

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ

Декан ФМАТ  В.И. Ряжских

«21» февраля 2023 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины

«Автоматика и регулирование жидкостных ракетных двигателей»

Специальность 24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей

Специализация Проектирование жидкостных ракетных двигателей

Квалификация выпускника инженер

Нормативный период обучения 5 лет и 6 м.

Форма обучения очная

Год начала подготовки 2023

Автор программы



/ П.В. Москалев /

Заведующий кафедрой Ракетных двигателей



/ В.С. Рачук /

Руководитель ОПОП



/ В.С. Рачук /

Воронеж 2023

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели дисциплины

Обеспечить высокую профессиональную подготовку инженеров-конструкторов в области практического применения основных идей и методов построения и расчета систем автоматического регулирования для обеспечения процесса функционирования на этапах запуска, стабилизации, глубокого изменения режима и останова двигательных установок (ДУ) на основе построения и анализа математических моделей узлов и агрегатов автоматики жидкостных реактивных двигателей (ЖРД).

1.2. Задачи освоения дисциплины:

- изучение основных принципов автоматического регулирования;
- знание классификации систем автоматического регулирования по принципу действия;
- изучение основных законов регулирования и динамических характеристик САР;
- изучение частотных характеристики линейных звеньев;
- изучение переходных процессов и устойчивости САР ЖРД;
- изучение агрегатов регулирования ЖРД;
- изучение типовых схем систем автоматического регулирования ЖРД.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Автоматика и регулирование жидкостных ракетных двигателей» относится к дисциплинам части, формируемой участниками образовательных отношений блока Б1.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Автоматика и регулирование жидкостных ракетных двигателей» направлен на формирование следующих компетенций:

ПК-4 - способен конструировать агрегаты пневмогидравлических схем двигателей и энергетических установок летательных аппаратов

ПК-2 - способен проводить научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по двигателям и энергетическим установкам летательных аппаратов и их составным частям

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ПК-4	Знать: принципиальные схемы типовых агрегатов, узлов и двигателей; рабочие процессы и конструктивные особенности типовых агрегатов ЖРД.

	Уметь применять стандартные средства автоматического проектирования при проведении расчетов и при проектировании деталей, узлов двигателей и энергетических установок ЛА.
	Владеть: инженерными методами расчета агрегатов автоматики ЖРД.
ПК-2	Знать задачи и цели НИР и ОКР; этапы проведения НИР и ОКР.
	Уметь анализировать результаты полученных при расчетах и проектировании агрегатов автоматики ЖРД.
	Владеть навыками использования САПР при проведении расчетов и проектировании деталей и узлов ЖРД.

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Автоматика и регулирование жидкостных ракетных двигателей» составляет 5 з.е.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий:

очная форма обучения

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		8
Аудиторные занятия (всего)	72	72
В том числе:		
Лекции	18	18
Практические занятия (ПЗ)	18	18
Лабораторные работы (ЛР)	36	36
Самостоятельная работа	81	81
Курсовая работа	+	+
Часы на контроль	27	27
Виды промежуточной аттестации - экзамен	+	+
Общая трудоемкость:		
Академические часы	180	180
Зач. ед.	5	5

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

5.1. Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий

очная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак. зан.	Лаб. зан.	СРС	Всего, час
1	Основные понятия и принципы автоматики.	Цели и задачи регулирования. Обзор развития автоматического регулирования двигателей. Регулирование уровня воды в паровом котле и частоты вращения двигателя. Особенности управления ЭУ. Объект регулирования, автоматический регулятор. Система автоматического управления (САУ).	4	2	6	12	24

		Система автоматического регулирования (САР). Общая схема САР. Основная задача регулирования. Объекты регулирования энергетических установок различной физической природы.						
2	Классификация автоматических систем регулирования.	Принцип регулирования по возмущению. Достоинства и недостатки. Принцип регулирования по ошибке. Обратная связь. Достоинства и недостатки. Системы комбинированного регулирования. Системы прямого регулирования. Достоинства и недостатки. Системы непрямого регулирования. Достоинства и недостатки. Статические и астатические системы. Физическая сущность возникновения статической ошибки. Одноконтурные системы автоматического регулирования. Многоконтурные САР. Одномерные и многомерные САР. Непрерывные САР. САР дискретного действия.	4	2	6	14	26	
3	Статика жидкостных ракетных двигателей.	Структура системы автоматического регулирования. Статические и динамические условия равновесия элементов двигателя. Основные понятия о статических характеристиках. Статические характеристики элементов ЭУ. Статическая характеристика энергетической установки. Метод малых отклонений в теории автоматического регулирования. Линеаризация статических характеристик. Влияние внешних возмущений на статические характеристики. Выбор регулируемых величин.	2	2	6	10	20	
4	Динамика двигателейных установок с ЖРД.	Динамический режим работы САР. Преобразование Лапласа. Основные свойства преобразования Лапласа. Математическое описание САР. Общее уравнение связи входной и выходной величины САР. Передаточная функция звена. Переходная функция звена. Весовая функция. Частотные характеристики линейных звеньев. Амплитудно-фазовая частотная характеристика. Амплитудная частотная характеристика. Фазовая частотная характеристика. Вещественная и мнимая частотные характеристики. Логарифмическая амплитудно-частотная характеристика. Соотношения, связывающие частотные характеристики. Типовые динамические звенья САР. Усилительное звено. Интегрирующее звено. Аперiodическое звено. Колебательное звено. Идеальное дифференцирующее звено. Реальное дифференцирующее звено. Звено запаздывания. Суммирующее звено. Структурные схемы САР. Последовательное соединение САР. Параллельное соединение САР. Антипараллельное соединение САР.	2	4	6	14	26	
5	Переходные процессы и устойчивость систем автоматического регулирования.	Оценка качества переходных процессов. Понятие устойчивости линейных САР. Необходимое условие устойчивости. Условие устойчивости САР первого и второго порядка. Условие устойчивости САР третьего порядка. Критерий устойчивости Гурвица. Критерий устойчивости Михайлова. Выделение областей устойчивости. Нелинейности характеристик систем.	2	4	6	14	26	
6	Регуляторы жидкостных ракетных двигателей. Типовые САР ЖРД.	Принцип действия регулятора давления (перепада давлений) компонентов топлива. Чувствительные элементы для измерения давления. Чувствительные элементы для измерения температуры. Усилительные элементы. Исполнительные элементы регулятора. Типовые системы автоматического регулирования.	2	4	6	13	25	
7	Работа по НИР и ОКР	Построение работ по НИР и ОКР. Этапы проведения НИР и ОКР. Техническое предложение. Аванпроект. Разработка лабораторных макетов. Эскизный проект. Выпуск РКД. Изготовление и отработка ОО. Предварительные испытания. Межведомственные испытания. Присвоение изделию литеры.	2	0	0	4	6	
Итого			18	18	36	81	153	

5.2. Перечень лабораторных работ

Лабораторная работа № 1. Определение параметров звеньев по временным характеристикам: безынерционное звено; аперiodическое звено первого порядка; аперiodическое звено второго порядка.

Лабораторная работа № 2. Определение параметров звеньев по временным характеристикам: колебательное звено; Консервативное звено.

Лабораторная работа № 3. Определение параметров звеньев по временным характеристикам: интегрирующее звено; интегрирующее звено с замедлением; изодромное звено.

Лабораторная работа № 4. Определение параметров звеньев по временным характеристикам: идеальное дифференцирующее звено; реальное дифференци-

рующее звено; звено чистого запаздывания.

Лабораторная работа № 5. Исследование разомкнутой системы управления скорости двигателя.

Лабораторная работа № 6. Исследование системы правления по возмущению скорости двигателя.

Лабораторная работа № 7. Исследование замкнутой системы регулирования скорости двигателя.

Лабораторная работа № 8. Исследование комбинированной системы регулирования скорости двигателя.

6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ) И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины предусматривает выполнение курсовой работы в 8 семестре для очной формы обучения.

Примерная тематика курсовой работы: «Расчет и проектирование клапана/дресселя/регулятора»

Задачи, решаемые при выполнении курсовой работы:

- знание классификации систем автоматического регулирования по принципу действия;
- изучение основных принципов автоматического регулирования;
- изучение основных законов регулирования и динамических характеристик САР;
- изучение частотных характеристики линейных звеньев;
- изучение переходных процессов и устойчивости САР ЖРД;
- проектирование систем агрегатов регулирования;
- изучение типовых схем систем автоматического регулирования ЖРД.

Курсовая работа включает в себя графическую часть и расчетно-пояснительную записку.

7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

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

7.1.1. Этап текущего контроля

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации оцениваются по следующей системе:

«аттестован»;

«не аттестован».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Аттестован	Не аттестован
ПК-4	знать <i>принципиальные схемы типовых агрегатов, узлов и двигателей; рабочие процессы и конструктивные особенности типовых агрегатов ЖРД</i>	Тест	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь <i>применять стандартные средства автоматиче-</i>	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок,	Невыполнение работ в срок, пре-

	<i>ского проектирования при проведении расчетов и при проектировании деталей, узлов двигателей и энергетических установок ЛА</i>		предусмотренный в рабочих программах	дусмотренный в рабочих программах
	<i>владеть прикладными навыками расчета агрегатов автоматики ЖРД</i>	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ПК-2	<i>знать задачи и цели НИР и ОКР этапы проведения НИР и ОКР</i>	Тест	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	<i>уметь анализировать результаты полученных при расчетах и проектировании агрегатов автоматики ЖРД</i>	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	<i>владеть навыками использования САПР при проведении расчетов и проектировании деталей и узлов ЖРД</i>	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

7.1.2. Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 8 семестре для очной формы обучения по четырехбалльной системе:

«отлично»;

«хорошо»;

«удовлетворительно»;

«неудовлетворительно».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Отлично	Хорошо	Удовл.	Неудовл.
ПК-4	<i>знать принципиальные схемы типовых агрегатов, узлов и двигателей; рабочие процессы и конструктивные особенности типовых агрегатов ЖРД</i>	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70- 80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	<i>уметь применять стандартные средства автоматического проектирования при проведении расчетов и при проектировании деталей, узлов двигателей и энергетических установок ЛА</i>	Решение стандартных практических задач	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	<i>владеть прикладными навыками расчета агрегатов автоматики ЖРД</i>	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ПК-2	<i>знать задачи и цели НИР и ОКР, этапы проведения НИР и ОКР</i>	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70- 80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	<i>уметь анализировать результаты полученных при расчетах и проектировании агрегатов автоматики ЖРД</i>	Решение стандартных практических задач	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве	Задачи не решены

				не получен верный ответ во всех задачах	задач	
	владеть навыками использования САПР при проведении расчетов и проектировании деталей и узлов ЖРД	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы

7.2. Примерный перечень оценочных средств (типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)

7.2.1. Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию

1	Какой этап является первым при проведении ОКР? 1. Эскизное проектирование. 2. Техническое задание. 3. Техническое предложение. 4. Техническое проектирование.
2	В чем заключается функциональное проектирование ЖРД? 1. Разработка чертежей деталей и узлов двигателя. 2. Компоновка узлов и агрегатов двигателя. 3. Разработка принципиальной и конструктивной схем двигателя. 4. Создание виртуального макета двигателя.
3	Какие из перечисленных требований указываются в техническом задании на ЖРД? 1. Номинальная и максимальная тяга двигателя. 2. Массогабаритные показатели двигателя. 3. Требования к надёжности двигателя. 4. Все вышеперечисленное.
4	Если абсолютные погрешности прямых измерений Δx и Δy можно считать случайными и независимыми друг от друга, то их суммарная абсолютная погрешность Δz определяется формулой: 1. $\Delta z = \Delta x + \Delta y$. 2. $\Delta z = \Delta x - \Delta y$. 3. $\Delta z = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$. 4. $\Delta z = \sqrt{\Delta x^2 - \Delta y^2}$.
5	Если абсолютные погрешности прямых измерений Δx и Δy можно считать случайными и независимыми друг от друга, то для их суммарной абсолютной погрешности Δz будет верно: 1. $\Delta z \leq \Delta x + \Delta y$. 2. $\Delta z \geq \Delta x + \Delta y$. 3. $\Delta z < \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$. 4. $\Delta z > \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$.
6	Если погрешности прямых измерений x и y можно считать случайными и независимыми друг от друга, то суммарная средняя квадратическая погрешность их косвенных измерений $s_{f(z)}$ определяется формулой: 1. $s_{f(z)} = s_{f(x)} + s_{f(y)}$. 2. $s_{f(z)} = s_{f(x)} - s_{f(y)}$. 3. $s_{f(z)} = \sqrt{s_{f(x)}^2 + s_{f(y)}^2}$. 4. $s_{f(z)} = \sqrt{(f'_x s_x)^2 + (f'_y s_y)^2}$.
7	Какими условиями определяется минимальная продолжительность этапа с момента запуска до выхода ЖРД на промежуточную ступень тяги? 1. $\frac{dP_k}{dt} \geq 0$. 2. $\frac{dP_k}{dt} \geq \left(\frac{dP_k}{dt}\right)_{\min}$ 3. $\left(\frac{dP_k}{dt}\right)_{\min} \leq \frac{dP_k}{dt} \leq \left(\frac{dP_k}{dt}\right)_{\max}$ 4. $\frac{dP_k}{dt} \leq \left(\frac{dP_k}{dt}\right)_{\max}$
8	Укажите размерность коэффициента b_0 в уравнении, описывающем линейную стационарную модель САР: $a_2 \frac{d^2 y}{dt^2} + a_1 \frac{dy}{dt} + a_0 y = b_1 \frac{dx}{dt} + b_0 x$ 1. $\dim(b_0) = \dim(y)$. 2. $\dim(b_0) = \dim(t)$. 3. $\dim(b_0) = \dim(x)$. 4. $\dim(b_0) = 1$.
9	Какими факторами определяется работа регулятора тяги при переходе ЖРД с промежуточной на главную ступень тяги? 1. Уменьшение массы сгоревшего топлива. 2. Сокращение времени неустойчивого горения в камере ЖРД. 3. Ограничение скорости вращения ротора ТНА. 4. Все вышеперечисленные факторы.

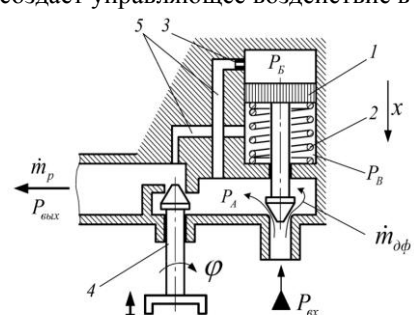
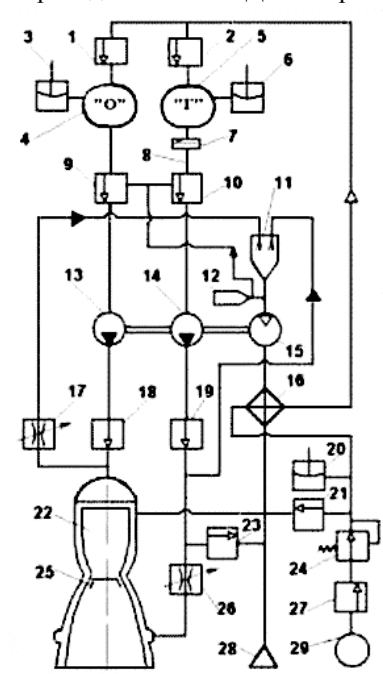
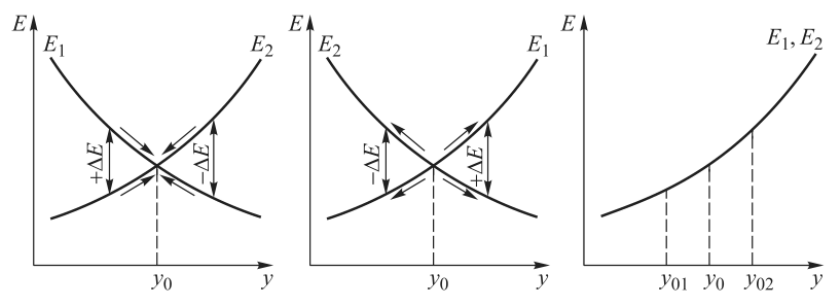
10	По сигналам какой из систем формируются управляющие воздействия при нормальной работе регулятора тяги на главной ступени тяги ЖРД? <ol style="list-style-type: none"> 1. Системы стабилизации РН. 2. Системы опорожнения баков РН. 3. Системы управления кажущейся скоростью РН. 4. Любой из вышеперечисленных систем.
----	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

7.2.2. Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

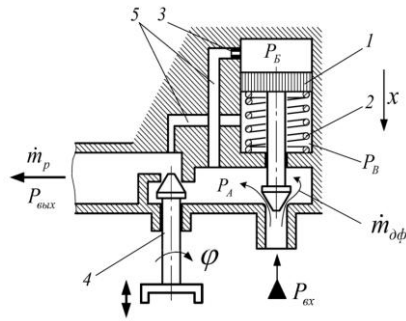
1	Информация о значениях каких переменных объекта регулирования необходима, чтобы реализовать систему автоматического регулирования (САР) по отклонению? <ol style="list-style-type: none"> 1. Внешних воздействий. 2. Регулируемых переменных. 3. Управляющих воздействий. 4. Регулируемых переменных и внешних воздействий.
2	Определите тип САР, описываемой обыкновенным дифференциальным уравнением: $T^2 \frac{d^2 y}{dt^2} + 2\xi T \frac{dy}{dt} + y = k_1 \frac{dx}{dt} + k_0 x .$ <ol style="list-style-type: none"> 1. Линейная. 2. Нелинейная. 3. Квазилинейная. 4. Мало данных.
3	Определите тип САР, описываемого системой обыкновенных дифференциальных уравнений: $\begin{cases} T \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = 3x_1(t) + 5x_0(t); \\ \frac{dx_0(t)}{dt} = 2x_1(t). \end{cases}$ <ol style="list-style-type: none"> 1. Линейная. 2. Нелинейная. 3. Квазилинейная. 4. Мало данных.
4	Укажите размерность коэффициента b_1 в уравнении, описывающем линейную стационарную модель САР: $a_2 \frac{d^2 y}{dt^2} + a_1 \frac{dy}{dt} + a_0 y = b_1 \frac{dx}{dt} + b_0 x .$ <ol style="list-style-type: none"> 1. $\dim(b_1) = \dim(y)$. 2. $\dim(b_1) = \dim(t)$. 3. $\dim(b_1) = \dim(x)$. 4. $\dim(b_1) = 1$.
5	Как определяется передаточная функция $W(s)$ для САР с одним входом $x(t) = L^{-1}(X(s))$ и одним выходом $y(t) = L^{-1}(Y(s))$? <ol style="list-style-type: none"> 1. $W(s) = X(s) + Y(s)$. 2. $W(s) = X(s) \cdot Y(s)$. 3. $W(s) = \frac{X(s)}{Y(s)}$. 4. $W(s) = \frac{Y(s)}{X(s)}$.
6	Как можно найти выходную функцию $y(t)$ по известной входной $x(t)$ и передаточной $W(s)$ функциям САР? <ol style="list-style-type: none"> 1. $y(t) = L\{W(s)\} \cdot L^{-1}\{x(t)\}$. 2. $y(t) = L^{-1}\{W(s)\} \cdot L\{x(t)\}$. 3. $y(t) = L^{-1}\{W(s) \cdot L\{x(t)\}\}$. 4. $y(t) = L\{W(s) \cdot L^{-1}\{x(t)\}\}$.
7	Как определяется передаточная функция $W(s)$ для САР при последовательном соединении двух элементов с передаточными функциями $W_1(s)$ и $W_2(s)$? <ol style="list-style-type: none"> 1. $W(s) = W_1(s) + W_2(s)$. 2. $W(s) = W_1(s) \cdot W_2(s)$. 3. $W(s) = \frac{W_1(s)}{1 - W_1(s) \cdot W_2(s)}$. 4. $W(s) = \frac{W_1(s)}{1 + W_1(s) \cdot W_2(s)}$.
8	Как определяется передаточная функция $W(s)$ для САР при параллельном соединении двух элементов с передаточными функциями $W_1(s)$ и $W_2(s)$? <ol style="list-style-type: none"> 1. $W(s) = W_1(s) + W_2(s)$. 2. $W(s) = W_1(s) \cdot W_2(s)$. 3. $W(s) = \frac{W_1(s)}{1 - W_1(s) \cdot W_2(s)}$. 4. $W(s) = \frac{W_1(s)}{1 + W_1(s) \cdot W_2(s)}$.
9	Как определяется передаточная функция $W(s)$ для САР при соединении двух элементов с передаточными функциями $W_1(s)$ и $W_2(s)$ по схеме с положительной обратной связью? <ol style="list-style-type: none"> 1. $W(s) = W_1(s) + W_2(s)$. 2. $W(s) = W_1(s) \cdot W_2(s)$. 3. $W(s) = \frac{W_1(s)}{1 - W_1(s) \cdot W_2(s)}$. 4. $W(s) = \frac{W_1(s)}{1 + W_1(s) \cdot W_2(s)}$.
10	Как определяется передаточная функция $W(s)$ для САР при соединении двух элементов с переда-

	<p>точными функциями $W_1(s)$ и $W_2(s)$ по схеме с отрицательной обратной связью?</p> <p>1. $W(s) = W_1(s) + W_2(s)$. 2. $W(s) = W_1(s) \cdot W_2(s)$.</p> <p>3. $W(s) = \frac{W_1(s)}{1 - W_1(s) \cdot W_2(s)}$. 4. $W(s) = \frac{W_1(s)}{1 + W_1(s) \cdot W_2(s)}$.</p>
--	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

7.2.3. Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

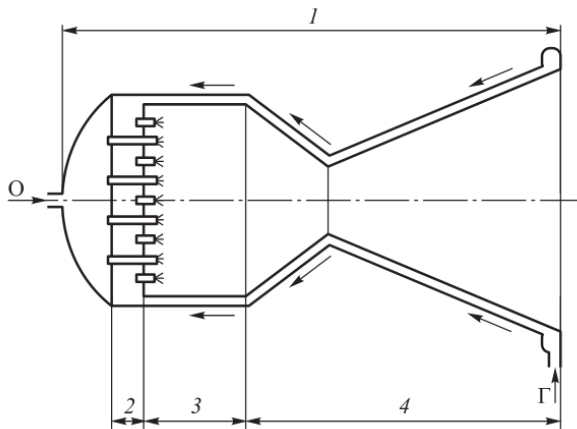
1	<p>На рисунке показана схема гидромеханического регулятора расхода топлива. Какой из перепадов давлений создает управляющее воздействие в регуляторе?</p>  <p>1. $\Delta P = P_A - P_{вх1}$. 2. $\Delta P = P_{вх2} - P_A$. 3. $\Delta P = P_A - P_B$. 4. $\Delta P = P_B - P_{вх3}$.</p>
2	<p>На рисунке приведена ПГС ЖРД. Выберите верный ответ:</p>  <p>1. Схема с дожиганием, поз. 12 – газогенератор. 2. Схема без дожигания, поз. 15 – насос. 3. Схема с дожиганием, поз. 11 – газогенератор. 4. Схема без дожигания, поз. 13, 14 – насосы.</p>
3	<p>На каком из рисунков показаны характеристики неустойчивого объекта регулирования?</p>  <p>1. На левом рисунке. 2. На центральном рисунке. 3. На правом рисунке.</p>
4	<p>На рисунке показана схема гидромеханического регулятора расхода топлива. Сопоставьте цифры и</p>

конструктивные элементы регулятора:



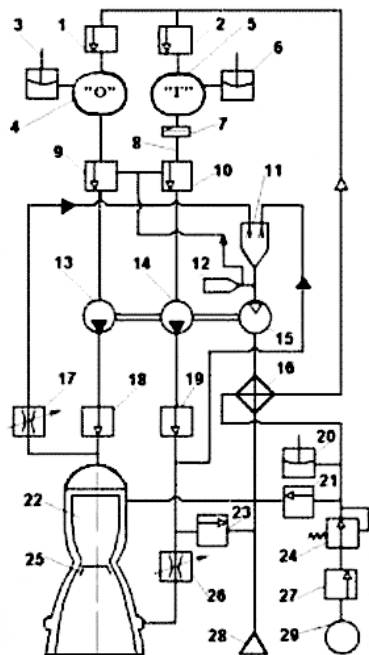
4. Дроссельный клапан. 5. Каналы подвода давлений к дифференциальному клапану.
3. Жиклер. 1. Дифференциальный клапан. 2. Пружина.

5 Сопоставьте цифры и конструктивные элементы камеры сгорания ЖРД:



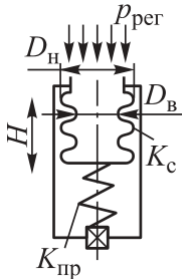
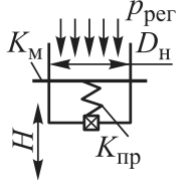
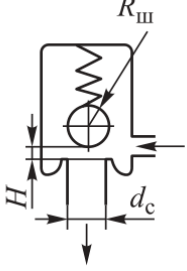
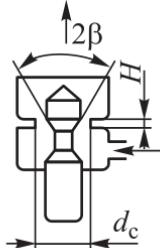
3. Цилиндрическая часть камеры сгорания.
1. Камера двигателя.
4. Сопло двигателя.
2. Смесительная головка камеры сгорания.

6 На рисунке приведена ПГС ЖРД. Сопоставьте цифры и агрегаты ЖРД:



14. Насос горючего. 11. Газогенератор. 13. Насос окислителя. 15. Турбина.

7 Как определяется эффективное значение площади при использовании показанного на рисунке

	<p>чувствительного элемента САР?</p>  <p>1. $F = \frac{\pi D_{\text{н}}^2}{4}$. 2. $F = \frac{\pi(D_{\text{в}} + D_{\text{н}})^2}{16}$. 3. $F = \frac{\pi(D_{\text{в}} - D_{\text{н}})^2}{16}$. 4. $F = \frac{\pi D_{\text{н}}^2}{16}$.</p>
8	<p>Как определяется эффективное значение площади при использовании показанного на рисунке чувствительного элемента САР?</p>  <p>1. $F = \frac{\pi D_{\text{н}}^2}{4}$. 2. $F = \frac{\pi(D_{\text{в}} + D_{\text{н}})^2}{16}$. 3. $F = \frac{\pi(D_{\text{в}} - D_{\text{н}})^2}{16}$. 4. $F = \frac{\pi D_{\text{н}}^2}{16}$.</p>
9	<p>Как выглядит закон изменения площади дросселирующего сечения при использовании показанного на рисунке исполнительного элемента?</p>  <p>1. $F = \pi d_{\text{с}} H$. 2. $F = \pi d_{\text{с}} H \sqrt{1 - \frac{d_{\text{с}}^2}{4R_{\text{ш}}^2}}$. 3. $F = \pi d_{\text{с}} H \cos \beta$. 4. $F = \pi d_{\text{с}} H \operatorname{tg} \beta$.</p>
10	<p>Как выглядит закон изменения площади дросселирующего сечения при использовании показанного на рисунке исполнительного элемента?</p>  <p>1. $F = \pi d_{\text{с}} H$. 2. $F = \pi d_{\text{с}} H \sqrt{1 - \frac{d_{\text{с}}^2}{4R_{\text{ш}}^2}}$. 3. $F = \pi d_{\text{с}} H \cos \beta$. 4. $F = \pi d_{\text{с}} H \operatorname{tg} \beta$.</p>

7.2.4. Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

Не предусмотрено учебным планом

7.2.5. Примерный перечень вопросов для подготовки к экзамену

1. Объект регулирования, регулируемые параметры.
2. Принципиальная схема САР. Основные определения.
3. Принципиальная схема САР. Основная задача регулирования.
4. Классификация автоматических систем по назначению.
5. Исторический очерк развития систем автоматики.
6. Регулятор системы И.И. Ползунова и его характеристика.
7. Регулятор системы Д. Уатта и его характеристика.
8. Схема всережимного регулятора "Юнкерс":
9. Особенности регулирования и управления ЖРД.
10. Принципиальная схема САР.
11. Функциональная схема САР.
12. Структурная схема САР
13. Принцип регулирования по возмущению.
14. Принцип регулирования по отклонению.
15. Комбинированные САР.
16. Системы регулирования с обратной связью.
17. Типовые законы регулирования.
18. Статические системы.
19. Астатические системы.
20. Системы стабилизации, программного регулирования и следящие системы.
21. Системы прямого регулирования.
22. Системы непрямого регулирования.
23. Одномерные и многомерные системы.
24. Линейные и нелинейные системы.
25. Непрерывные системы регулирования (схема).
26. Дискретные системы регулирования (схема).
27. Динамические звенья САР. Статический и динамический режим.
28. Математические модели динамических систем.
29. Порядок составления дифференциального уравнения звена.
30. Уравнение статики.
31. Уравнение динамики.
32. Линеаризация уравнений.
33. Статические характеристики линейных систем.
34. Статическая характеристика камеры ЖРД.
35. Прямое и обратное преобразование Лапласа.
36. Переходные процессы в САР
37. Типовые возмущающие воздействия
38. Передаточная функция звена
39. Переходная функция звена
40. Функция веса (импульсная переходная функция)
41. Типовые динамические звенья САР. Усилительное звено.
42. Типовые динамические звенья САР. Интегрирующее звено.
43. Типовые динамические звенья САР. Аперидическое звено.
44. Типовые динамические звенья САР. Колебательное звено.
45. Типовые динамические звенья САР.
46. Идеальное дифференцирующее звено, реальное дифференцирующее звено.
47. Типовые динамические звенья САР. Звено запаздывания. Суммирующее звено.
48. Структурные схемы САР. Последовательное соединение САР.
49. Структурные схемы САР. Параллельное соединение САР.
50. Структурные схемы САР. Антипараллельное соединение САР.

7.2.6. Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

Экзамен проводится по тест-билетам, каждый из которых содержит 10 вопросов и задачу. Каждый правильный ответ на вопрос в тесте оценивается 1 баллом, задача оценивается в 10 баллов (5 баллов верное решение и 5 баллов за верный ответ). Максимальное количество набранных баллов – 20.

1. Оценка «Неудовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал менее 6 баллов.

2. Оценка «Удовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал от 6 до 10 баллов

3. Оценка «Хорошо» ставится в случае, если студент набрал от 11 до 15 баллов.

4. Оценка «Отлично» ставится, если студент набрал от 16 до 20 баллов.

7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1	Основные понятия и принципы автоматики.	ПК-4	Тест, защита лабораторных работ, требования к курсовой работе
2	Классификация автоматических систем регулирования.	ПК-4	Тест, защита лабораторных работ, требования к курсовой работе
3	Статика жидкостных ракетных двигателей.	ПК-4	Тест, защита лабораторных работ, требования к курсовой работе
4	Динамика двигательных установок с ЖРД.	ПК-4	Тест, защита лабораторных работ, требования к курсовой работе
5	Переходные процессы и устойчивость систем автоматического регулирования.	ПК-4	Тест, защита лабораторных работ, требования к курсовой работе
6	Регуляторы жидкостных ракетных двигателей. Типовые системы автоматического регулирования ЖРД	ПК-4, ПК-2	Тест, защита лабораторных работ, требования к курсовой работе
7	Цели и задачи НИР и ОКР. Этапы НИР и ОКР	ПК-2	Тест, текущий контроль

7.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Тестирование осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных тест-заданий на бумажном носителе. Время тестирования 30 мин. Затем осуществляется проверка теста экзаменатором и выставляется оценка в соответствии с методикой оценивания при проведении промежуточной аттестации.

Решение стандартных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка в соответствии с методикой оценивания при проведении промежуточной аттестации.

Решение прикладных задач осуществляется, либо при помощи компь-

ютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка в соответствии с методикой оценивания при проведении промежуточной аттестации.

Защита курсовой работы, курсового проекта или отчета по всем видам практик осуществляется согласно требованиям, предъявляемым к работе, описанным в методических материалах. Примерное время защиты на одного студента составляет 20 мин.

8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

8.1. Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

Рекомендуемая литература			
Авторы, составители	Заглавие	Годы издания. Вид из- дания	Обеспе- ченность
Основная литература			
Бабкин А.И.	Основы автоматического управления ракетными двигательными установками / А.И. Бабкин, С.И. Белов, Н.Б. Рutowский и др. – М.: Машиностроение, 1986. – 456 с.	1986 печат.	0,8
Добровольский М.В.	Жидкостные ракетные двигатели. Основы проектирования / М.В. Добровольский; Под ред. Д.А. Ягодникова. – М.: Машиностроение, 2010. – 469 с.	2010 печат.	0,6
Дополнительная литература			
Алемасов В.Е.	Теория ракетных двигателей: учебник для студентов / В.Е. Алемасов и др.; под ред. В.П. Глушко. – М.: Машиностроение, 1989. – 464 с.	1989 печат.	0,6
Васютин Ю.И.	Агрегаты регулирования жидкостных ракетных двигательных установок: учебное пособие / Ю.И. Васютин др.; Под ред. Д.А. Ягодникова. – 2-е изд. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. – 223 с.	2017 печат.	0,1
Методические разработки			
Скоморохов Г.И.	Методические указания для практических занятий по дисциплине "Автоматика и регулирование ракетных двигателей" для студентов специальности 24.05.02 "Проектирование авиационных и ракетных двигателей" очной формы обучения / сост.: Г.И.Скоморохов, А.А. Пригожин/ Эл. вид. [Электронный ресурс] – Электрон. текстовые и граф. данные (1,4 Мб). – Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», 2015. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).	2015 Эл.вид	1
Скоморохов Г.И.	Методические указания к лабораторным работам № 1-4 по дисциплине «Автоматика и регулирование жидкостных ракетных двигателей» для студентов направления подготовки 160700.65 «Проектирование авиационных и ракетных двигателей» (специализация «Проектирование жидкостных ракетных двигателей») очной формы обучения/ Метод. указания. Эл. вид: AvtomatikaRD1-2015.doc (21,5 Мб).- ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет»; Воронеж, 2015. Шифр: 172-2015	2015 Эл.вид	1
Скоморохов Г.И.	Методические указания к лабораторным работам № 5-8 по дисциплине «Автоматика и регулирование жидкостных ра-	2015 Эл.вид	1

	кетных двигателей» для студентов направления подготовки 160700.65 «Проектирование авиационных и ракетных двигателей» (специализация «Проектирование жидкостных ракетных двигателей») очной формы обучения/ Метод. указания. Эл. вид: AvtomatikaRD2-2015.doc (42,8 Мб). - ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет»; Воронеж, 2015. Шифр: 173-2015		
Скоморохов Г.И.	Шифр 156-2008. Методические указания и контрольные задания к курсовой работе по дисциплине "Автоматика и регулирование ракетных двигателей" для студентов специальности 160302 "Ракетные двигатели" очной формы обучения / ГОУ ВПО "ВГТУ"; сост.: Г.И. Скоморохов. - Воронеж: 2008. - 43 с.	2008 печат.	1

8.2. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем:

Наименование программного обеспечения	Тип лицензии
Microsoft Windows 7	Open License
Microsoft Office 2007	Open License
Adobe Reader	Бесплатное ПО

Профессиональные базы данных

Наименование ПБД	Электронный адрес ресурса
Научная электронная библиотека	http://elibrary.ru
Электронная библиотечная система IPRbooks	http://www.iprbookshop.ru/
Электронный каталог научной библиотеки ВГТУ	https://cchqeu.ru/university/electronnyy-katalog/

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

Аудитория № 153 (ул. Ворошилова, 20, 8 эт.), укомплектованная специализированной мебелью для обучающихся и преподавателя, оборудованная мультимедиа-проектором и экраном, для проведения лекционных и практических занятий.

Аудитории № 154, № 149 (ул. Ворошилова, 20, 8 эт.), укомплектованные специализированной мебелью для обучающихся и преподавателя для проведения лекционных и практических занятий.

Специализированная аудитория, оснащенная персональными компьютерами и специальным программным обеспечением для лабораторных работ - учебная аудитория № 134 (ул. Ворошилова, 20, 7 эт.), укомплектованная специализированной мебелью и оборудованная техническими средствами обучения: персональными компьютерами с лицензионным программным обеспечением с возможностью подключения к сети «Интернет» и доступом в электронную информационно-образовательную среду университета.

Детали и агрегаты систем автоматического регулирования (макеты); ат-

лас конструкций агрегатов и элементов САР базового предприятия.

10. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

По дисциплине «Автоматика и регулирование жидкостных ракетных двигателей» читаются лекции, проводятся практические занятия и лабораторные работы, выполняется курсовая работа.

Основой изучения дисциплины являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, а также вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе.

Практические занятия направлены на приобретение практических навыков расчета агрегатов автоматики. Занятия проводятся путем решения конкретных задач в аудитории.

Лабораторные работы выполняются на лабораторном оборудовании в соответствии с методиками, приведенными в указаниях к выполнению работ.

Методика выполнения курсовой работы изложена в учебно-методическом пособии. Выполнять этапы курсовой работы должны своевременно и в установленные сроки.

Контроль усвоения материала дисциплины производится проверкой курсовой работы, защитой курсовой работы.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; пометать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удается разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.
Практическое занятие	Конспектирование рекомендуемых источников. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы. Прослушивание аудио- и видеозаписей по заданной теме, выполнение расчетно-графических заданий, решение задач по алгоритму.
Лабораторная работа	Лабораторные работы позволяют научиться применять теоретические знания, полученные на лекции при решении конкретных задач. Чтобы наиболее рационально и полно использовать все возможности лабораторных для подготовки к ним необходимо: следует разобрать лекцию по соответствующей теме, ознакомиться с соответствующим разделом учебника, проработать дополнительную литературу и источники, решить задачи и выполнить другие письменные задания.
Самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: <ul style="list-style-type: none">- работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций;- выполнение домашних заданий и расчетов;- работа над темами для самостоятельного изучения;- участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад;- подготовка к промежуточной аттестации.
Подготовка к промежуточной аттестации	Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед экзаменом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.

ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

№ п/п	Перечень вносимых изменений	Дата внесения изменений	Подпись заведующего кафедрой, ответственной за реализацию ОПОП
1			
2			
3			