


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

УТВЕРЖДАЮ

Декан ФМАТ  В.И. Ряжских  
«31» августа 2021 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**  
дисциплины

«Конструирование агрегатов 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** 2021

Автор программы



/ П.А. Дронов /

Заведующий кафедрой  
Ракетных двигателей



/ В.С. Рачук /

Руководитель ОПОП



/ В.С. Рачук /

Воронеж 2021

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

### 1.1. Цели дисциплины

- обеспечить высокую профессиональную подготовку инженеров-конструкторов в области практического применения основных идей и методов расчёта, проектирования, конструирования, испытания и эксплуатации узлов и агрегатов ЖРД с использованием информационных технологий

### 1.2. Задачи освоения дисциплины

- овладение навыками выпуска конструкторской документации на ракетные, реактивные двигатели, двигательные и энергетические установки и их отдельные узлы и агрегаты;

- знакомство с современными информационными технологиями при разработке новых изделий и математическом моделировании процессов в авиационных и ракетных двигателях;

- подготовка и проведение автономных испытаний агрегатов

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Конструирование агрегатов жидкостных ракетных двигателей» относится к дисциплинам части, формируемой участниками образовательных отношений блока Б1.

## 3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Конструирование агрегатов жидкостных ракетных двигателей» направлен на формирование следующих компетенций:

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

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ПК-4	знать <i>основные физические положения, законы механики и термодинамики, описывающие рабочий процесс в жидкостных ракетных двигателях</i>
	уметь <i>применять физико-математические методы моделирования и расчета при анализе рабочего процесса в жидкостных ракетных двигателях;</i> <i>применять стандартные средства автоматического проектирования при проведении расчетов и при проектировании деталей, узлов двигателей и энергетических установок ЛА</i>
	владеть <i>навыками проведения тепловых и газодинамических расчетов рабочего процесса в жидкостных ракетных двигателях</i>

#### 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Конструирование агрегатов жидкостных ракетных двигателей» составляет 9 з.е.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий  
**очная форма обучения**

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры	
		9	10
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	<b>144</b>	<b>72</b>	<b>72</b>
В том числе:			
Лекции	36	18	18
Практические занятия (ПЗ)	36	18	18
Лабораторные работы (ЛР)	72	36	36
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>144</b>	<b>72</b>	<b>72</b>
<b>Курсовой проект</b>	+		+
Часы на контроль	36	-	36
Виды промежуточной аттестации - экзамен, зачет	+	зачет	экзамен
Общая трудоемкость: академические часы	324	144	180
зач.ед.	9	4	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	Основы системного анализа технических систем	Введение. Цели и задачи дисциплины. Основы системного подхода. Система, надсистема, подсистема. Техническая и абстрактная система. Системный эффект и системное качество. Определение технической системы (ТС). Состав и назначение ТС. Основные закономерности развития технических систем. <i>Самостоятельное изучение.</i> Приёмы решения задач, основанные на системном подходе. Синектика. Методические рекомендации по решению задач. Аналогии, активизирующие образное мышление	6	6	12	24	48
2	Приёмы и методы решения технических задач	Системный анализ технических объектов (ТО). Структурный анализ ТО. Генетический подход. Компонентный подход. Структурный подход. Поиск ресурсов при решении технических задач. Вещественно-полевые ресурсы. Взаимодействие веществ и полей. Физические эффекты. Геометрические эффекты. Ресурсы пространства и времени. Количественные изменения.	6	6	12	24	48

		<u>Самостоятельное изучение.</u> Модели вепольного анализа. Типовые задачи, связанные с взаимодействием веществ и полей. Задачи на изменение объекта. Технические задачи на обнаружение и изменение свойств объекта					
3	Элементы гидравлического тракта ЖРД и их характеристики	Общие сведения. Потери на трение по длине. Потери на местные сопротивления. Истечение из отверстия в тонкой стенке. Влияние вязкости и модуля. Влияние сил поверхностного натяжения. Истечение из насадков. Режимы истечения. Неустойчивый режим истечения в насадках. Зависимость коэффициента расхода от относительной длины и числа Рейнольдса. Определение гидравлических потерь в охлаждающем тракте. <u>Самостоятельное изучение.</u> Определение гидравлических потерь в трубопроводах и арматуре. Рабочие тела пневмогазовых систем. Типовые варианты узлов агрегатов. Кавитационный режим течения	6	6	12	24	48
4	Общие сведения по проектированию агрегатов	Особенности выбора проектных решений и конструкций агрегатов с учетом свойств компонентов, применяемых в ЖРД (агрессивность, криогеника). Методология разработки и аттестации агрегатов ДУ. Краткие сведения о материалах применяемых для изготовления агрегатов этой группы, специальных покрытиях. Типовые варианты узлов, апробированные в процессах отработки реальных двигателей. <u>Самостоятельное изучение.</u> Посадки, подбор материалов, чистота обработки, методы стабилизации размеров сопрягаемых деталей. Варианты седел и клапанов, материалы для деталей уплотнительных узлов	6	6	12	24	48
5	Основные схемы агрегатов ЖРД	Классификация клапанных агрегатов, дополнительные требования, предъявляемые к агрегатам этой группы. Методология выбора проектного решения по схеме и конструкции агрегата. Конструкторские решения по основным узлам клапанов: седлам, клапанам, замкам, силовым приводам, распределительным устройствам, демпферам. <u>Самостоятельное изучение.</u> Быстродействующие газовые клапаны, электропневмоклапаны (ЭПК) и пироклапаны. Вентили с ручным и электрическим приводом, схемы Четыре простейших модуля схем ЭПК. Схемы пироклапанов. Основные узлы регуляторов: чувствительные элементы, узлы исполнительных органов, пары типа "шток-направляющая"	6	6	12	24	48
6	Конструкция и расчёт основных агрегатов ЖРД	Клапаны. Назначение. Кратность действия. Способ и система привода клапана. Нормальное положение клапана. Арматура систем подачи ЖРД. Заборники баков. Заправочные и сливные пробки. Реле давления.	6	6	12	24	48

		<p>Разрывные мембраны. Трубопроводы. Конструкция основных агрегатов автоматики. Мембранный клапан свободного прорыва. Мембранный клапан принудительного прорыва. Двухкомпонентный мембранный клапан. Обратные клапаны. Отсечной топливный клапан с пиропроводом. Топливный клапан с гидроприводом от компонента.</p> <p><u>Самостоятельное изучение.</u></p> <p>Главный клапан горючего с пневмоприводом. Управляющий электромагнитный пневмоклапан. Дроссели и регуляторы. Регулятор тяги стабилизатор газогенератора. Стабилизатор камеры. Дроссель системы опорожнения баков (СОБ) с электроприводом. Соединение трубопроводов</p>					
<b>Итого</b>			<b>36</b>	<b>36</b>	<b>72</b>	<b>144</b>	<b>288</b>

## 5.2 Перечень лабораторных работ

1. Определение характеристик гидропривода с объемным регулированием.
2. Испытания гидропривода поступательного движения с дроссельным регулированием.
3. Экспериментальное изучение прямого гидравлического удара в напорном трубопроводе.
4. Параметрические и кавитационные испытания центробежных и объемных насосов.
5. Испытание гидродинамической передачи.
6. Работа в NX в среде Teamcenter – основные понятия и концепции.
7. Работа со сборками (создание, редактирование структуры - поиск, вставка компонентов).
8. Создание детали с помощью операции “Вращение” средствами NX на примере пневмоцилиндра (клапана, газового редуктора).
9. Создание фасок и скруглений с помощью соответствующих операций средствами NX на примере детали пневмоцилиндра (клапана, газового редуктора).
10. Создание детали с помощью операции “Выдавливание” средствами NX на примере корпуса пневмоцилиндра (клапана, газового редуктора).
11. Создание детали с помощью операции “Вырезание вращением” средствами NX на примере корпуса пневмоцилиндра (клапана, газового редуктора).
12. Построение сборочной 3D-конструкции из отдельных деталей средствами NX на примере пневмоцилиндра (клапана, газового редуктора).

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

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины предусматривает выполнение курсового проекта в А семестре для очной формы обучения.

Примерная тематика курсового проекта: «Конструирование основных агрегатов и систем жидкостных ракетных двигателей».

Задачи, решаемые при выполнении курсового проекта:

- овладение инженерными методами расчета и конструирования агрегатов;

- поиск новых технических решений при конструировании агрегатов ЖРД;

- освоение методологии комплексного использования компьютерных программ при анализе и конструировании агрегатов.

Курсовой проект 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>основные физические положения, законы механики и термодинамики, описывающие рабочий процесс в жидкостных ракетных двигателях</i>	Тест	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь <i>применять физико-математические методы моделирования и расчета при анализе рабочего процесса в жидкостных ракетных двигателях; применять стандартные средства автоматического проектирования при проведении расчетов и при проектировании деталей, узлов двигателей и энергетических установок ЛА</i>	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть	Решение прикладных	Выполнение	Невыполнение

	<i>навыками проведения тепловых и газодинамических расчетов рабочего процесса в жидкостных ракетных двигателях</i>	задач в конкретной предметной области	работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
--	--	---------------------------------------	--	--

### 7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 9, А семестре для очной формы обучения по двух/четырёх балльной системе:

«зачтено»

«не зачтено»

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Зачтено	Не зачтено
ПК-4	знать <i>основные физические положения, законы механики и термодинамики, описывающие рабочий процесс в жидкостных ракетных двигателях</i>	Тест	Выполнение теста на 70-100%	Выполнение менее 70%
	уметь <i>применять физико-математические методы моделирования и расчета при анализе рабочего процесса в жидкостных ракетных двигателях; применять стандартные средства автоматического проектирования при проведении расчетов и при проектировании деталей, узлов двигателей и энергетических установок ЛА</i>	Решение стандартных практических задач	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть <i>навыками проведения тепловых и газодинамических расчетов рабочего процесса в жидкостных ракетных двигателях</i>	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

ИЛИ

«отлично»;

«хорошо»;

«удовлетворительно»;

«неудовлетворительно».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Отлично	Хорошо	Удовл.	Неудовл.
ПК-4	знать <i>основные физические положения, законы механики и термодинамики, описывающие рабочий процесс в жидкостных ракетных двигателях</i>	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	уметь <i>применять физико-математические методы моделирования и расчета при анализе</i>	Решение стандартных практических задач	Задачи решены в полном объеме и получены верные	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

	<i>рабочего процесса в жидкостных ракетных двигателях; применять стандартные средства автоматического проектирования при проведении расчетов и при проектировании деталей, узлов двигателей и энергетических установок ЛА</i>		ответы	во всех задачах		
	владеть навыками проведения тепловых и газодинамических расчетов рабочего процесса в жидкостных ракетных двигателях	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

## 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. Почему разработка ЖРД относится к разряду опытно-конструкторских работ (ОКР)?

- а) в ЖРД много деталей;
- б) процессы, происходящие в агрегатах двигателя, недостаточно изучены и требуется опытная проверка работоспособности;
- в) проще провести опытную отработку, чем составлять математические модели;
- г) недостаточно накоплено статистических материалов;
- д) все равно необходимо проведение летных испытаний.

2. Какие работы включает функциональное проектирование ЖРД?

- а) разработку чертежей деталей;
- б) рациональное расположение агрегатов относительно друг друга;
- в) разработку принципиальной и конструкторской схем двигателя;
- г) создание виртуального макета двигателя;
- д) расчет прочности элементов двигателя.

3. Какие факторы учитывает при оптимизации критерий Iупр ?

- а) надежность ДУ;
- б) технологичность конструкции;
- в) только экономичность работы двигателя;
- г) экономичность и совершенство по массе;
- д) безопасность эксплуатации.

4. На каком режиме работает двигатель наиболее продолжительное время?

- а) на режиме максимальной тяги;
- б) на основном режиме;
- в) на предварительном режиме;
- г) на режиме останова;
- д) на конечном режиме.

5. Должны ли быть показаны на ПГС агрегаты, необходимые для запуска двигателя?

- а) нет, на ПГС приведены только агрегаты, обеспечивающие основной режим;
- б) нет, потому что они находятся вне двигателя;
- в) да, потому что на ПГС должны быть приведены все агрегаты;
- г) нет, потому что они должны быть описаны в описании ЖРД.

6. Какие факторы учитывает при оптимизации критерий Вид?

- а) надежность ДУ;
- б) технологичность конструкции;
- в) только экономичность работы двигателя;
- г) экономичность и совершенство по массе;
- д) безопасность эксплуатации.

7. На рисунке 1 приведена ПГС ЖРД. Определить, этот ЖРД с дожиганием или нет и найти газогенератор?

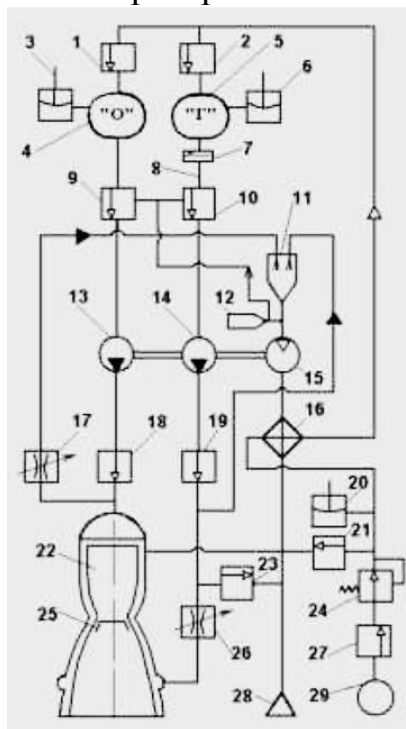


Рисунок 1

Газогенератор обозначен №: 15, 18, 20, 11, 12.

8. Чем на схеме (рисунок 1) производится наддув баков?

- а) генераторным газом;
- б) охлажденным генераторным газом;
- в) воздухом из баллона;
- г) подогретым воздухом из баллона;
- д) парами компонентов.

9. Почему во время запуска двигателя чаще, чем в других случаях возникают неустойчивые процессы?

- а) потому что запуск происходит очень быстро;
- б) потому что во время запуска задействовано много агрегатов;
- в) потому что в агрегатах часто наблюдается нерасчетное соотношение компонентов и переменная температура;
- г) потому что расходы компонентов переменны;
- д) потому что процесс запуска сложен.

10. Почему запуск должен быть проведен за минимальное время?

- а) все процессы в ЖРД должны проходить быстро;
- б) этого требуют тактико-технические требования к ракете;
- в) чтобы получить максимальное ускорение;
- г) чтобы израсходовать минимальное количество топлива;
- д) чтобы уменьшить массу ракеты.

### 7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

1. Укажите уравнение, связывающее плотность  $\rho$  и удельный вес  $\gamma$ .

- а)  $\gamma = \rho$ .
- б)  $\gamma = \rho g$ . ( $g$  – ускорение силы тяжести)
- в)  $\gamma = \rho/g$ .

2. Как изменяется динамический коэффициент вязкости газа с ростом температуры при неизменном давлении?

- а) Остаётся постоянным.
- б) Сначала возрастает, а затем уменьшается.
- в) Возрастает.
- г) Уменьшается.
- д) Сначала уменьшается, а затем возрастает.

3. Чем определяется режим течения жидкости в трубе?

- а) Скоростью течения  $V$ .
- б) Вязкостью жидкости  $\nu$ .
- в) Диаметр трубки  $d$ .
- г) Сочетанием  $Vd / \nu$ .
- д) Шероховатостью стенки  $\epsilon$ .

4. Как влияет температура  $T$  на величину давления насыщения паров  $P_e$ ?
- а) С ростом  $T$  давление  $P_e$  уменьшается.
  - б) С ростом  $T$  давление  $P_e$  остается постоянным.
  - в) С ростом  $T$  давление  $P_e$  сначала растет, а затем уменьшается.
  - г) С ростом  $T$  давление  $P_e$  растет.

5. Чему равна разность между гидростатическим и пьезометрическим напорами?

- а) Высоте столба жидкости, соответствующей атмосферному давлению.
- б) Высоте столба жидкости, соответствующей весовому давлению.
- в) Высоте столба жидкости, соответствующей манометрическому давлению.

6. Укажите уравнение для продольной составляющей скорости  $V_x$  плоского движения.

- а)  $\partial\varphi/\partial x$ ,
- б)  $\partial\varphi/\partial y$ ,
- в)  $\partial\psi/\partial y$ ,
- г)  $-\partial\psi/\partial x$ .

7. Укажите выражение для определения числа Рейнольдса ( $Re$ ).

- а)  $v/a$ .
- б)  $l/v \cdot t$ . ( $l$  - характерный размер;  $g$  – ускорение сил тяжести;  $t$  – время)
- в)  $P/\rho v^2$ .
- г)  $v^2/gl$ .
- д)  $v \cdot l/\nu$ .

8. От чего зависит максимальная скорость потока  $v_{\max}$ ?

- а) От скорости потока.
- б) От давления и температуры газа.
- в) От температуры торможения.
- г) От плотности и давления газа.
- д) От параметров на срезе сопла Лавалья.

9. Как изменяется скорость потока  $v$  за скачком уплотнения с ростом числа  $M_1$  перед скачком при  $T_1 = \text{const}$ ?

- а) Возрастает.
- б) Уменьшается.
- в) Сначала увеличивается, а затем уменьшается.
- г) Сначала уменьшается, а затем увеличивается.

10. Какой пограничный слой при взаимодействии со скачком уплотнения отрывается легче?

- а) Ламинарный пограничный слой.

б) Турбулентный пограничный слой

### 7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1. Какое значение скорости входит в формулу Циолковского  $v=W \dots \ln(1/\mu)$ ?

- а)  $W_a$ ;
- б)  $W_a + Fa_{уд} p_a$ ;
- в)  $W_a + Fa_{уд} (p_a - p_H)$ ;
- г)  $W_{a \max}$

2. Какое значение удельного импульса следует использовать при расчёте идеальной скорости  $v=I \dots \ln(1/\mu)$ , если ракета стартует с земли?

- 1)  $I_{\max}$ ;
- 2)  $I_H$ ;
- 3)  $I_p$ ;
- 4)  $I_{H=0}$

3. Какие показатели определяют выбор ЖРД: а) с насосной подачей; б) с вытеснительной подачей?

- а) Регулирование тяги, ресурс двигателя, удельная масса двигателя.
- б) Удельный импульс, габариты двигателя, масса ракеты.
- в) Готовность к пуску, надёжность, стоимость.
- г) Длительность работы, многократность запуска, давление на срезе сопла.

4. Сколько килограммов можно добавить к полезной нагрузке ракеты, если при модернизации возросли удельный импульс на 100 м/с и масса конструкции на 200 кг; массовый эквивалент 10 (кг·с)/м.

- а) 1000 кг.
- б) 800 кг.
- в) 600 кг.
- г) 400 кг.

5. Остатки не вырабатываемого топлива уменьшили с 1,0 до 0,5% от запаса топлива. Найти прирост идеальной скорости ракеты, если начальная масса ракеты 50т, относительная конечная масса 0,3, пустотный удельный импульс 3500 м/с, массовый эквивалент 10 (кг·с)/м.

- а) 0,5%.
- б) 1,0%.
- в) 1,5%.
- г) 2,0%.

6. Какие из четырех соотношений определяют мощность ракетного двигателя: 1.  $\dot{m} \cdot w_a^2 / 2$ ; 2.  $P_p I_p / 2$ ; 3.  $\dot{m} \cdot w_a / 2$ ; 4.  $C_* K_p$ ?

- а) 1; 2.
- б) 1; 4.
- в) 2; 3.
- г) 3; 4.

7. В каком случае эффективная скорость численно равна скорости истечения  $w_a$ ?

- а) При  $p_a < p_n$ .
- б) При  $p_a = p_n$ .
- в) При  $p_a > p_n$ .
- г) Всегда.

8. Чем различаются формулы для определения расхода?

$$\dot{m} = m \frac{p^* F q(\lambda)}{\sqrt{T^*}}, \quad \dot{m} = \left( \frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{2(k-1)}} \sqrt{k} \frac{p_{co} F_{кр}}{(RT)_{co}},$$

$$\dot{m} = \frac{p_{co} F_{кр}}{C_*}, \quad \dot{m} = \frac{p_k \varepsilon_k F_{кр}}{C_*}.$$

- а) Величиной расхода.
- б) Formой записи.
- в) Физическим смыслом.
- г) Ничем.

9. Какие параметры надо измерить для определения экспериментального значения характеристической скорости  $C_*$ ?

- а)  $p_k$ ;  $P_{H=0}$ ;  $\bar{F}_{кр}$ .
- б)  $p_k$ ;  $P_{H=0}$ ;  $F_a$ .
- в)  $p_k$ ;  $\dot{m}$ ;  $F_{кр}$ .
- г)  $p_k$ ;  $\dot{m}$ ;  $F_a$ .

10. По скольким выражениям при расчете идеального процесса получим одинаковые значения характеристической скорости  $C_*$ ?

$$C_* = I_H / K_H; \quad C_* = p_{co} F_{кр \cdot уд};$$

$$C_* = I_H / K_H; \quad C_* = \sqrt{(RT)_{co}} \left( \frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{2(k-1)}} \sqrt{k}.$$

- а) По двум.

- б) По трем.
- в) По четырем.
- г) Все ответы разные.

#### **7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету**

1. Зачем при однократном запуске ЖРД в космосе в сопле устанавливают герметичную заглушку?
2. Какими способами можно обеспечить прилив жидкого топлива к заборнику в баке при запуске в невесомости?
3. Почему необходимо иметь на последней ступени ракете-носителя возможно меньший импульс последствия тяги (ИПТ)?
4. Почему при выключении ЖРД средней и большой тяги в начале выключают газогенератор, а затем камеру?
5. Зачем перед выключением ЖРД последней ступени ракеты-носителя часто двигатель переводят на режим пониженной тяги?
6. Зачем часто на ЖРД ставят отсечной клапан окислителя непосредственно на головке камеры?
7. В каких случаях срабатывает система аварийного выключения двигателя (АВД)?
8. Зачем применяется система программного изменения величины тяги?
9. Каким образом в основном изменяют тягу в ЖРД с насосной подачей топлива?
10. Зачем применяется система регулирования кажущейся скорости (РКС)?
11. Каким датчиком контролируется тяга двигателя в случае применения системы РКС?
12. Зачем в ракете применяется система СОБ?
13. С какой целью совмещают различные агрегаты в одном корпусе?
14. От каких факторов зависит быстрдействие клапана?
15. В чем заключаются преимущества и недостатки пироуправляемых клапанов?
16. К какому классу клапанов относятся обратные клапаны, применяемые в ЖРД?
17. Как влияет на время срабатывания клапана мощность привода?
18. Какой привод может применяться в клапанах многократного действия?
19. Исходя из каких соображений определяют площадь проходного сечения между тарелью и седлом в открытом клапане?
20. Характеристики какого элемента автоматического клапана рассчитываются при расчете усилий в клапане?
21. Каким образом определяется усилие, необходимое для герметизации клапана?
22. Каким образом обеспечивается герметичность в месте посадки тарели и седла?
23. Как влияет величина управляющего давления в клапане на его

габариты и массу?

24. В чем трудность обеспечения работоспособности клапанов, работающих в магистрали криогенных компонентов?

25. Какая зависимость называется гидравлической характеристикой клапана?

26. Какие динамические нагрузки могут действовать на элементы клапана при работе?

27. Какие элементы клапана многократного срабатывания могут ограничивать число срабатываний?

28. В чем преимущества фланцевого соединения по сравнению с соединениями с накидной гайкой и при каких условиях они проявляются?

29. Почему при нагружении соединения внутренним давлением усилие сжатия прокладки, как правило, уменьшается?

30. Как следует понимать понятие "самоуплотнение" применительно к неподвижным соединениям?

31. Как происходит самоуплотнение при использовании резиновых прокладок (колец) круглого сечения?

32. Через какие элементы соединения замыкается усилие затяжки болтов при контактирующих фланцах?

33. В каком соединении (с неконтактирующими или контактирующими фланцами) релаксация напряжений в болтах будет сказываться на его герметичности?

34. Исходя из каких соображений назначается усилие затяжки болтов?

35. Исходя из каких соображений назначается число и диаметр болтов?

36. Какой вид деформации возникает в месте соединения фланца и втулки (трубы)?

37. Почему рекомендуется иметь минимальный диаметр фланцевого соединения?

38. Почему конструирование фланцевого соединения должно сопровождаться расчетами на прочность?

39. Какие факторы влияют на компоновку ЖРД?

40. На базе каких несущих элементов двигателя формируется компоновка ЖРД?

41. Какие преимущества и недостатки имеет подвод компонентов топлива к камере через сильфоны?

42. Как необходимо располагать сильфоны, чтобы их деформация была меньше при качании камеры?

43. Перечислите, какие функции могут выполнять сильфоны в трубопроводной системе?

44. Какие меры необходимо предпринимать для снижения температурных напряжений в элементах двигателя?

45. Какие агрегаты являются основными источниками вибрации в ЖРД?

46. Как обеспечивается вибропрочность элементов двигателя?

47. Обеспечение конфиденциальности информации и выполнение международных обязательств по контролю за нераспространением

ракетно-ядерного оружия

48. Комплекс мер, включающий в себя контроль над ядерным вооружением

49. История идей разоружения

50. Практическая реализация идей разоружения

51. Проблематике международно-правового контроля ядерного вооружения

### **7.2.5 Примерный перечень вопросов для подготовки к экзамену**

1. Особенности выбора проектных решений и конструкций агрегатов с учетом свойств компонентов, применяемых в ЖРД (агрессивность, криогеника).

2. Методология разработки и аттестации агрегатов ДУ.

3. Краткие сведения о материалах, применяемых для изготовления агрегатов, специальных покрытиях.

4. Рабочие тела пневмогазовых систем.

5. Типовые варианты узлов, апробированные в процессах отработки реальных двигателей.

6. Посадки, подбор материалов, чистота обработки, методы стабилизации размеров сопрягаемых деталей.

7. Варианты седел и клапанов, материалы для деталей уплотнительных узлов.

8. Классификация клапанных агрегатов, дополнительные требования, предъявляемые к агрегатам.

9. Схемы клапанов принудительного и автоматического действия.

10. Методология выбора проектного решения по схеме и конструкции агрегата.

11. Конструкторские решения по основным узлам клапанов: седлам, клапанам, замкам, силовым приводам, распределительным устройствам, демпферам.

12. Вентили с ручным и электрическим приводом, схемы.

13. Быстродействующие газовые клапаны, электропневмоклапаны (ЭПК) и пироклапаны.

14. Основные узлы регуляторов: чувствительные элементы, узлы исполнительных органов, пары типа "шток-направляющая".

15. Решения, обеспечивающие минимизацию гидравлического сопротивления проточной части клапана. Типы уплотнительных элементов силового привода (резиновые кольца различных сечений, манжеты).

16. Материалы, используемые для изготовления основных деталей клапанов

17. Классификация, дополнительные требования, предъявляемые к регуляторам. Схемы регуляторов прямого действия и с усилением.

18. Требования, предъявляемые к газовым клапанам ЖРД, их классификация.

19. Редукторы и регуляторы постоянства давления (РПД).

20. Схемы различных типов газовых редукторов ЖРД.
21. Основные узлы, детали, определяющие работоспособность газовых регуляторов.
22. Особенности конструкций РПД, работающих на "холодном" и "подогретых" газах, а также "горячих" продуктах сгорания твердого топлива
23. Расчет проходных сечений. Усилия, определяемые в зависимости от схемы силового привода.
24. Расчет усилий герметизации, удельные нагрузки герметизации. Расчет усилия уплотнения, зависимости для определения удельной нагрузки герметизации. Расчет потерь на трение.
25. Типы чувствительных элементов, используемых в регуляторах всех возможных схем.
26. Расчет характеристик и прочности мембран всех видов и сильфонных узлов. Конструктивное исполнение пружинного узла.
27. Расчет прочности элементов узлов
28. Методология отработки и испытаний агрегатов автоматики и регулирования.
29. Автономные испытания агрегатов и роль испытаний агрегатов в составе ДУ.
30. Основные позиции ПОН агрегатов, подтверждающие требуемые уровни надежности и работоспособности. Ускоренные испытания.
31. Состояние и тенденции распространения ядерного оружия в мире
32. Международно-правовая база в сфере ядерного нераспространения
33. Предложения по международно-правовому регулированию предотвращения размещения оружия в космосе
34. Международно-правовое регулирование военного использования космоса
35. Оценка опасности милитаризации космического пространства
36. Существующие международные договоренности по военному использованию космоса
37. Военно-космическая деятельность, не регулируемая международными договоренностями
38. Договор между СССР и США о ликвидации их ракет средней дальности и меньшей дальности (РСМД) - первый в истории международный договор в области реального ядерного разоружения
39. Переговорный процесс по ограничению и сокращению стратегических ядерных вооружений США и России.

#### **7.2.6. Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации**

Зачет проводится по тест-билетам, каждый из которых содержит 1 вопрос, одну стандартную и одну прикладную задачу. Каждый пункт в билете оценивается 12 баллами. Максимальное количество набранных баллов – 36.

1. Оценка «Не зачтено» ставится в случае, если студент набрал менее 24 баллов.

2. Оценка «Зачтено» ставится в случае, если студент набрал от 24 до 36 баллов.

Экзамен проводится по тест-билетам, каждый из которых содержит 1 вопрос, одну стандартную и одну прикладную задачу. Каждый пункт в билете оценивается 12 баллами. Максимальное количество набранных баллов – 36.

1. Оценка «Неудовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал менее 11 баллов.

2. Оценка «Удовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал от 12 до 18 баллов .

3. Оценка «Хорошо» ставится в случае, если студент набрал от 19 до 26 баллов.

4. Оценка «Отлично» ставится, если студент набрал от 27 до 36 баллов.

### **7.2.7 Паспорт оценочных материалов**

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1	Основы системного анализа технических систем	ПК-4	Тест, защита лабораторных работ, требования к курсовому проекту
2	Приёмы и методы решения технических задач	ПК-4	Тест, защита лабораторных работ, требования к курсовому проекту
3	Элементы гидравлического тракта ЖРД и их характеристики	ПК-4	Тест, защита лабораторных работ, требования к курсовому проекту
4	Общие сведения по проектированию агрегатов	ПК-4	Тест, защита лабораторных работ, требования к курсовому проекту
5	Основные схемы агрегатов ЖРД	ПК-4	Тест, защита лабораторных работ, требования к курсовому проекту
6	Конструкция и расчёт основных агрегатов ЖРД	ПК-4	Тест, защита лабораторных работ, требования к курсовому проекту

### **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 45 мин. Затем осуществляется проверка теста экзаменатором и выставляется оценка согласно методики выставления оценки 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, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение прикладных 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, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Защита курсового проекта осуществляется согласно требованиям, 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**

1. Гуртовой А.А., Скоморохов Г.И., Шматов Д.П. Расчет и конструирование агрегатов ЖРД: учеб. пособие//[Электронный ресурс] – Электрон. текстовые и граф. данные (1,67 Мб). – Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», 2016. 166 с.

2. Ревенков А.В., Резчиков Е.В. Теория и практика решения технических задач: учеб. пособие. – М.: ФОРУМ, 2008. – 384 с.

3. Бабкин А.И., Добровольский М.В. Жидкостные ракетные двигатели. Основы проектирования. - М.: Машиностроение, 2010.

4. Гахун Г.Г. Конструкция и проектирование жидкостных ракетных двигателей: Учебник для студентов вузов по специальности "Авиационные двигатели и энергетические установки" / Г.Г. Гахун, В.И. Баулин, В.А. Володин и др.; Под общ. ред. Г.Г. Гахуна. - М.: Машиностроение, 1989. - 424 с.

5. Михайлов В.А., Андреев В.Д., Желтов В.П. и др. Основы теории систем и решения творческих технических задач: Чебоксары: Изд-во Чуваш. Ун-та, 2012. 388 с.

6. Михайлов В.А., Горев П.М., Утёмов В.В. Научное творчество: Методы конструирования новых идей: Учебное пособие. - Киров: Изд-во МЦИТО, 2014. - 94 с.

7. Иванов А.В., Скоморохов Г.И. САПР жидкостных ракетных двигателей: учеб. Пособие. - Воронеж: ГОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2010. – 206с. 2010

8. Скоморохов Г.И., Гуртовой А.А. Методические указания к практическим занятиям и курсовой работе по дисциплине «Конструирование агрегатов ЖРД» для студентов специальности 24.05.02 «Ракетные двигатели» очной формы обучения /ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет»; сост. Г.И. Скоморохов. Воронеж, 2015. 34 с.

9. Методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Конструирование агрегатов ЖРД» для студентов направления подготовки 24.05.02 «Проектирование авиационных и ракетных двигателей», профиль подготовки – «Проектирование жидкостных ракетных двигателей» очной формы обучения / Г.И. Скоморохов, Д.П. Шматов, А.А. Гуртовой / [Электронный ресурс] – Электрон. текстовые и граф. данные (1,72 Мб). – Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», 2017. 48 с.

10. Методические указания к выполнению самостоятельных работ по дисциплине «Конструирование агрегатов жидкостных ракетных двигателей» для студентов специальности 24.05.02 «Проектирование авиационных и ракетных двигателей» (специализация «Проектирование жидкостных ракетных двигателей») очной формы обучения / ФГБОУ ВО "Воронежский государственный технический университет"; сост.: А. А. Гуртовой, Д. П. Шматов, И. Г. Дроздов, Ю. В. Демьяненко. - Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2021. - 23 с. [Электронный ресурс].

**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:**

1. Microsoft Win Pro 10
2. Acrobat Pro 2017
3. NX Academic
4. 7 zip
5. Google Chrome
6. LibreOffice
7. Mozilla Firefox
8. Компас-3D
9. OpenOffice
10. <http://www.edu.ru/> - образовательный портал ВГТУ
11. <http://window.edu.ru>, <https://wiki.cchgeu.ru> - информационные справочные системы
12. [elibrary.ru](http://elibrary.ru)
13. <http://vipbook.info> - электронная библиотека
14. [www.iprbookshop.ru](http://www.iprbookshop.ru) – электронная библиотека

## **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.

Используются испытательные стенды базового предприятия, макеты деталей и агрегатов систем автоматического регулирования, приборы для технических измерений, атлас конструкций агрегатов и элементов САР базового предприятия.

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

По дисциплине «Конструирование агрегатов жидкостных ракетных двигателей» читаются лекции, проводятся практические занятия и лабораторные работы, выполняется курсовой проект.

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 и конструирования агрегатов автоматики и регулирования сложных технических систем. 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 курсового проекта изложена в учебно-методическом пособии. Выполнять этапы курсового проекта необходимо своевременно и в установленные сроки.

Контроль усвоения материала дисциплины производится проверкой курсового проекта, защитой курсового проекта.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать 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: - 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 зачетом, экзаменом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.