

УТВЕРЖДАЮ  
Декан факультета

\_\_\_\_\_  
Юнаков Л. П.  
(подпись)      ФИО  
«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ЖРД

Направление/специальность подготовки	24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей
Специализация/профиль/программа подготовки	Проектирование жидкостных ракетных двигателей
Уровень высшего образования	Специалитет
Форма обучения	Очная
Факультет	А Ракетно-космической техники
Выпускающая кафедра	А8 ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ
Кафедра-разработчик рабочей программы	А8 ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

КУРС	СЕМЕСТР	ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ (ЗАЧЕТНЫХ ЕДИНИЦ)	ЧАСЫ (по наличию видов занятий)									ВИД ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОНТРОЛЯ
			ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ	АУДИТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ				САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА				
				ВСЕГО	ЛЕКЦИИ	ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ	ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ	ВСЕГО	КУРСОВОЙ ПРОЕКТ	КУРСОВАЯ РАБОТА	ДРУГИЕ ВИДЫ САМОСТ. РАБОТЫ	
4	7	3	108	68	34	0	34	40	0	0	40	диф. зач.
4	8	3	108	34	17	0	17	74	0	0	74	диф. зач.
ВСЕГО		6	216	102	51	0	51	114	0	0	114	

*ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ*

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА СОСТАВЛЕНА В СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ ФЕДЕРАЛЬНОГО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО СТАНДАРТА ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ (ФГОС ВО)

**24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей**

год набора группы: 2024

Программу составил:

Кафедра А8 ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ  
АППАРАТОВ \_\_\_\_\_

Русина Алена Андреевна, старший преподаватель

Программа рассмотрена  
на заседании кафедры-разработчика  
рабочей программы

**А8 ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

Заведующий кафедрой Левихин А.А., к.т.н., доц. \_\_\_\_\_

Программа рассмотрена  
на заседании выпускающей кафедры

**А8 ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

Заведующий кафедрой Левихин А.А., к.т.н., доц. \_\_\_\_\_

# **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

## **АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ЖРД**

### **Разделы рабочей программы**

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ
2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО
3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ
4. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ
5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ
6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### **Приложения к рабочей программе дисциплины**

- Приложение 1. Аннотация рабочей программы
- Приложение 2. Технологии и формы обучения
- Приложение 3. Фонды оценочных средств

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ОПК-2 — способность понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности
ОПК-5 — способность разрабатывать физические и математические модели исследуемых процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной сфере деятельности для решения инженерных задач

Формированию компетенций служит достижение следующих результатов образования:

### **ОПК-2**

*знания:*

Знание принципов построения автоматизированных систем оценки состояния и параметров;

*умения:*

Умение применять современных информационных технологий для решения задач оценки показателей устойчивости и качества устройств автоматики и регулирования;

*навыки:*

Моделирования устройств автоматики.

### **ОПК-5**

*знания:*

Знание основ теории автоматического управления;

*умения:*

Умение представлять узел ДУ в форме пространства состояний в виде динамического звена;

*навыки:*

Навык использования преобразования Лапласа и линеаризации уравнений динамики.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина **АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ЖРД** является дисциплиной **обязательной части блока 1** программы подготовки по направлению *24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей*.

Содержание дисциплины является логическим продолжением дисциплин: **ВЫСШАЯ МАТЕМАТИКА**.

Содержание дисциплины является основой для освоения дисциплин: **ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ И ПАРАМЕТРОВ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ, ПОДГОТОВКА К ПРОЦЕДУРЕ ЗАЩИТЫ И ЗАЩИТА ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ**.

Предварительные компетенции, сформированные у обучающегося до начала изучения дисциплины:

- ОПК-5 — Способен разрабатывать физические и математические модели исследуемых процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной сфере деятельности для решения инженерных задач

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 6 з.е., 216 ч.

#### 3.1. Содержание (дидактика) дисциплины

КУРС	СЕМЕСТР	Наименование разделов и дидактических единиц	ВСЕГО	Аудиторные занятия в контактной форме			Самостоятельная работа студентов	Формируемая компетенция, %	
				ВСЕГО	Лекции	Практические занятия		ОПК-2	ОПК-5
4	7	Раздел 1. Введение. Зарождение науки автоматического управления и регулирования. Принципы управления.	7	4	4	0	3	5	5
4	7	Раздел 2. Общие принципы построения линейных САУ. Уравнения состояния систем управления. Линеаризация, преобразование Лапласа. Передаточная функция системы и типовые динамические звенья. Структурные схемы систем управления.	25	21	6	15	4	20	20
4	7	Раздел 3. Воздействия на САУ. Типовые входные воздействия. Характеристики звеньев (временные, частотные).	16	9	2	7	7	5	5
4	7	Раздел 4. Устойчивость САУ. Управляемость и наблюдаемость, алгебраические и частотные критерии устойчивости, запас устойчивости систем.	21	15	10	5	6	10	10
4	7	Раздел 5. Раздел 5. Качество систем управления. Показатели качества САУ. Корректирующие устройства.	12	4	2	2	8	10	10
4	7	Раздел 6. Нелинейные САУ. Математические модели нелинейных элементов. Устойчивость нелинейных систем.	9	4	4	0	5	5	5
4	7	Раздел 7. Дискретные САУ. Понятие дискретной САУ. Модуляция, квантование. Устойчивость дискретных САУ.	18	11	6	5	7	5	5
Всего за 7 семестр			108	68	34	34	40	60	60
4	8	Раздел 8. Задачи автоматизации и регулирования ЖРД. Особенности ЖРД как объектов регулирования. Статические и динамические характеристики. Состав систем управления и регулирования. Классификация задач управления движением ЛА и методов управления тягой. Регуляторы.	36	14	8	6	22	20	20
4	8	Раздел 9. Требования к процессам САУ двигательных установок. Требования к качеству переходных процессов. Требования к динамическим процессам, частотным характеристикам.	40	18	7	11	22	15	15
4	8	Раздел 10. САУ РДТТ. Специфика систем автоматического регулирования РДТТ.	32	2	2	0	30	5	5
Всего за 8 семестр			108	34	17	17	74	40	40
Всего по дисциплине			216	102	51	51	114	100	100

#### 3.2. Аудиторный практикум

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Тема практического занятия	Объем, ауд. часов
1	Раздел 2. Общие принципы построения линейных САУ.	Линеаризация	2
2		Получение передаточных функций систем, представленных в виде входного и выходного сигнала	3
3		Получение передаточных функций систем, представленных в виде уравнения состояния	3
4		Преобразование структурных схем с одним входным воздействием	3
5		Преобразование структурных схем с двумя входными воздействиями	4
6	Раздел 3. Воздействия на САУ.	Получение частотных характеристик (АЧХ, ФЧХ, МЧХ, ВЧХ)	3
7		Построение ЛАЧХ	4
8	Раздел 4. Устойчивость САУ.	Оценка устойчивости системы: теорема Ляпунова, критерий Рауса, критерий Гурвица	3
9		Частотные критерии устойчивости	2
10	Раздел 5. Раздел 5. Качество систем управления.	Подбор параметров ПИД регулятора	2
11	Раздел 7. Дискретные САУ.	Z-преобразование	5
Всего за 7 семестр			34
12	Раздел 8. Задачи автоматизации и регулирования ЖРД.	Система управления ракеты-носителя	2
13		Автоматика ЖРД с вытеснительной системой	2

		подачи	
14		Автоматика ЖРДУ с дожиганием и без дожигания компонентов	2
15	Раздел 9. Требования к процессам САУ двигательных установок.	Ограничения, накладываемые на частотные характеристики САУ двигателей	4
16		Анализ САУ давлением в камере сгорания ЖРД	7
Всего за 8 семестр			17

### 3.3. Самостоятельная работа студента (СРС)

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Содержание учебного задания	Объем, часов
1	Раздел 1. Введение.	Самостоятельная углубленная проработка раздела дисциплины по рекомендуемой литературе.	3
2	Раздел 2. Общие принципы построения линейных САУ.	Самостоятельная углубленная проработка раздела дисциплины по рекомендуемой литературе. Самостоятельное решение типовых задач.	4
3	Раздел 3. Воздействия на САУ.	Самостоятельная углубленная проработка раздела дисциплины по рекомендуемой литературе. Самостоятельное решение типовых задач.	7
4	Раздел 4. Устойчивость САУ.	Самостоятельная углубленная проработка раздела дисциплины по рекомендуемой литературе. Самостоятельное решение типовых задач.	6
5	Раздел 5. Раздел 5. Качество систем управления.	Самостоятельная углубленная проработка раздела дисциплины по рекомендуемой литературе. Самостоятельное решение типовых задач.	8
6	Раздел 6. Нелинейные САУ.	Самостоятельная углубленная проработка раздела дисциплины по рекомендуемой литературе.	5
7	Раздел 7. Дискретные САУ.	Самостоятельная углубленная проработка раздела дисциплины по рекомендуемой литературе. Самостоятельное решение типовых задач.	7
<b>Всего за 7 семестр</b>			<b>40</b>
8	Раздел 8. Задачи автоматизации и регулирования ЖРД.	Самостоятельная углубленная проработка раздела дисциплины по рекомендуемой литературе.	22
9	Раздел 9. Требования к процессам САУ двигательных установок.	Самостоятельная углубленная проработка раздела дисциплины по рекомендуемой литературе.	22
10	Раздел 10. САУ РДТТ.	Самостоятельная углубленная проработка раздела дисциплины по рекомендуемой литературе.	30
<b>Всего за 8 семестр</b>			<b>74</b>

## 4. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

СЕМЕСТР	НЕДЕЛИ СЕМЕСТРА																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
7				Вопр.Диф.Зач, ЗДЧ	Контр.Р.	ДР	Контр.Р.	Вопр.Диф.Зач, ЗДЧ, Контр.Р.	ДР	Контр.Р.		Докл	Докл	Докл	ДР	Вопр.Диф.Зач, ЗДЧ, Докл, диф. зач.	
8						ДР			ДР			Докл	Докл	Докл	ДР	Докл, диф. зач.	

Условные обозначения:

- ДР – диагностическая работа;
- Вопр.Диф.Зач – вопросы к дифференцированному зачету;
- ЗДЧ – задачи;
- Контр.Р. – контрольная работа;
- Докл – доклад;
- диф. зач. – дифференцированный зачет;
- диф. зач. – дифференцированный зачет.

**Текущий контроль успеваемости** студентов проводится в дискретные временные интервалы в следующих формах:

- диагностическая работа;
- вопросы к дифференцированному зачету;
- задачи;
- контрольная работа;
- доклад.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- дифференцированный зачет.



## 5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 5.1. Основная литература по дисциплине:

1. А. А. Ерофеев. . Теория автоматического управления. СПб.: Политехника, 2003, 135 экз.
2. А. Я. Соляр. . Автоматика жидкостного ракетного двигателя. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2008, эл. рес.
3. Б. Т. Ерохин. . Теория и проектирование ракетных двигателей. Санкт-Петербург: Лань, 2022, эл. рес.
4. В. Ю. Шишмарёв. . Теория автоматического управления. М.: Академия, 2012, 12 экз.
5. В. Ю. Шишмарёв. . Основы автоматического управления. Москва: Юрайт, 2021, эл. рес.
6. И. Л. Петрова. . ТАУ дискретных и цифровых систем ЛА. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2007, эл. рес.
7. Ю. И. Васютин, И. А. Смирнов, Д. А. Ягодников. Агрегаты регулирования жидкостных ракетных двигательных установок. М.: Изд-во МГТУ им. Баумана. Золотая коллекция, 2017, эл. рес.

### 5.2. Дополнительная литература по дисциплине:

не требуется.

### 5.3. Периодические издания:

1. Автоматизация процессов управления.

### 5.4. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины, электронные библиотечные системы:

1. <https://e.lanbook.com> — ЭБС Лань;
2. <https://urait.ru/> — Образовательная платформа «Юрайт». Для вузов и ссузов..

### Современные профессиональные базы данных:

1. <https://rusneb.ru> – Национальная электронная библиотека (НЭБ);
2. <https://cyberleninka.ru/> - Научная электронная библиотека «Киберленинка»;  
<http://www.rfbr.ru/rffi/ru/library> - Полнотекстовая электронная библиотека Российского фонда фундаментальных исследований.

### Информационные справочные системы:

1. Техэксперт – Информационный портал технического регулирования: Нормы, правила, стандарты РФ;
2. [http://library.voenmeh.ru/jirbis2/index.php?option=com\\_irbis&view=irbis&Itemid=457](http://library.voenmeh.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=457) - БД ГОСТов собственной генерации БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова;
3. <http://www.consultant.ru/> - КонсультантПлюс- информационный портал правовой информации.

### 5.5. Программное обеспечение:

1. Matlab 2015a SP1.

### 5.6. Информационные технологии:

взаимодействие с обучающимися посредством ЭИОС Moodle БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова.

## **6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **6.1. Лекционные занятия:**

специализированные требования по оборудованию отсутствуют; аудитория с посадочными местами по количеству студентов; доска.

### **6.2. Практические занятия:**

1. Аудитория с числом посадочных мест не меньше количества обучающихся;
2. Matlab 2015a SP1.

### **6.3. Прочее:**

1. рабочее место преподавателя, оснащенное компьютером с доступом в Интернет;
2. рабочие места студентов, оснащенные компьютерами с доступом в Интернет, предназначенные для работы в электронной образовательной среде.

### Аннотация рабочей программы

Дисциплина **АВТОМАТИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ЖРД** является дисциплиной **обязательной части блока 1** программы подготовки по направлению *24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей*. Дисциплина реализуется на факультете А Ракетно-космической техники БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д.Ф. Устинова кафедрой А8 ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ.

Дисциплина нацелена на формирование *компетенций*:

ОПК-2 способность понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности;

ОПК-5 способность разрабатывать физические и математические модели исследуемых процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной сфере деятельности для решения инженерных задач.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с базовой теорией автоматического управления, принципами работы устройств автоматики ЖРД, статическими и динамическими характеристика ЖРД и их элементов.

Программой дисциплины предусмотрены следующие **виды контроля**:

**Текущий контроль успеваемости** студентов проводится в дискретные временные интервалы в следующих формах:

- диагностическая работа;
- вопросы к дифференцированному зачету;
- задачи;
- контрольная работа;
- доклад.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- дифференцированный зачет.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет **6 з.е., 216 ч.** Программой дисциплины предусмотрены лекционные занятия (**51 ч.**), практические занятия (**51 ч.**), самостоятельная работа студента (**114 ч.**).

## ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

### Рекомендации по освоению дисциплины для студента

Трудоемкость освоения дисциплины составляет 216 ч., из них 102 ч. аудиторных занятий, и 114 ч., отведенных на самостоятельную работу студента.

Рекомендации по распределению учебного времени по видам самостоятельной работы и разделам дисциплины приведены в таблице.

Контроль освоения дисциплины производится в соответствии с Положением о текущем, рубежном контроле успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся.

Формы контроля и критерии оценивания приведены в приложении 3 к Рабочей программе.

Наименование работы	Рекомендуемая литература	Трудоемкость, час.
<b>Раздел 1. Введение.</b>		
Самостоятельная углубленная проработка раздела дисциплины по рекомендуемой литературе.	А. А. Ерофеев. . Теория автоматического управления: СПб.: Политехника, 2003 (1) В. Ю. Шишмарёв. . Теория автоматического управления: М.: Академия, 2012 (Введение)	3
Итого по разделу 1		3
<b>Раздел 2. Общие принципы построения линейных САУ.</b>		
Самостоятельная углубленная проработка раздела дисциплины по рекомендуемой литературе. Самостоятельное решение типовых задач.	А. А. Ерофеев. . Теория автоматического управления: СПб.: Политехника, 2003 (2,3) В. Ю. Шишмарёв. . Основы автоматического управления: Москва: Юрайт, 2021 (4)	4
Итого по разделу 2		4
<b>Раздел 3. Воздействия на САУ.</b>		
Самостоятельная углубленная проработка раздела дисциплины по рекомендуемой литературе. Самостоятельное решение типовых задач.	А. А. Ерофеев. . Теория автоматического управления: СПб.: Политехника, 2003 (2)	7
Итого по разделу 3		7
<b>Раздел 4. Устойчивость САУ.</b>		
Самостоятельная углубленная проработка раздела дисциплины по рекомендуемой литературе. Самостоятельное решение типовых задач.	А. А. Ерофеев. . Теория автоматического управления: СПб.: Политехника, 2003 (6)	6
Итого по разделу 4		6
<b>Раздел 5. Раздел 5. Качество систем управления.</b>		
Самостоятельная углубленная проработка раздела дисциплины по рекомендуемой литературе. Самостоятельное решение типовых задач.	А. А. Ерофеев. . Теория автоматического управления: СПб.: Политехника, 2003 (7, 8) В. Ю. Шишмарёв. . Основы автоматического управления: Москва: Юрайт, 2021 (7)	8
Итого по разделу 5		8
<b>Раздел 6. Нелинейные САУ.</b>		
Самостоятельная углубленная проработка раздела дисциплины по рекомендуемой литературе.	В. Ю. Шишмарёв. . Основы автоматического управления: Москва: Юрайт, 2021 (11)	5
Итого по разделу 6		5
<b>Раздел 7. Дискретные САУ.</b>		

Самостоятельная углубленная проработка раздела дисциплины по рекомендуемой литературе. Самостоятельное решение типовых задач.	И. Л. Петрова. . ТАУ дискретных и цифровых систем ЛА: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2007 (1)	7
Итого по разделу 7		7
<b>Раздел 8. Задачи автоматики и регулирования ЖРД.</b>		
Самостоятельная углубленная проработка раздела дисциплины по рекомендуемой литературе.	А. Я. Соляр. . Автоматика жидкостного ракетного двигателя: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2008 (2)	22
Итого по разделу 8		22
<b>Раздел 9. Требования к процессам САУ двигательных установок.</b>		
Самостоятельная углубленная проработка раздела дисциплины по рекомендуемой литературе.	А. Я. Соляр. . Автоматика жидкостного ракетного двигателя: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2008 (1, 3) Ю. И. Васютин, И. А. Смирнов, Д. А. Ягодников. Агрегаты регулирования жидкостных ракетных двигательных установок: М.: Изд-во МГТУ им. Баумана. Золотая коллекция, 2017 (2)	22
Итого по разделу 9		22
<b>Раздел 10. САУ РДТТ.</b>		
Самостоятельная углубленная проработка раздела дисциплины по рекомендуемой литературе.	Б. Т. Ерохин. . Теория и проектирование ракетных двигателей: Санкт-Петербург: Лань, 2022 (1, 22)	30
Итого по разделу 10		30

## ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств, позволяющие оценить результаты обучения по данной дисциплине, включают в себя:

- диагностическая работа
- вопросы к дифференцированному зачету;
- контрольная работа;
- задачи;
- доклад;
- дифференцированный зачет;
- дифференцированный зачет.

### Критерии оценивания

#### Диагностическая работа

Диагностическая работа проводится в форме теста в ЭИОС Moodle:

- при правильном ответе менее чем на 60% вопросов - не аттестация;
- при правильном ответе на 60% вопросов и более - аттестация.

#### Вопросы к дифференцированному зачету

Вопросы формулируются в тестовой форме. Оценивается верный ответ.

Вопросы представлены в УМК дисциплины.

#### Контрольная работа

В течение семестра предполагается 4 контрольные работы. Каждая контрольная оценивается в 15 баллов.

#### Задачи

Оценивается ход решения задачи и правильность полученных результатов.

Задачи представлены в УМК дисциплины.

#### Доклад

В течение семестра предполагается 1 доклад на свободную тему (тематике устройств автоматики и регулирования ЖРД. Доклад оценивается в 30 баллов.

#### Дифференцированный зачет

Применяется балльно-рейтинговая система по дисциплине. В течение семестра проводятся диагностические работы, выполняются контрольные работы.

Диф. зачет проводится в виде теста в ЭИОС Moodle, включает в себя теоретические вопросы и решение задач.

Вопросы представлены в УМК по дисциплине.

Баллы переводятся по следующей шкале:

0-51 - не зачтено

51 - 74 - зачтено-удовлетворительно

75-84 - зачтено-хорошо

85+ - зачтено-отлично

#### Дифференцированный зачет

Применяется балльно-рейтинговая система по дисциплине. В течение семестра проводятся диагностические работы, выполняется доклад.

Диф. зачет проводится в виде теста в ЭИОС Moodle, включает в себя теоретические вопросы.

Вопросы представлены в УМК по дисциплине.

Баллы переводятся по следующей шкале:

0-51 - не зачтено

51 - 74 - зачтено-удовлетворительно

75-84 - зачтено-хорошо

85+ - зачтено-отлично

Паспорт фонда оценочных средств

КУРС	СЕМЕСТР	Наименование разделов и дидактических единиц	ВСЕГО	Аудиторные занятия в контактной форме			Самостоятельная работа студентов	Формируемая компетенция, %		НАИМЕНОВАНИЕ ОЦЕНОЧНОГО СРЕДСТВА
				ВСЕГО	Лекции	Практические занятия		ОПК-2	ОПК-5	
4	7	Раздел 1. Введение.	7	4	4	0	3	5	5	Вопросы к дифференцированному зачету
4	7	Раздел 2. Общие принципы построения линейных САУ.	25	21	6	15	4	20	20	Задачи, Вопросы к дифференцированному зачету, Контрольная работа
4	7	Раздел 3. Воздействия на САУ.	16	9	2	7	7	5	5	Задачи, Вопросы к дифференцированному зачету, Контрольная работа
4	7	Раздел 4. Устойчивость САУ.	21	15	10	5	6	10	10	Задачи, Вопросы к дифференцированному зачету, Контрольная работа
4	7	Раздел 5. Раздел 5. Качество систем управления.	12	4	2	2	8	10	10	Вопросы к дифференцированному зачету
4	7	Раздел 6. Нелинейные САУ.	9	4	4	0	5	5	5	Вопросы к дифференцированному зачету
4	7	Раздел 7. Дискретные САУ.	18	11	6	5	7	5	5	Задачи, Вопросы к дифференцированному зачету
Всего за 7 семестр			108	68	34	34	40	60	60	
4	8	Раздел 8. Задачи автоматизации и регулирования ЖРД.	36	14	8	6	22	20	20	Вопросы к дифференцированному зачету, Доклад
4	8	Раздел 9. Требования к процессам САУ двигательных установок.	40	18	7	11	22	15	15	Вопросы к дифференцированному зачету
4	8	Раздел 10. САУ РДТТ.	32	2	2	0	30	5	5	Вопросы к дифференцированному зачету
Всего за 8 семестр			108	34	17	17	74	40	40	
Всего по дисциплине			216	102	51	51	114	100	100	

## Критерии оценивания

### ОПК-2

Вопросы открытого типа:

№ 1 При моделировании устройств автоматического управления реальный объект заменяется математической моделью, имеющей вид передаточной функции. Как должны соотноситься полиномы числителя и полиному знаменателя для физической реализуемости передаточной функции и возможности её программного моделирования средствами информационных технологий?

№ 2 Устойчивость САУ определяется способностью системы сохранять стабильность и поддерживать заданный режим работы при различных внешних воздействиях и возмущениях. С точки зрения передаточной функции, описывающей процессы в системе, для оценки устойчивости рассматривается...

продолжите фразу

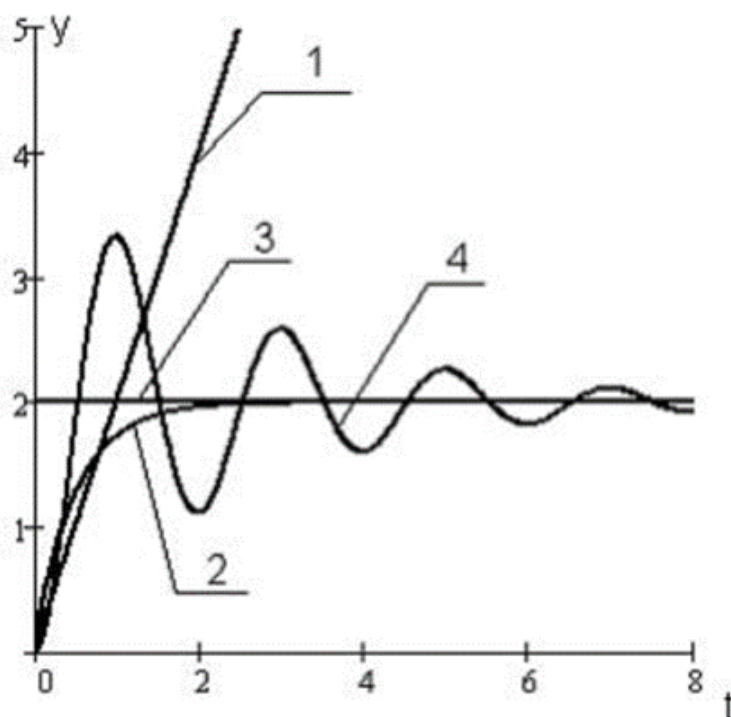
№ 3 Устойчивость может быть обеспечена различными методами, такими как использование обратных связей, корректировка параметров системы и применение современных методов управления, таких как адаптивное управление и робастное управление. Алгоритм, который реагирует на разницу между заданным и текущим значениями переменной процесса, увеличивая или уменьшая управляющее воздействие пропорционально этой разнице, учитывает общую сумму этих отклонений с течением времени, что позволяет регулятору компенсировать накопленные ошибки и стабилизировать процесс, а также нивелирует возникающую статическую ошибку, называется...

продолжите фразу

№ 4 При компьютерном моделировании САУ ракетного двигателя для представления входного воздействия системы, которое возникает внезапно в определенный момент времени моделирования и далее продолжает воздействовать на систему, например, моделируя процесс включения в работу какого-либо устройства, в теории автоматического управления используется ...

продолжите фразу

№ 5 Было проведено программное моделирование переходных процессов реакции САУ ракетного двигателя на внешнее возмущение.



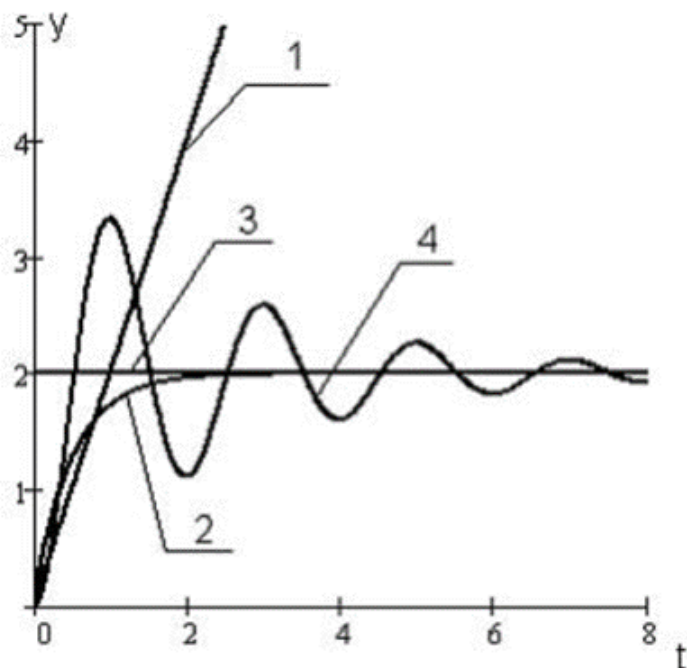
Среди переходных процессов четырех ЖРД, приведенных на графиках, при соблюдении условия устойчивости системы, наибольшую длительность переходного процесса имеет процесс №...

Длительность переходного процесса - ... с

Укажите номер верного графика, его продолжительность и поясните ответ.



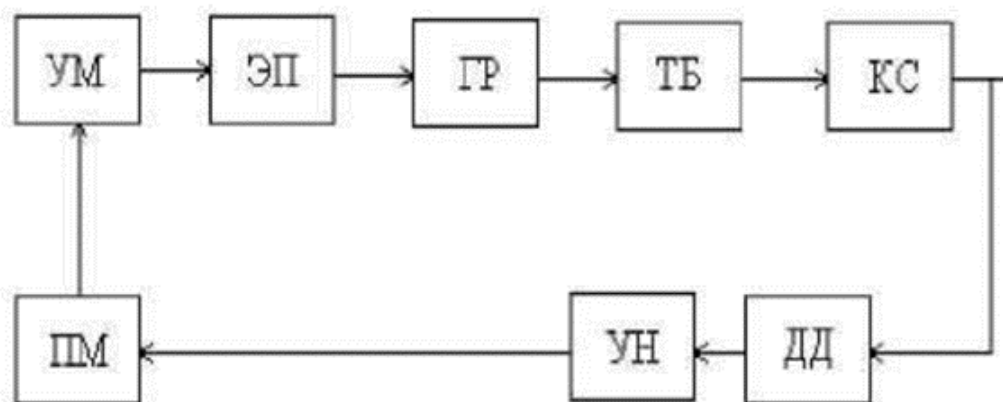
№ 6 Было проведено программное моделирование переходных процессов реакции САУ ракетного двигателя на внешнее возмущение.



Среди переходных процессов четырех ЖРД, приведенных на графиках, в результате испытаний который двигатель продемонстрировал неудовлетворительную работу, которая с высокой степенью вероятности привела к его разрушению. Какой график соответствует этому случаю?

Поясните свой ответ

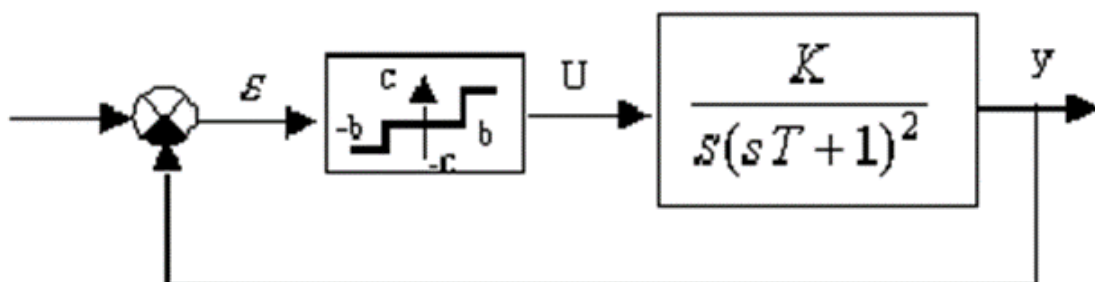
№ 7



С точки зрения передаваемой информации, обратная связь на функциональной схеме САУ тяги двигателя ЖРДУ с вытеснительной системой подачи контролирует показатель .....

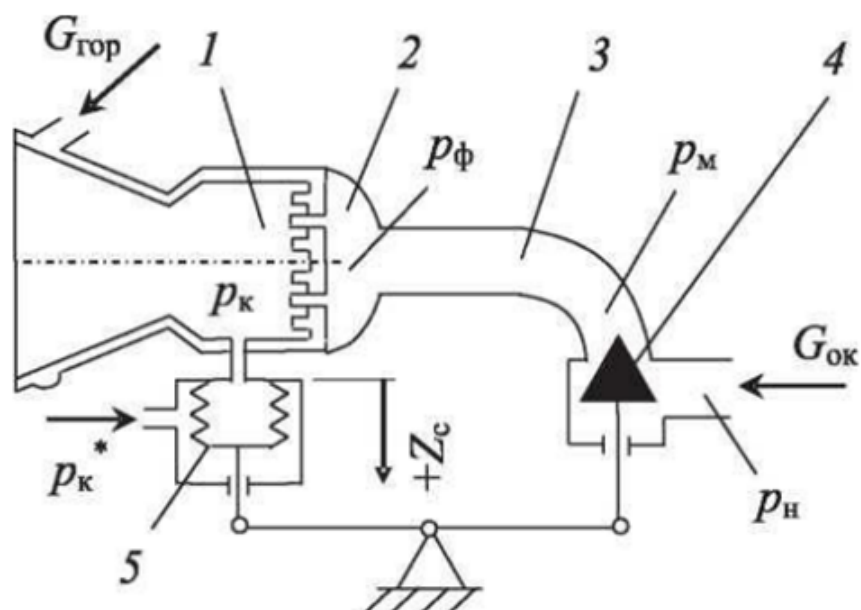
продолжите фразу

№ 8 Часть системы автоматического регулирования ЖРД описывается структурной схемой:



С точки зрения вида уравнений, описывающих поведение системы, моделирующих реальные устройства, представленная на рисунке система является...

продолжите фразу и поясните ответ  
 № 9 В САУ давлением в камере сгорания ЖРД:

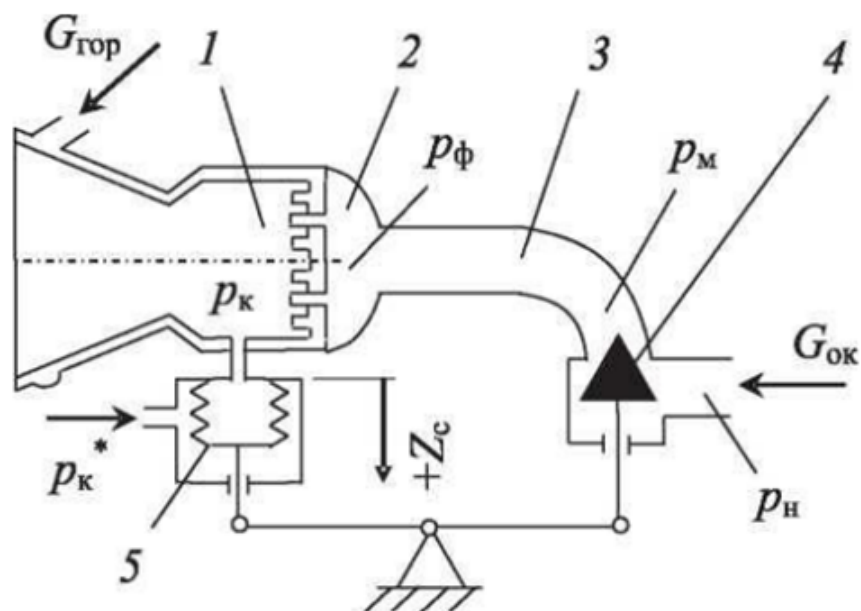


где 1 - КС; 2 - форсуночная головка КС; 3 - трубопровод магистрали окислителя; 4 - дроссельный клапан; 5 - сильфонный датчик;  $p_k^*$ ,  $p_k$  - программное и фактическое значения давления в КС;  $p_\phi$  - давление перед форсунками;  $p_m$  - давление за клапаном;  $p_n$  - давление за насосом

Исполнительным элементом САУ является...

продолжите фразу

№ 10



где 1 - КС; 2 - форсуночная головка КС; 3 - трубопровод магистрали окислителя; 4 - дроссельный клапан; 5 - сильфонный датчик;  $p_k^*$ ,  $p_k$  - программное и фактическое значения давления в КС;  $p_\phi$  - давление перед форсунками;  $p_m$  - давление за клапаном;  $p_n$  - давление за насосом

Регулятор включает в себя... и ...

продолжите фразу и поясните ответ

Вопросы закрытого типа:

№ 1 С точки зрения моделирования процессов, соотнесите процессы работы ЖРД, определяющие его динамические характеристики и характеристику процесса:

1 колебательные процессы, появляющиеся под воздействием автоколебаний в каком-то контуре или при гармоническом воздействии с постоянной частотой

2 запуск ЖРД, переход его с режима на режим, останов

3 процессы, возникающие при несанкционированных изменениях характеристик отдельных агрегатов, связанных с нарушением их нормальной работы

4 расходные характеристики турбин, сопротивления элементов гидравлического тракта

А – стационарный

Б – нестационарный

№ 2 Добротность колебательной системы - безразмерная физическая величина, характеризующая резонансные свойства линейной колебательной системы. Для каких агрегатов ЖРД, с точки зрения автоматики и регулирования, дополнительной характеристикой является добротность?

выберите верные варианты ответа

- бак
- трубопровод
- насос
- турбонасосный агрегат
- форсуночная головка
- система одновременного опорожнения баков

№ 3 Проранжируйте системы по используемому объему рабочей информации от меньшего к большему:

А - САУ с замкнутыми цепями настройки корректирующего устройства

Б - Следящие САУ

В - Стабилизирующие САУ

Г - Игровые системы с набором шаблонных решений

№ 4 Для моделирования систем автоматического регулирования линейную стационарную систему автоматического регулирования считают полностью управляемой, если:

выберите верный вариант ответа

- из любого начального состояния ее можно перевести в конечное состояние при помощи входного сигнала в течение конечного интервала времени
- любое воздействие приводит к непосредственному отклонению органов автоматики и регулирования
- из любого состояния ее можно перевести в начальное состояние при помощи задающего сигнала в течение конечного интервала времени
- вся система поддается контролю и реагирует на сигналы управления

№ 5 Системы автоматического управления жидкостными ракетными двигателями (ЖРД) создаются для обеспечения стабильной работы двигателя и оптимизации его характеристик. Основными задачами САУ ЖРД являются:

выберите верный вариант ответа

- настройка, контроль, автоматизация двигателя
- механизация, автоматизация, регулирование двигателя
- контроль, блокировка, управление двигателем
- управление, регулирование; обслуживание двигателя

№ 6 Автоматический поиск оптимальных режимов работы осуществляется в процессе динамического программирования, при поэтапном решении задачи выбора оптимального варианта. Системы, использующие такую технологию работы, относятся к классу... систем.

вставьте пропущенное слово

- самооптимизирующихся
- экстремальных
- игровых
- регуляторных

№ 7 Внешние возмущения, действующие на системы автоматического управления, могут включать изменения в нагрузке, ошибки в измерениях или неожиданные события, которые могут нарушить стабильность системы. Использование ..... позволяет системам сохранять стабильность и надежность даже в условиях неопределенности или изменяющихся параметров, воздействуя сразу на регулировочный орган.

Вставьте пропущенное слово

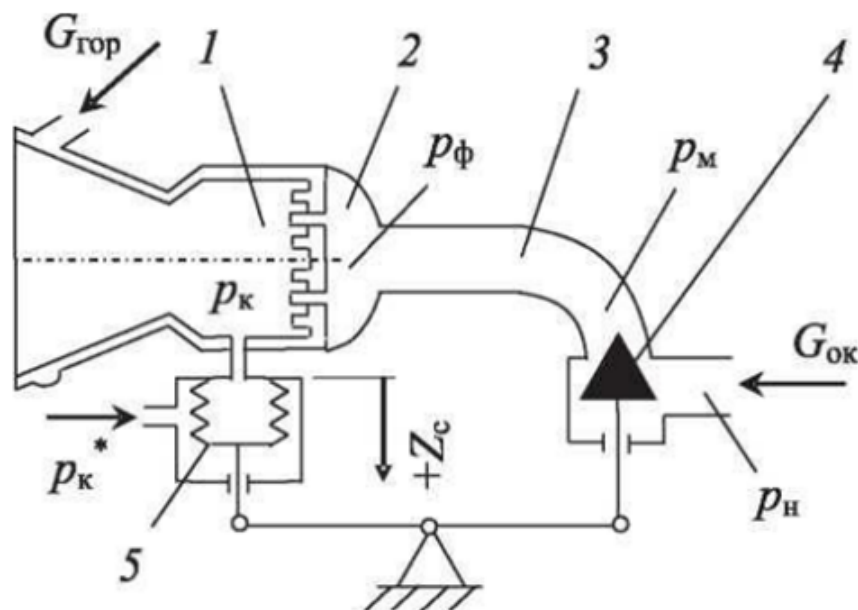
- Игровых САУ с автоматическим поиском решений
- Разомкнутых САУ с компенсацией воздействия внешних возмущений
- САУ экстремальной настройкой корректирующего устройства
- Разомкнутых САУ программного управления

№ 8 Для получения передаточных функций элементов объектов регулирования используются:

выберите верный вариант ответа

- характеристики переходных процессов
- значения коэффициентов робастной устойчивости
- ограничения на частотные характеристики объектов регулирования
- линеаризованные уравнения динамики в отклонениях

№ 9 В САУ давлением в камере сгорания ЖРД:



где 1 - КС; 2 - форсуночная головка КС; 3 - трубопровод магистрали окислителя; 4 - дроссельный клапан; 5 - сильфонный датчик;  $p_k^*$ ,  $p_k$  - программное и фактическое значения давления в КС;  $p_f$  - давление перед форсунками;  $p_m$  - давление за клапаном;  $p_n$  - давление за насосом

Камера сгорания описывается через уравнение динамики для неустановившегося режима работы:

$$\frac{dm_r(t)}{dt} = G_{ок}(t) + G_{гор}(t) - G_r(t).$$

Которое в результате преобразований для целей математического и компьютерного моделирования соответствует {...} звену из теории автоматического управления.

Вставьте пропущенное слово

- колебательному
- форсирующему
- усилительному
- апериодическому
- идеальному интегрирующему

№ 10 Агрегаты регулирования ЖРД – это агрегаты, являющиеся одной из основных составных частей системы автоматики жидкостного ракетного двигателя, которые используются для поддержания и изменения параметров работы двигателя, потока компонентов топлива. Самым многочисленным агрегатом являются...

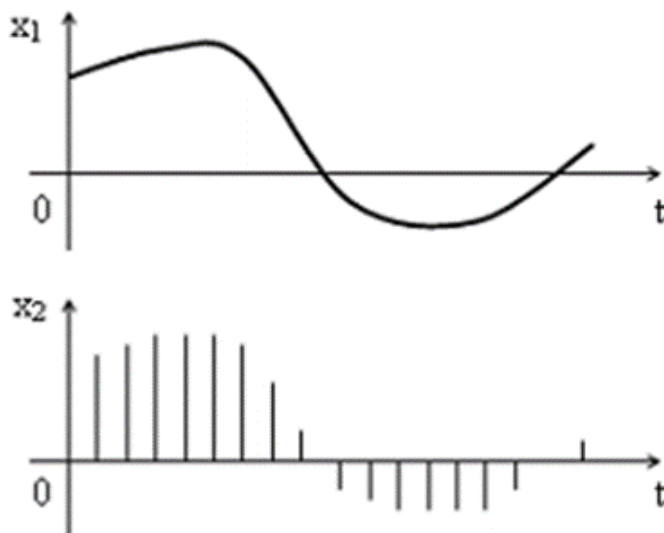
выберите верный ответ

- форсунки
- клапаны
- сопла Вентури
- термопары

#### ОПК-5

Вопросы открытого типа:

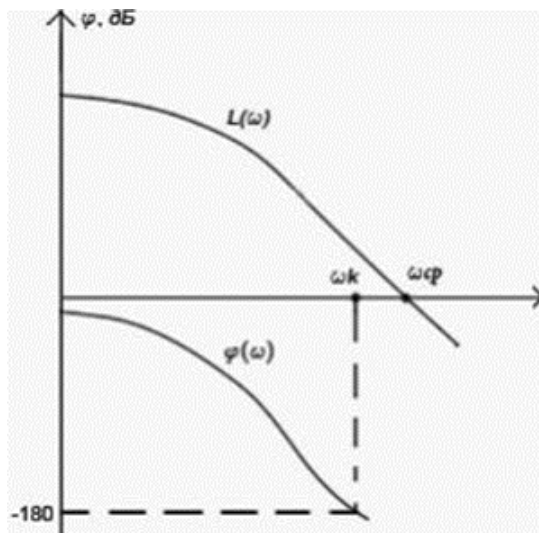
№ 1



Система датчиков автоматики двигателя воспринимает исходный сигнал ( $x_1$ ) в виде  $x_2$ . С точки зрения архитектуры системы и принципов работы с сигналами такая система автоматики является....

продолжите фразу и охарактеризуйте график  $x_2$  с точки зрения модуляции

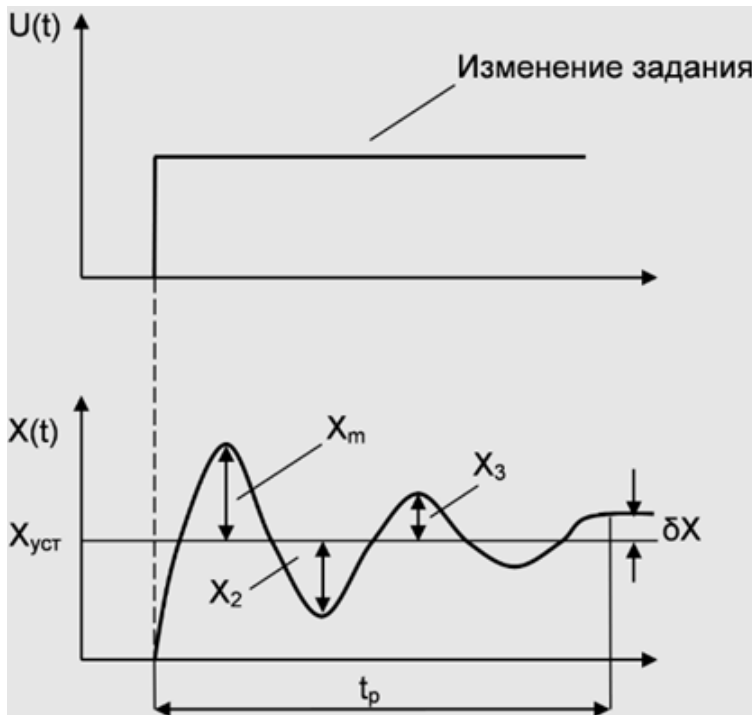
№ 2 При моделировании системы автоматического управления ЖРД были получены логарифмическая амплитудная и фазовая частотная характеристики двигателя, не охваченного обратными связями (разомкнутой системы):



Согласно критерию Найквиста, ЖРД с использованием информации о состоянии объекта в виде обратной связи (замкнутая система) является...

продолжите фразу и поясните почему

№ 3



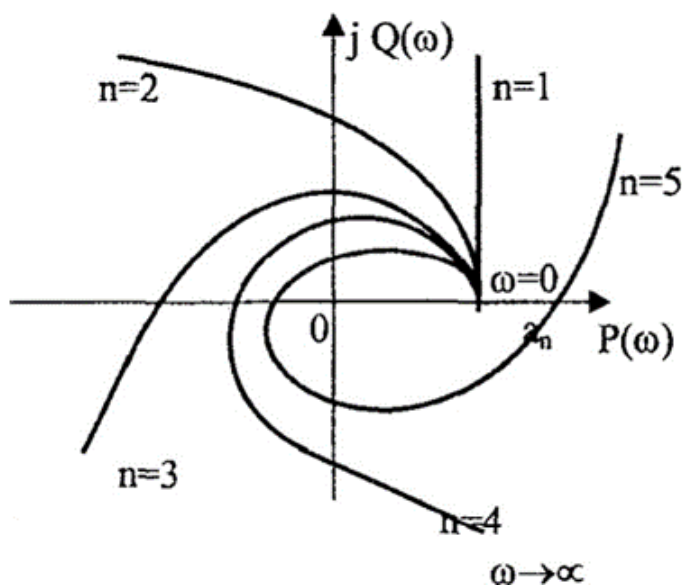
По представленной переходной характеристике ЖРД можно выделить такие показатели качества регулирования как....

перечислите показатели качества

№ 4 Подсистема регулирования датчика ЖРД представлена передаточной функцией вида:

$$\frac{s^2 + 5}{8s^3 + 3s^2 + 87}$$

Было проведено математическое моделирование и получен годограф Михайлова для оценки свойств устойчивости системы.

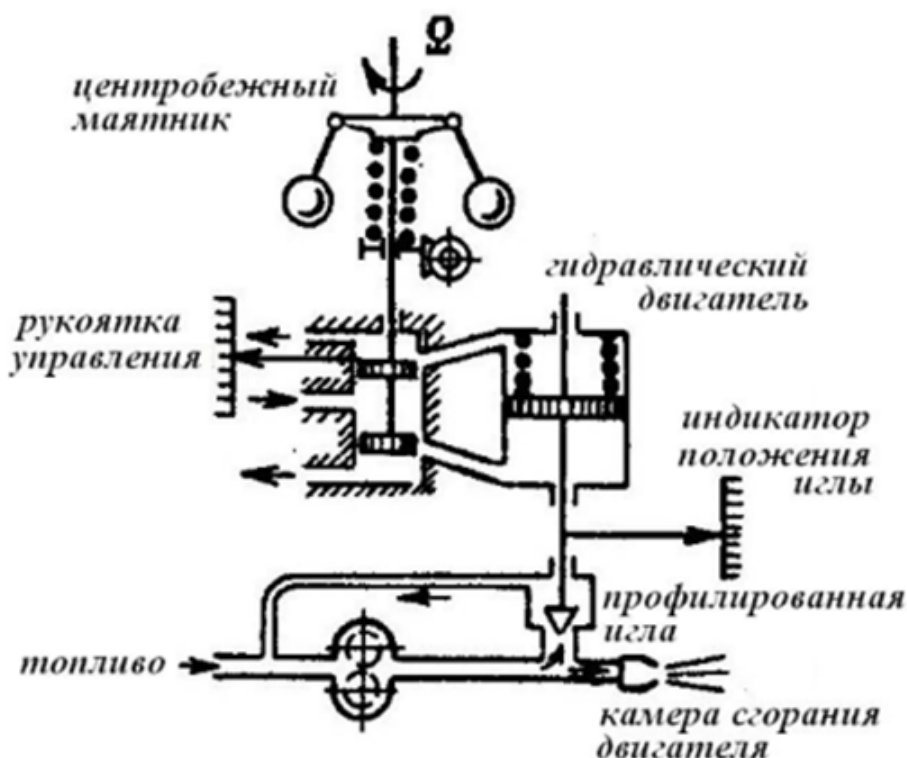


Какой график годографа Михайлова соответствует условию устойчивости данной подсистемы и почему?

- № 5 В зависимости от назначения и условий эксплуатации ЛА выбирают способ выключения ДУ и закладывают соответствующие требования, совокупность датчиков и других устройств в систему автоматического управления ЖРД. Если в системе применяются способы «после израсходования топлива» и «на основном режиме работы», то с точки зрения переходного процесса тяги конечное значение скорости....

продолжите утверждение

- № 6



На изображенном на схеме регуляторе скоростью вращения турбины ТРД сигнал с измерительного устройства поступает на регулирующий элемент - иглу перепуска топлива.

В таком составе элементов регулятор является регулятором ... действия.

уточните тип регулятора

- № 7 Регулятор расхода компонента топлива в жидкостном ракетном двигателе является исполнительным элементом системы управления ракеты-носителя, от динамических свойств которого во многом зависит устойчивость и качество системы автоматического регулирования. Такие регуляторы относятся к статическим регуляторам, преимуществом которых является ... и недостатком - ....

уточните преимущества и недостатки

- № 8 Система опорожнения баков (СОБ) — предназначена для обеспечения одновременной выработки (расхода) окислителя и горючего из баков летательного аппарата и уменьшения неиспользуемых остатков топлива.

СОБ входит в систему автоматического регулирования работы ЖРД и бывает равномерного и расходомерного типов. Чувствительными элементами СОБ являются ...

продолжите фразу

- № 9 Разброс лобового сопротивления ракеты из-за действия продольной составляющей ветра можно считать: .... воздействием для подсистемы... ЖРД.

Дополните фразу с точки зрения работы системы автоматического управления, где объектом регулирования является весь ЛА

- № 10 Устройства автоматики ЖРД выполняют различные задачи на разных этапах запуска и полета ЛА. Какие участки можно выделить на циклограмме работы двигателя, на которых реализуются различные динамические процессы?

*Вопросы закрытого типа:*

- № 1 Соотнесите регулятор и характеристику качества переходного процесса

1 - Статический регулятор

2 - Астатический регулятор

А - перерегулирование

Б - забросы параметров

В - плавный ПП

Г – собственные устойчивые колебания в пределах диапазона 3 сигма

- № 2 Высокочастотные колебания в камерах сгорания жидкостных ракетных двигателей относятся к

выберите верный вариант ответа

- нестационарным статическим процессам
- стационарным динамическим процессам
- стационарным статическим процессам
- нестационарным динамическим процессам

- № 3 С точки зрения объема используемой информации и реализуемых принципов управления Какой принцип управления реализуется для ЖРДУ без дожигания компонентов?

выберите верный вариант ответа

- Самооптимизирующиеся САУ
- Игровые САУ
- САУ с разомкнутым управлением
- САУ экстремального регулирования

- № 4 Если диагностируется несинхронность опорожнения баков, счетно-решающее устройство выдается команду на:

выберите верный вариант ответа

- выключение ТНА
- на дросселирование одного из компонентов
- прекращение подачи компонентов в камеру
- выключение наддува баков

- № 5 В функциональной схеме системы РКС для работы обратных связей используется информация...

выберите верный вариант ответа



- ошибка подстройки двигателя на расчетное значение соотношения компонентов
- давление в камере сгорания
- отклонения секундных расходов топлива
- показания акселерометра

№ 6 Динамическими характеристиками ЖРДМТ называют:

выберите верный вариант ответа

- зависимости его регулируемых параметров от внешних параметров, определяющих работу двигателя на неустановившихся режимах;
- зависимости его выходных параметров от внешних и внутренних параметров, определяющих работу двигателя на неустановившихся режимах;
- зависимости его выходных параметров от внешних и внутренних параметров, определяющих работу двигателя на установившихся режимах;
- зависимости его входных параметров от внешних и внутренних параметров, определяющих работу двигателя на неустановившихся режимах;

№ 7 При работе системы регулирования кажущейся скорости и автомата стабилизации ЛА для обеспечения устойчивости необходимо контролировать такие характеристики как...

выберите верный вариант ответа

- динамические характеристики двигательной установки в целом по каналу управления давлением в камере сгорания и датчику от системы РКС
- амплитудно-частотные характеристики газового регулятора давления
- частотные характеристики двигательной установки в целом по каналу управления тягой в диапазоне частот работы автомата стабилизации
- фазочастотные характеристики сигнала рассогласования тяг системы ДУ

№ 8 Уточните тип регулятора с точки зрения ошибки регулирования по переходным характеристикам:

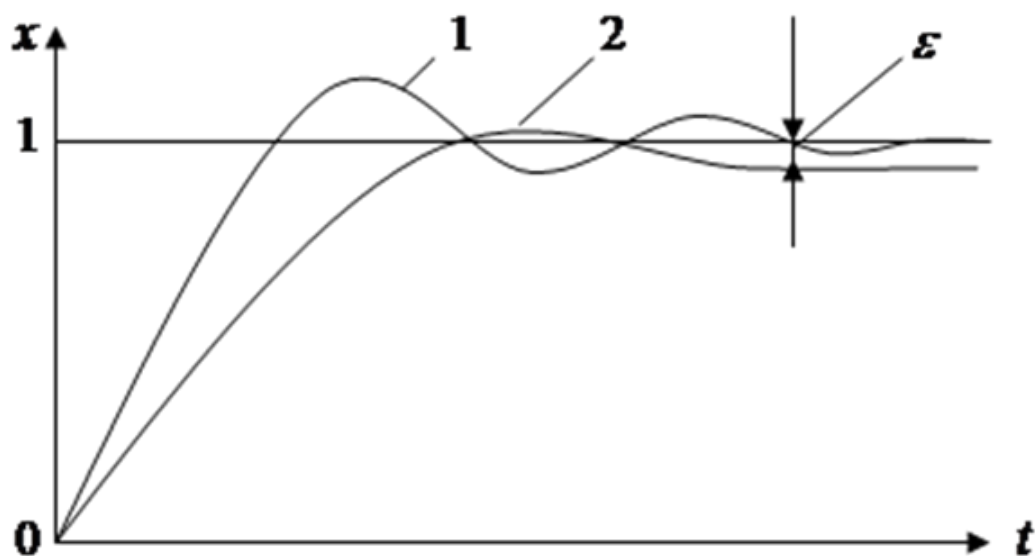


График №1

График №2

- А Статический регулятор
- Б Астатический регулятор
- В Изодромный регулятор
- Г ПИД-регулятор

№ 9 Установившимся считается режим работы ЖРД, при котором:

выберите верный вариант ответа

- тепловая энергия используется для совершения механической работы
- поведение двигателя в этом режиме описывается полной системой дифференциальных уравнений Парка-Горева
- средние значения тяги и соотношения компонентов топлива постоянны
- РД как объект запуска представляет собой динамическую систему взаимосвязанных агрегатов

№ 10 Запуск и останов ЖРД – ответственные и сложные режимы работы. Это связано с тем, что в этот период большинство систем двигателя работает на нестационарных режимах: включаются и выключаются многочисленные клапаны, возникают гидравлические удары и вибрации; при запуске происходит раскрутка ТНА и нарастание давления подачи; начинается поступление компонентов в камеру и ЖГГ и их горение. При останове прекращается поступление компонентов в камеру и ЖГГ, опорожняются полости за отсечными клапанами.

Чем отличается состав САУ запуска и останова двигателя?

выберите верный вариант ответа

- наличием обратной связи в системе останова
- использование задатчика ручного управления в системе запуска
- обе САУ состоят из одних и тех же устройств
- использованием элемента сравнения с усиленным сигналом от датчика давления, установленного в камере сгорания