


**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

«Пневмогидравлические схемы 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



/ А.Ф. Ефимочкин /

Заведующий кафедрой
Ракетных двигателей



/ В.С. Рачук /

Руководитель ОПОП



/ В.С. Рачук /

Воронеж 2023

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели дисциплины - дать студентам знания в области проектирования ПГС ЖРД в объеме, необходимом для работы в конструкторском бюро при создании новых изделий ракетно-космической техники.

1.2. Задачи освоения дисциплины – изучение принципов работы ЖРД и его агрегатов; классификации принципиальных ПГС ЖРД; этапы проектирования ПГС; критерии оптимизации ПГС; методы расчета параметров ПГС; особенности работы элементов ПГС ЖРД на переходных режимах; типовые ПГС ранее созданных ЖРД в России и за рубежом; направления развития и совершенствования ПГС ЖРД.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

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

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Пнеumoгидравлические схемы 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	<p>Знать теорию и расчетные методики по проектированию жидкостных ракетных двигателей; основные виды жидких ракетных топлив; основные характеристики рабочих процессов в ЖРД; виды ЖРДУ и их назначение в составе летательного аппарата; основы автоматического управления и принципы регулирования ЖРД; методы проектирования технологических процессов производства ракетных двигателей; методы испытаний и отработки ЖРД</p> <p>Уметь формулировать и обосновывать основные требования, предъявляемые к ЖРД, их параметрам, системам и основным узлам; анализировать и объяснять принятые схемные решения с учетом условий эксплуатации ЖРД на</p>

	летательных аппаратах; предвидеть последствия влияния различных эксплуатационных факторов на работу и техническое состояние ЖРД и их систем
	Владеть методами оптимизации основных параметров ЖРД; методами разработки конкретных ПГС ЖРД; методами разработки технических заданий на создание агрегатов, комплектующих двигателей; методами выполнения расчетов потребных напоров насосов, мощностей турбин и насосов, гидравлических сопротивлений в трубах и агрегатах ЖРД; методами анализа влияния различных эксплуатационных факторов на технический облик двигателей
ПК-2	Знать способы и методики задания требований к агрегатам ЖРД при проектировании; методы и типовые методики расчета общедвигательных параметров
	Уметь формулировать и обосновывать основные требования, предъявляемые к ЖРД, их параметрам, системам и основным узлам; анализировать и объяснять принятые схемные решения с учетом условий эксплуатации ЖРД на летательных аппаратах; предвидеть последствия влияния различных эксплуатационных факторов на работу и техническое состояние ЖРД и их систем
	Владеть способностью проводить научное обоснование срока эксплуатации изделий с жидкостными ракетными двигателями

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Пневмогидравлические схемы жидкостных ракетных двигателей» составляет 3 з.е.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий
очная форма обучения

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		10
Аудиторные занятия (всего)	54	54
В том числе:		
Лекции	18	18
Практические занятия (ПЗ)	18	18
Лабораторные работы (ЛР)	18	18
Самостоятельная работа	54	54
Виды промежуточной аттестации - зачет	+	+

Общая трудоемкость: академические часы зач.ед.	108 3	108 3
--	----------	----------

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	Особенности проектирования принципиальных схем ЖРД	Общие сведения о ЖРД. Основные функции ЖРД в системе ракетного аппарата. Техническое задание на разработку двигателя. Условия работы. Компоненты топлива. Условия транспортирования и хранения. Внешние нагрузки. Требования по надежности, ресурсу и безопасности. Сроки и стоимость создания двигателя. Классификация схем ЖРД. Этапы проектирования. Мировой опыт проектирования ПГС ЖРД. Критерии оптимизации ПГС. Баллистические эквиваленты. Энерго-массовые показатели. Выбор вариантов ПГС для сравнительного анализа. Предварительный расчет ПГС. Выбор оптимального варианта ПГС. Заключительный этап проектирования ПГС.	4	2	4	8	18
2	Методика предварительного расчета принципиальной схемы двигателя	Расчет ПГС для номинального режима работы двигателя. Система уравнений. Методы решения.	4	2	4	8	18
3	Методика расчета принципиальной схемы для крайних условий эксплуатации двигателя	Подготовка дополнительных исходных данных. Характеристики агрегатов. Методика расчета параметров ПГС на режимах форсирования и дросселирования двигателя по тяге. Методика расчета параметров ПГС на режимах форсирования и дросселирования двигателя по соотношению компонентов топлива. Подготовка данных для расчета кавитационных запасов насосов. Подготовка данных для расчета охлаждения камеры сгорания. Подготовка данных для расчета агрегатов двигателя на прочность.	4	2	4	8	18
4	Методика расчета коэффициентов влияния факторов на параметры двигателя	Внешние и внутренние факторы. Система.	2	4	2	10	18
5	Методика расчета изменения параметров ПГС на переходных режимах	Система нелинейных дифференциальных и алгебраических уравнений. Методы решения.	2	4	2	10	18
6	Требования, задаваемые к агрегатам двигателя	Состав и содержание технического задания на проектирование агрегатов, комплектующих двигателя.	2	4	2	10	18
Итого			18	18	18	54	108

5.2 Перечень лабораторных работ

№1,2. Предварительный расчет принципиальной схемы двигателя.

№3. Расчет принципиальной схемы для крайних условий эксплуатации

ЖРД

№4. Расчет параметров ЖРД

№5. Расчет параметров ЖРД и форсирования на режимах форсирования и дросселирования.

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

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины не предусматривает выполнение курсового проекта (работы) или контрольной работы.

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 теорию и расчетные методики по проектированию жидкостных ракетных двигателей; основные виды жидких ракетных топлив; основные характеристики рабочих процессов в ЖРД; виды ЖРДУ и их назначение в составе летательного аппарата; основы автоматического управления и принципы регулирования ЖРД; методы проектирования технологических процессов производства ракетных двигателей; методы испытаний и отработки ЖРД	Опрос на практических занятиях (ОПЗ) Оценивание результатов выполнения заданий практических занятий (ОРПЗ) Тестирование (Т)	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Уметь формулировать и обосновывать основные требования, предъявляемые к ЖРД, их параметрам, системам и основным узлам; анализировать и объяснять принятые схемные решения с учетом условий эксплуатации ЖРД на летательных аппаратах; предвидеть последствия влияния различных эксплуатационных факторов на работу и техническое состояние ЖРД и их систем	Опрос на практических занятиях (ОПЗ) Оценивание результатов выполнения заданий практических занятий (ОРПЗ) Тестирование (Т)	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

	Владеть методами оптимизации основных параметров ЖРД; методами разработки конкретных ПГС ЖРД; методами разработки технических заданий на создание агрегатов, комплектующих двигателей; методами выполнения расчетов потребных напоров насосов, мощностей турбин и насосов, гидравлических сопротивлений в трубах и агрегатах ЖРД; методами анализа влияния различных эксплуатационных факторов на технический облик двигателей	Опрос на практических занятиях (ОПЗ) Оценивание результатов выполнения заданий практических занятий (ОРПЗ) Тестирование (Т)	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ПК-2	Знать способы и методики задания требований к агрегатам ЖРД при проектировании; методы и типовые методики расчета общедвигательных параметров	Опрос на практических занятиях (ОПЗ) Оценивание результатов выполнения заданий практических занятий (ОРПЗ) Тестирование (Т)	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Уметь формулировать и обосновывать основные требования, предъявляемые к ЖРД, их параметрам, системам и основным узлам; анализировать и объяснять принятые схемные решения с учетом условий эксплуатации ЖРД на летательных аппаратах; предвидеть последствия влияния различных эксплуатационных факторов на работу и техническое состояние ЖРД и их систем	Опрос на практических занятиях (ОПЗ) Оценивание результатов выполнения заданий практических занятий (ОРПЗ) Тестирование (Т)	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Владеть способностью проводить научное обоснование срока эксплуатации изделий с жидкостными ракетными двигателями	Опрос на практических занятиях (ОПЗ) Оценивание результатов выполнения заданий практических занятий (ОРПЗ) Тестирование (Т)	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 10 семестре для очной формы обучения по двухбалльной системе:

«зачтено»

«не зачтено»

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Зачтено	Не зачтено
ПК-4	Знать теорию и расчетные методики по проектированию жидкостных ракетных двигателей; основные виды жидких ракетных топлив; основные характеристики рабочих процессов в ЖРД; виды ЖРДУ и их назначение в составе летательного аппарата; основы автоматического управления и принципы регулирования ЖРД; методы проектирования технологических процессов производства ракетных двигателей; методы испытаний и отработки ЖРД	Тест	Выполнение теста на 70-100%	Выполнение менее 70%
	Уметь формулировать и обосновывать основные требования, предъявляемые к ЖРД, их параметрам, системам и основным узлам; анализировать и объяснять принятые схемные решения с учетом условий эксплуатации ЖРД на летательных аппаратах; предвидеть последствия влияния различных эксплуатационных факторов на работу и техническое состояние ЖРД и их систем	Решение стандартных практических задач	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	Владеть методами оптимизации основных параметров ЖРД; методами разработки конкретных ПГС ЖРД; методами разработки технических заданий на создание агрегатов, комплектующих двигателей; методами выполнения расчетов потребных напоров насосов, мощностей турбин и насосов, гидравлических сопротивлений в трубах и агрегатах ЖРД; методами анализа влияния различных эксплуатационных факторов на технический облик двигателей	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ПК-2	Знать способы и методики задания требований к агрегатам ЖРД при проектировании; методы и типовые методики расчета общедвигательных параметров.	Тест	Выполнение теста на 70-100%	Выполнение менее 70%
	Уметь формулировать и обосновывать основные требования, предъявляемые к	Решение стандартных практических задач	Продемонстрирован верный ход решения в	Задачи не решены

	ЖРД, их параметрам, системам и основным узлам; анализировать и объяснять принятые схемные решения с учетом условий эксплуатации ЖРД на летательных аппаратах; предвидеть последствия влияния различных эксплуатационных факторов на работу и техническое состояние ЖРД и их систем.		большинстве задач	
	Владеть способностью проводить научное обоснование срока эксплуатации изделий с жидкостными ракетными двигателями	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

7.2 Примерный перечень оценочных средств (типичные 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. Удельный расход топлива – это:

- а) Количества топлива в килограммах расхода на 1 кгс тяги в минуту;
- б) Количества топлива в килограммах расхода на 1 кгс тяги в час;
- в) Количества топлива в килограммах расхода на 1 кгс тяги в секунду;
- г) Количества топлива в килограммах расхода на 1 кгс тяги в день.

2. Отличительные особенности жидкостных ракетных двигателей:

- а) автономность;
- б) независимость тяги от скорости движения аппарата;
- в) ограниченное время работы;
- г) все перечисленные варианты.

3. Основными факторами, влияющими на величину тяги ракетного двигателя, являются:

- а) массовый расход топлива;
- б) скорость истечения рабочего тела из сопла;
- в) все перечисленные варианты.

4. Конкретное распределение давления по наружной поверхности камеры зависит:

- а) от компоновки двигателя на ЛА;
- б) формы кормовой части аппарата;
- в) скорости и высоты полёта;
- г) скорости и высоты полёта;
- д) угла тангажа (атаки);
- е) траектории полёта;
- ж) все перечисленные варианты;
- з) нет правильного ответа.

5. Удельный импульс тяги камеры представляет собой:

- а) отношение тяги, развиваемой камерой, к массовому расходу рабочего тела или топлива через камеру;
- б) отношение массового расхода рабочего тела к тяге, развиваемой камерой.

6. Основными массовыми характеристиками летательного аппарата (ракеты) являются:

- а) массовое число;
- б) число Циолковского;
- в) относительная масса топлива, запасённого на аппарате;
- г) коэффициент конструктивного совершенства аппарата.

7. Термодинамическими характеристиками являются:

- а) химический состав рабочего тела, его термодинамические и теплофизические свойства;
- б) удельные параметры камеры;
- в) параметры потока: температура, давление, скорость;
- г) все перечисленные варианты.

8. Рабочее тело, состоящее только из газов, называют:

- а) гомогенным;
- б) гетерогенным.

9. Сопло - это часть камеры ракетного двигателя, где:

- а) происходит преобразование тепловой и потенциальной энергии продуктов сгорания в кинетическую энергию вытекающей из сопла струи газов;
- б) происходит преобразование тепловой и кинетической энергии продуктов сгорания в потенциальную энергию вытекающей из сопла струи газов.

10. ПГС включает в себя следующие комплексные системы:

- а) топливная система;
- б) система заправки;
- в) система предварительного наддува;
- г) система основного наддува;
- д) система пневмоуправления агрегатами;
- е) система регулирования кажущейся скорости;
- ж) одновременного опорожнения баков;
- з) все перечисленные варианты.

7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

1. На сколько изменится высота подъема одноступенчатой метеорологической ракеты при вертикальном взлете, если увеличить плотность топлива в 2 раза при сохранении всех остальных параметров ракеты и двигателя (сопротивлением воздуха пренебречь)?
2. На ракету установили модернизированный двигатель, который по сравнению с прежним имеет более высокий удельный импульс – на 40 м/с и большую массу – на 110 кг. Определить, на сколько кг можно увеличить (уменьшить) полезную нагрузку ракеты, если оставить ее летные характеристики неизменными. Исходные данные: $M_H = 100000$ кг, $M_K = 250000$ кг, $I_y = 3000$ м/с.
3. Какую тягу в пустоте создаст камера при $p_K = 100 \cdot 10^5$ Н/м², имеющая геометрические размеры $F_{кр} = 0,06$ м², $F_K = 6$, $F_a = 40$:

1. 0,6 МН;
2. 0,8 МН;
3. 1,1 МН;

4. 1,5 МН.

4. Определить потери удельного импульса, если при $P_n=10^5$ Па тяга составляла $P_{н-0} = 300\,000$ Н, расход $m = 100$ кг/с. Принять $J_{пт} = 3450$ м/с, $F_{а\,уд} = 24,5$ см² / (кг/с).

1. 4%;
2. 6%;
3. 8%;
4. 10%.

5. На коэффициент камеры ϕ_k оказывает влияние:

- 1 – потери, связанные с физической неполнотой сгорания топлива;
- 2 – потери через стенку камеры ДЛА на участке от докритического сечения до выходного сечения сопла;
- 3 – газодинамические потери, связанные с плохим качеством изготовления закритической части сопла;
- 4 – процессы рекомбинации продуктов сгорания в сопловом аппарате;
- 5 – продолжающееся догорание.

6. Сколько единиц удельного импульса (в м/с) прибавится при подъеме двигателя с параметрами $F_{кр} = 100$ см², $F_a/F_{кр} = 28,5$, $c^* = 1750$ м/с и $p_k=150 \cdot 10^5$ Па с уровня моря на высоту с атмосферным давлением $p_n=0,4 \cdot 10^5$ Па.

1. 17;
2. 35;
3. 200;
4. 300.

7. Сколько единиц тяги (в кН) прибавится при подъеме двигателя с параметрами $F_{кр} = 100$ см², $F_a/F_{кр} = 28,5$, $c^* = 1750$ м/с и $p_k=150 \cdot 10^5$ Па с уровня моря на высоту с атмосферным давлением $p_n=0,4 \cdot 10^5$ Па.

1. 17;
2. 35;
3. 200;
4. 300.

8. Дана дроссельная характеристика ЖРД с дорасширительным сопловым насадком. Построить график, отражающий изменение тяги, создаваемый дорасширительным насадком, в зависимости от давления в камере сгорания. Считать, что сопло и дорасширительный насадок – конические с углом раскрытия более 30°.

9. Каковы основные причины неполноты удельного импульса на земле ($\phi_{уд\,н-0} < 1$)?

1. Потери в камере сгорания из-за внешней среды;
2. Потери в сопле и потери из-за внешней среды;
3. Потери в камере сгорания и потери в сопле;
4. Только из-за внешней среды.

10. Величина числа M газового потока на входе в сопло идеального ДЛА определяются:

- 1 – длиной камеры сгорания;
- 2 – отношением диаметра камеры к диаметру критического сечению сопла;
- 3 – величиной расхода \dot{m} ;
- 4 – величиной давления на входе в сопло P_k^* ;
- 5 – величиной произведения RT_k^* .

7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1. Определить диаметр соплового аппарата, необходимый для обеспечения раскрутки насосов О и Г до 5000об/мин. Газ для раскрутки гелий.
2. Спроектировать фрагмент ПГС, состоящий из всасывающей магистрали с демпфером на входе в насос для снижения собственной частоты магистрали. Определить: $S_{пр}$ - (535721,9 Н/м); $F_{кр}$ - (0,0177 м²).
3. Спроектировать фрагмент ПГС от бака к насосу, с пусковым клапаном на входе в двигатель. Определить: Δt от открытия клапана (0,03 с); разницу массовых расходов Δm (327 м/с); давление гидроудара ΔP (217×106 Па).
4. Определить потерю давления на трение в цилиндрической части охлаждаемого тракта газогенератора. Тракт выполнен в виде кольцевого зазора величиной $\delta = 2$ мм, длиной $l = 500$ мм, диаметр внутренней окружности $D = 155$ мм. Расход охладителя $G = 10$ кг/сек, удельный вес $\gamma = 820$ кг/м³, кинематическая вязкость $\nu = 0,045$ см²/сек, температуру на участке считать постоянной.
5. Определить потребный напор на выходе из БТНА, который необходим для подачи топлива в количестве $G = 1180$ кг/час от бака к ТНА, если длина трубопровода $l = 5$ м, диаметр $D = 15$ мм, потребное давление на входе в ТНА $P_2 = 1,3$ кг/см², коэффициент вязкости $\nu = 0,045$ см²/сек, удельный вес $\gamma = 820$ кг/м³.
6. Рассчитать основные энергетические характеристики турбины ЖРД. Если потребная мощность от турбины 2МВт.

7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

1. Классификация принципиальных схем ЖРД по назначению.
2. Классификация принципиальных схем ЖРД по виду топлива.
3. Классификация принципиальных схем ЖРД по способу подачи топлива.
4. Классификация принципиальных схем ЖРД по способу поджига компонентов топлива.
5. Классификация принципиальных схем ЖРД по способу управления вектором тяги.
6. Классификация принципиальных схем ЖРД по способу образования рабочего тела турбины.
7. Классификация принципиальных схем ЖРД по способу использования рабочего тела после турбины.
8. Классификация принципиальных схем ЖРД по способу охлаждения камеры сгорания.
9. Классификация принципиальных схем ЖРД по способу использования охладителя после прохождения рубашки камеры сгорания.
10. Классификация принципиальных схем ЖРД по количеству камер сгорания.
11. Классификация принципиальных схем ЖРД по числу ТНА.
12. Классификация принципиальных схем ЖРД по видам преднасосов.
13. Классификация принципиальных схем ЖРД по видам вспомогательных функций для обслуживания борта ракеты.
14. Классификация принципиальных схем ЖРД по числу компонентов топлива.
15. Классификация принципиальных схем ЖРД по степени расширения сопла.
16. Классификация принципиальных схем ЖРД по принципу работы сопла.
17. Перечень основных агрегатов и систем ЖРД.

18. Влияние способа исполнения принципиальной схемы на основе параметров ЖРД.
19. Способы повышения удельного импульса тяги ЖРД с использованием схемных решений.
20. Способы уменьшения габаритов ЖРД.
21. Назначение и работа камеры сгорания.
22. Назначение и работа ТНА.
23. Назначение и работа газогенератора.
24. Назначение и работа системы управления ЖРД.
25. Система регулирования тягой. Схемные решения.
26. Система регулирования соотношением компонентов топлива. Схемные решения.
27. Система диагностики и аварийной защиты. Принципиальные решения.
28. Система технического обслуживания ЖРД многократного использования.
29. Этапы проектирования ПГС ЖРД.
30. Техническое задание на разработку двигателя. Влияние на выбор ПГС.
31. Выбор вариантов ПГС для сравнительного анализа.
32. Предварительный расчет ПГС.
33. Критерии оценки оптимальности ПГС.
34. Подготовка дополнительных исходных данных для расчета ПГС.
35. Расчет ПГС. Уравнения материального баланса по компонентам топлива.
36. Расчет ПГС. Уравнения баланса мощности ТНА.
37. Расчет ПГС. Уравнения баланса давлений.
38. Методика расчета режимов форсирования и дросселирования ЖРД по тяге.
39. Методика расчета режимов форсирования и дросселирования по соотношению компонентов топлива.
40. Подготовка данных для расчетов кавитационных запасов насосов.
41. Подготовка данных для расчетов охлаждения камеры.
42. Подготовка данных для расчетов на прочность агрегатов.
43. Расчет коэффициентов влияния внешних факторов на параметры двигателя.
44. Этапы работы ЖРД.
45. режим предстартовой подготовки ЖРД. Работа ПГС.
46. Предпламенные процессы в ЖРД. Работа ПГС.
47. Запуск двигателя. Работа ПГС.
48. Основной режим ЖРД. Работа ПГС.
49. Останов ЖРД. Работа ПГС.
50. Мероприятия по наземному техническому обслуживанию ЖРД. Использование элементов схемы двигателя.
51. методы расчета гидравлического сопротивления в элементах схемы ЖРД.
52. ЖРД с вытеснительной схемой подачи топлива. Возможные варианты исполнения ПГС. Преимущества и недостатки.
53. ЖРД без дожигания. Возможные варианты исполнения ПГС. Преимущества и недостатки.
54. ЖРД с дожиганием. Возможные варианты исполнения ПГС. Преимущества и недостатки.
55. Преимущества и недостатки ЖРД с восстановительным газогенератором.
56. Преимущества и недостатки ЖРД с окислительным газогенератором.
57. Трехкомпонентные ЖРД. Преимущества и недостатки. Особенности ПГС.
58. ЖРД с регулируемыми соплами. Преимущества и недостатки. Особенности ПГС.
59. Безгенераторные ЖРД. Преимущества и недостатки. Особенности ПГС.
60. Криогенные ЖРД. Преимущества и недостатки. Особенности ПГС.

61. ЖРД на высококипящих компонентах топлива. Преимущества и недостатки. Особенности ПГС.

62. Динамические процессы в элементах ПГС ЖРД. Особенности построения ПГС.

63. Кавитация в элементах системы ЖРД. Особенности построения ПГС.

64. Современные тенденции в развитии ЖРД и их принципиальных схем.

65. Примеры современных ЖРД из отечественной практики. Уровень реализованных параметров.

66. Примеры современных ЖРД из зарубежной практики. Уровень реализованных параметров.

67. Баллистические эквиваленты. Использование их при проектировании ПГС ЖРД.

7.2.5 Примерный перечень вопросов для подготовки к экзамену

Не предусмотрено учебным планом

7.2.6. Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

Зачет проводится по тест-билетам, каждый из которых содержит 5 вопросов и 2 задачи. Каждый правильный ответ на вопрос в тесте оценивается 1 баллом, решенная задача оценивается 1 баллом. Максимальное количество набранных баллов – 7.

Оценка «Не зачтено» ставится в случае, если студент набрал менее 4 баллов.

Оценка «Зачтено» ставится в случае, если студент набрал 4 и более баллов.

7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1	Особенности проектирования принципиальных схем ЖРД	ПК-4, ПК-2	Тест, устный опрос
2	Методика предварительного расчета принципиальной схемы двигателя	ПК-4, ПК-2	Тест, защита лабораторных работ
3	Методика расчета принципиальной схемы для крайних условий эксплуатации двигателя	ПК-4, ПК-2	Тест, защита лабораторных работ
4	Методика расчета коэффициентов влияния факторов на параметры двигателя	ПК-4, ПК-2	Тест, защита лабораторных работ
5	Методика расчета изменения параметров ПГС на переходных режимах.	ПК-4, ПК-2	Тест, защита лабораторных работ
6	Требования, задаваемые к агрегатам двигателя.	ПК-4, ПК-2	Тест, защита лабораторных работ

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 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.

8 УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ)

8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

1) Жидкостные ракетные двигатели. Основы проектирования: Учебник / М.В. Добровольский; под ред. Д.А. Ягодникова. – 2-е изд., пере-раб. И доп. – М.: МГТУ им. Баумана, 2006. – 488 с.

2) Проектирование принципиальных пневмогидравлических схем жидкостных ракетных двигателей: Учеб. пособие / А.Ф. Ефимочкин. - Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2010.-264 с.

3) Конструкция и проектирование ЖРД: учеб. пособие / Р.А. Бережинский, С.Г. Валухов, В.А. Коробченко. – Воронеж: ВГТУ, 2002.-168 с.

4) Проектирование принципиальных схем жидкостных ракетных двигателей. Учебное пособие / А.Н. Глушаков, А.Ф. Ефимочкин, Воронежский политехнический институт.1991

5) Основы теории и расчета жидкостных ракетных двигателей. Том 1. Васильев А.П., Кудрявцев В.М., 1993

6) Расчет охлаждения ЖРД с использованием электронных таблиц. Полянский А.Р., 2004

7) Теория ракетных двигателей А.И. Алемасов. – М.: Высшая школа, 1980, с.535

8) Жидкостные ракетные двигатели / Добровольский М.В. – М.: Машиностроение 2006

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
11. <http://window.edu.ru>, <https://wiki.cchgeu.ru> - информационные справочные системы
12. elibrary.ru
13. <http://vipbook.info> - электронная библиотека
14. www.iprbookshop.ru – электронная библиотека
15. <http://www.knigafund.ru> - Электронно-библиотечная система «КнигаФонд» - учебная и научная литература.

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.

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

По дисциплине «Пневмогидравлические схемы жидкостных ракетных двигателей» читаются лекции, проводятся практические занятия и лабораторные работы.

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 ПГС ЖРД. Занятия проводятся путем решения конкретных задач в аудитории.

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

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 удастся 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 зачетом 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			