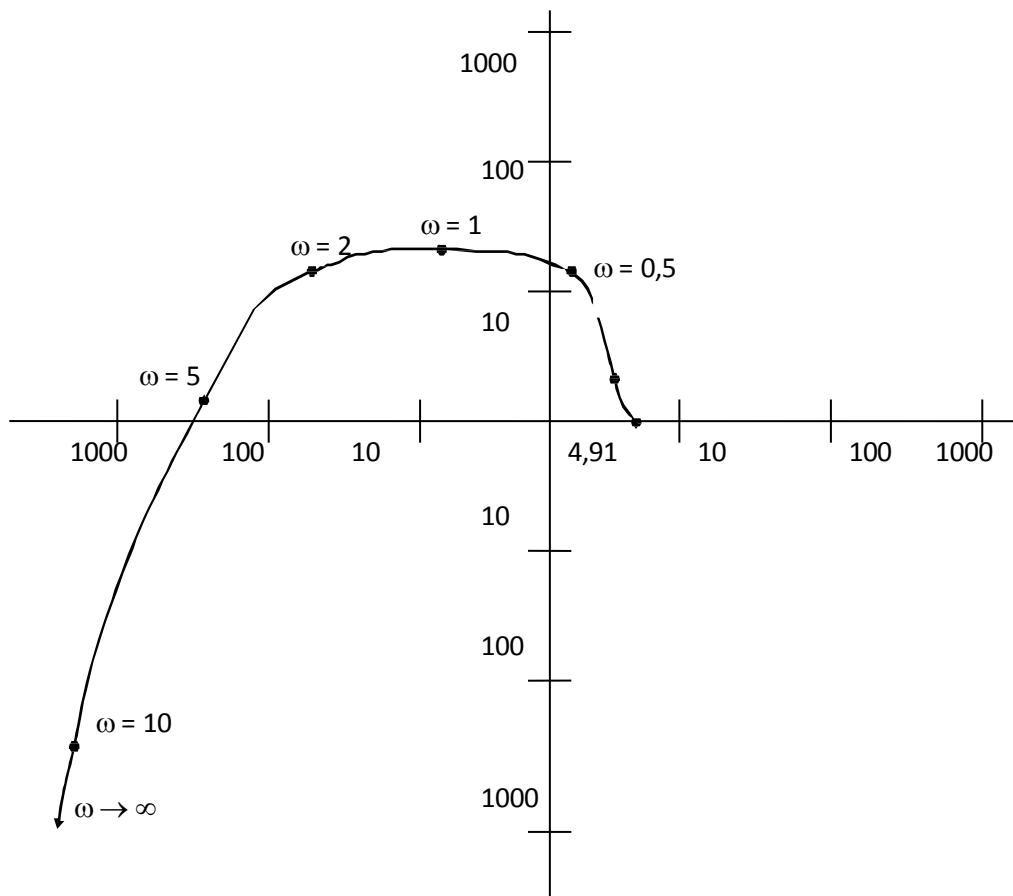
Подставляя в данные части значения частоты  $\omega$  от 0 до  $\infty$ , получим из значения, представленные в таблице 1.

Для удобства отображения больших и малых чисел на комплексной плоскости применим логарифмическую разметку шкалы ее полуосей в виде декадных оценок. Тогда вид кривой годографа будет представлен на рис. 5.

Таблица 1

**Данные для расчета годографа**

$\omega, Гц$	$\omega^2$	$\omega^3$	$\omega^4$	$Re(\omega)$	$I_m(\omega)$
0	0	0	0	4,91	0
0,1	0,01	0,001	0,0001	4,77	2,2
0,5	0,25	0,125	0,0625	1,25	11,05
1	1	1	1	-9,72	21,18
2	4	8	16	-55,21	15,09
5	25	125	625	-387	2
10	100	1000	$10^4$	-2458	-650
$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$-\infty$	$-\infty$



**Рис. 5. Годограф частотной характеристики САР**

Анализ поведения годографа показывает, что нарушен пункт 2) критерия устойчивости. Поскольку характеристическое уравнение САР имеет четвертую степень полинома, вектор частотной характеристики должен пройти 4 квадранта, повернувшись на угол  $2\pi$ . Однако она закончил свое движение в третьем квадранте, повернувшись на угол близкий к  $5/4\pi$ . Следовательно, нет оснований считать анализируемую систему устойчивой.

Судя по структурной схеме, приведенной на рис. 1 устойчивость объекта нарушается сразу же на входе системы из-за звена 2, охваченного положительной обратной связью. Дополнительно к этому, само звено, судя по его передаточной функции  $W_2(p) = 7 + 5p$ , представляет собой параллельное соединение безинерционного и дифференцирующего звена. Последнее, само по себе являясь быстрым звеном, дополнительно охвачено положительной обратной связью. Это значительно снижает устойчивость

объекта в такой степени, что даже наличие в системе ПИ-регулятора не вводит ее в устойчивую область.

Для решения этой задачи необходимо либо изменять структуру объекта, либо вводить в систему корректирующие звенья, либо менять тип и параметры регулятора.

## 5. Выполнение работы

Провести анализ на устойчивость системы САУ, состоящей из объекта, структура которого изображена на рис. 6 и ПИ-регулятора, включенного в цепь отрицательной обратной связи.

Параметры звеньев объекта и регулятора приведены в таблице заданий 2.

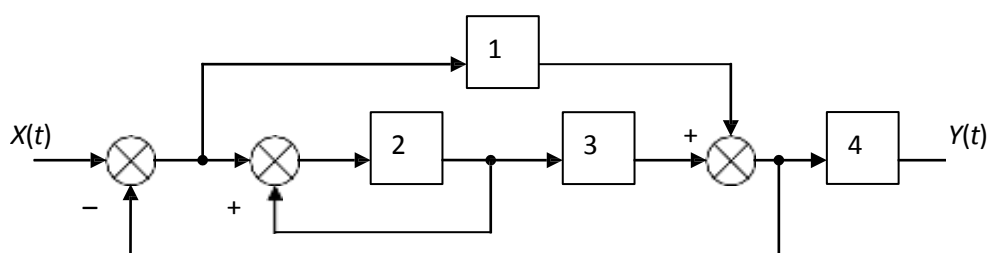


Рис. 6. Структурная схема объекта для выполнения работы

Анализ проводим в последовательности приведенного в п. 2-4 примера:

1. На основании правил преобразования структурных схем, сводим структуру объекта к единому эквивалентному звену.

Таблица 2

### Варианты заданий

№ вариант а	Дифференциальные уравнения звеньев объекта управления				Параметры регулятора	
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	$K_P$	$T_{II}$
1	$2 \frac{dy}{dt} = 3x$	$5y = 2x + 7 \frac{dx}{dt}$	$\frac{dy}{dt} + y = x$	$3y = 5x$	5	1,5

2	$5\frac{dy}{dt} + y = 2x$	$3y = 2x$	$\frac{dy}{dt} = 7x$	$2y = x + 3\frac{dx}{dt}$	0,6	2,5
3	$y = 2x$	$7\frac{dy}{dt} = 5x$	$3y = 2x + 5\frac{dx}{dt}$	$\frac{dy}{dt} + y = 3x$	2	0,1
4	$2\frac{dy}{dt} + y = 7x$	$2y = x$	$\frac{dy}{dt} = 2x$	$y = 5x + 3\frac{dx}{dt}$	6	0,15
5	$5y = 3x + 2\frac{dx}{dt}$	$\frac{dy}{dt} + y = 5x$	$y = 5x$	$3\frac{dy}{dt} = 2x$	4	2

2. Путем алгебраических преобразований получаем общую передаточную функцию объекта.

3. Путем обратных преобразований из передаточной функции объекта получаем дифференциальное уравнение его поведения в форме уравнения (9.5).

4. Устанавливаем цепь отрицательной обратной связи к объекту в виде ПИ-регулятора. Выбирая из табл. 2 его параметры, устанавливаем операторную форму его передаточной функции (формула (8)).

5. Объединяем в общую передаточную функцию составные функции объекта и регулятора (формула вида (9)).

6. Выделяем из выражения  $W_{CAP}(p)$  характеристическое уравнение замкнутой САР (формула (10)).

7. Исследуем САР на устойчивость по критерию А.В. Михайлова, для чего характеристическое уравнение преобразовываем в частотную характеристику  $W(i\omega)$ .

8. Выделяем из последней вещественную  $Re(\omega)$  и мнимую  $Im(\omega)$  составляющие и строим таблицу значений точек годографа (в виде табл. 1).

9. Изменяя частоту, подаваемую в САР от 0 до  $\infty$  заполняем таблицу 1 и строим график вектора годографа частотной характеристики.

10. По поведению графика годографа даем заключение об устойчивости САР.

## Контрольные вопросы

1. Какие функции выполняют ПИ-регуляторы?
2. Как получить дифференциальное уравнение объекта или системы по их передаточным функциям?
3. Как соединены пропорциональное и интегрирующее звенья в ПИ-регуляторе?
4. Каким образом выводится характеристическое уравнение САР?
5. Что нужно для получения амплитудно-частотной характеристики САР?
6. Будет ли система устойчива, если годограф ее частотной характеристики начнет свое движение с отрицательной вещественной полуоси?
7. Как влияет на устойчивость САР положительная обратная связь в структуре системы?

### 4.2. Описание процедур проведения промежуточной аттестации

#### Дифференцированный зачет

При определении уровня достижений обучающихся на зачете обращается особое внимание на следующее:

- дан полный, развернутый ответ на поставленный вопрос;
- показана совокупность осознанных знаний об объекте, проявляющаяся в свободном оперировании понятиями, умении выделить существенные и несущественные признаки, причинно-следственные связи;
- знание об объекте демонстрируется на фоне понимания его в системе данной дисциплины и междисциплинарных связей;
- ответ формулируется в терминах дисциплины, изложен литературным языком, логичен, доказателен, демонстрирует авторскую позицию обучающегося;
- теоретические постулаты подтверждаются примерами из практики.

### Пример билета

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Забайкальский государственный университет»	БИЛЕТ № 8 по дисциплине <b>Теория автоматического управления</b> направление подготовки 15.03.04 Автоматизация технологических процессов и производств семестр 8
--	---

1. Основные признаки классификации АСР.
2. Основные виды переходных характеристик и основные возмущающие величины и воздействия.
3. Как формируется частотная передаточная функция системы

Составил:

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г

УТВЕРЖДАЮ

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

### ***Контрольные вопросы к Дифференцированному зачету:***

1. Что понимают под алгоритмом управления?
2. Назовите основные структурные составляющие АСР.
3. Зачем в систему вводится регулятор? Поясните его основную функцию.
4. функцию.
5. Что такое обратная связь? Какой она должна быть для правильного функционирования АСР?
6. вильного функционирования АСР?
7. Какие фундаментальные принципы управления существуют? Особенности каждого принципа.
8. Назовите основные пункты классификации АСР.
9. Что такое математическая модель? Какие типы моделей используются в теории автоматического управления?
10. Что понимают под дифференциальным уравнением? Как определяется его порядок?
11. ределяется его порядок?
12. Что такое преобразование Лапласа? В чем его суть?
13. Какие режимы работы системы существуют? В чем особенность данных режимов?
14. Что такое статическая характеристика системы? Как её получить?
15. Какие переходные характеристики существуют? Какие типовые воздействия используются для их получения?
16. Что представляют собой частотные характеристики системы? Какие они бывают?
17. Построение АЧХ и ФЧХ в логарифмическом масштабе.
18. Как находятся частота сопряжения и частота среза?
19. Что такое передаточная функция системы?
20. Классификация и примеры типовых динамических звеньев.
21. Что такое структурная схема модели системы?
22. Каким образом изображаются параметрические связи в структурной схеме модели системы?
23. Чем можно заменить несколько последовательно соединенных звеньев?
24. Чем можно заменить несколько параллельно соединенных звеньев?
25. Чем можно заменить звено, охваченное обратной связью?
26. По каким каналам можно получить передаточные функции одноконтурной возмущенной системы автоматического регулирования?
27. Определение устойчивости системы и её математическая ин-

терпретация.

28. Что понимают под критерием устойчивости? Назовите два основных типа критериев.
29. Как найти характеристическое уравнение системы? Типы корней характеристического уравнения.
30. Критерий устойчивости по корням характеристического уравнения.
31. В чем суть критерия Рауса? Назовите его формулировку.
32. В чем суть критерия Гурвица? Назовите его формулировку.
33. Как найти частотную передаточную функцию системы?
34. Определение устойчивости по критерию Михайлова. Формулировка критерия Михайлова.
35. Определение устойчивости по критерию Найквиста. Формулировка критерия Найквиста для систем устойчивых разомкнутом состоянии.
36. Определение устойчивости по логарифмическому критерию.
37. Формулировка логарифмического критерия для систем, устойчивых в разомкнутом состоянии.
38. Как построить общую ЛАХ и ЛФХ системы по характеристикам отдельных звеньев?
39. Что понимается под структурной устойчивостью системы?
40. Какая система является структурно неустойчивой?
41. Что представляет собой качество регулирования? Чем оно численно оценивается?
42. Какие воздействия на АСР применяют при оценке качества регулирования?
43. Чем описывается статическая точность АСР?
44. Что представляет собой статизм? Как его определить?
45. Назовите способы повышения статической точности.
46. В каких системах отсутствует статическая ошибка?
47. Определение колебательности и перерегулирования.
48. Как определить колебательность по АЧХ?
49. Какие существуют корневые показатели качества и как их определить?
50. Связь между прямыми и косвенными показателями качества регулирования.