

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ

Декан ФМАТ  В.И. Ряжских
«30» августа 2017 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины

«Конструирование камер жидкостных ракетных двигателей»

Специальность 24.05.02 ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВИАЦИОННЫХ И
РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Специализация №3 Проектирование жидкостных ракетных двигателей

Квалификация выпускника инженер

Нормативный период обучения 5 лет и 6 м.

Форма обучения очная

Год начала подготовки 2017

Автор программы



/ А.А. Гуртовой /

Заведующий кафедрой
Ракетных двигателей



/ В.С. Рачук /

Руководитель ОПОП



/ В.С. Рачук /

Воронеж 2017

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели дисциплины

- обеспечить высокую профессиональную подготовку инженеров-конструкторов в области практического применения основных идей и методов конструирования камер жидкостных ракетных двигателей.

1.2. Задачи освоения дисциплины

- овладение инженерными методами расчета камеры ЖРД;
- знакомство с методами расчета камер сгорания на термopрочность;
- освоение методологии расчета несущей способности оболочек камер сгорания и методик расчета охлаждения камеры сгорания.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Конструирование камер жидкостных ракетных двигателей» относится к дисциплинам базовой части блока Б1.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

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

ПК-1: способность принимать участие в работах по расчету и конструированию отдельных деталей и узлов двигателей и энергетических установок ЛА в соответствии с техническими заданиями и использованием стандартных средств автоматизации проектирования;

ПСК-3.1: способность рассчитывать и проектировать узлы и агрегаты системы подачи компонентов топлива в камеру сгорания ЖРД;

ПСК-3.2: способность выполнять расчеты статических и динамических характеристик рабочего процесса ЖРД, их узлов и элементов;

ПСК-3.3: способность выполнять термо-прочностные расчеты и осуществлять конструирование деталей, узлов и элементов ЖРД;

ПСК-3.4: способность разрабатывать эффективные системы охлаждения, обеспечивающие надежный режим работы теплонапряженных узлов и деталей жидкостных ракетных двигателей и энергетических установок, а также высокоэффективные теплообменные аппараты в составе жидкостных ракетных двигательных установок

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ПК-1	знать основные элементы камеры ЖРД; основные гипотезы, допущения, касающиеся свойств материала, геометрии, конструкции и особенностей нагружения корпуса камеры ЖРД
	уметь применять физико-математические методы моделирования и расчета при разработке камер ракетных двигателей

	<p>владеть навыками применения стандартных программных средств на базе физико-математических моделей применительно к задачам проектирования камер ЖРД</p>
ПСК-3.1	<p>знать теорию и расчетные методики по проектированию ДСЕ и камер жидкостных ракетных двигателей</p>
	<p>уметь рассчитывать и конструировать ДСЕ и камеры в целом</p>
	<p>владеть понятийным аппаратом разработки ДСЕ и камер ЖРД</p>
ПСК-3.2	<p>знать основные виды жидких ракетных топлив, их влияние на рабочие процессы в магистралях и агрегатах ЖРД</p>
	<p>уметь проводить расчеты статических и динамических характеристик камеры</p>
	<p>владеть инженерными методами расчета камеры ЖРД</p>
ПСК-3.3	<p>знать основные физические положения, законы механики и термодинамики, описывающие рабочий процесс в жидкостных ракетных двигателях</p>
	<p>уметь применять физико-математические методы моделирования и расчета при анализе рабочего процесса в жидкостных ракетных двигателях</p>
	<p>владеть навыками проведения тепловых и газо-динамических расчетов рабочего процесса в жидкостных ракетных двигателях</p>
ПСК-3.4	<p>знать теорию и расчетные методики по проектированию ЖРД; принципы регулирования ЖРД</p>
	<p>уметь применять компьютерные технологии для разработки ракетных двигателей и их отдельных узлов</p>
	<p>владеть методами математического моделирования ЖРД, их узлов и агрегатов с использованием информационных технологий</p>

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Конструирование камер жидкостных ракетных двигателей» составляет 4 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	72	72
Курсовой проект	+	+
Виды промежуточной аттестации - зачет с оценкой	+	зачет с оценкой
Общая трудоемкость: академические часы	144	144
зач.ед.	4	4

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	Введение. Группы агрегатов ЖРД	Основные группы агрегатов: горячие агрегаты, агрегаты системы питания, агрегаты системы управления и регулирования, агрегаты общей компоновки двигателя. Их основное назначение, роли в работе ЖРД. Порядок разработки агрегатов ЖРД. <u>Самостоятельное изучение.</u> Основные расчеты, выполняемые при проектировании агрегатов ЖРД. Значение конструкции в обеспечении экономичности и работоспособности агрегата	2	2	6	12	22
2	Камера ЖРД	Конструкция камеры ЖРД. Основные элементы камеры: камера сгорания, головка, сопло, подводящие и отводящие коллекторы. Виды охлаждения камер. Наружное охлаждение, виды охлаждающих трактов камер, тракты с оребрением. <u>Самостоятельное изучение.</u> Эффективность оребрения. Камеры с трубчатым охлаждением. Формы камер сгорания, их сравнение, преимущества и недостатки	2	2	6	12	22
3	Головки камер сгорания. Виды форсунок	Формы головок камер сгорания, их сравнительная характеристика, преимущества и недостатки. Однокомпонентные форсунок. Виды форсунок – струйные и центробежные, основные соотношения для определения характеристик форсунок и их расчет. Способы расположения однокомпонентных форсунок на головках камер сгорания.	2	2	6	12	22

		Двухкомпонентные форсунки. Внутреннее охлаждение, основные параметры, характеризующие его <u>Самостоятельное изучение.</u> Коллекторы подвода охладителя к камерам. Транспирационное охлаждение и охлаждение с использованием поясов завесы. Их сравнение и конструктивные схемы					
4	Газогенераторы, их виды и назначение	«Окислительные» и «восстановительные» генераторы. Основные параметры газогенераторов. Однокомпонентные генераторы – их схемы, конструкция, рабочие компоненты. Двухкомпонентные газогенераторы, одно и двухзонные генераторы, конструктивные схемы. Процессы, протекающие в камере сгорания: распыление, смесеобразование, воспламенение, горение. <u>Самостоятельное изучение.</u> Трехкомпонентные газогенераторы, их назначение. Режимы работы камеры и газогенератора	4	4	6	12	26
5	Общая схема и последовательность расчета камер сгорания и газогенераторов на прочность	Общая схема и последовательность расчета камер сгорания и газогенераторов на прочность. Режимы работы и действующие на конструкцию нагрузки. Местная прочность корпуса камеры <u>Самостоятельное изучение.</u> Основные гипотезы, допущения, касающиеся свойств материала, геометрии, конструкции и особенностей нагружения. Пример расчета камеры	4	4	6	12	26
6	Расчет несущей способности оболочек камер сгорания. Прочностные расчеты смесительной головки	Основные гипотезы, допущения, касающиеся свойств материала, геометрии, конструкции и особенностей нагружения. Общая несущая способность оболочек камеры. Общая постановка задачи. Основные гипотезы, допущения, касающиеся свойств материала, геометрии, конструкции и особенностей нагружения. <u>Самостоятельное изучение.</u> Напряженно-деформированное состояние форсуночного блока. Формы прогибов форсуночного днища. Основные соотношения для расчета несущей способности камер. Прочность наружного днища: эллиптическое днище, полусферическое днище, торосферическое днище	4	4	6	12	26
Итого			18	18	36	72	144

5.2 Перечень лабораторных работ

1. Исследование гидравлических характеристик камеры
2. Исследование характеристик теплопередачи камеры
3. Исследование прочностных характеристик камеры
4. Исследование габаритно-массовых характеристик камеры

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

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

Примерная тематика курсового проекта: «Конструирование камеры жидкостного ракетного двигателя».

Задачи, решаемые при выполнении курсового проекта:

- расчет стехиометрического соотношения компонентов топлива;
- проектирование проточной части сопла с конической сверхзвуковой частью и оптимальным по удельному импульсу углом и сопла с профилированной сверхзвуковой частью;
- расчет основных параметров двигателя и размеров камеры с профилированным соплом с учетом потерь;
- расчет и построение характеристик спроектированной камеры.

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-1	знать основные элементы камеры ЖРД; основные гипотезы, допущения, касающиеся свойств материала, геометрии, конструкции и особенностей нагружения корпуса камеры ЖРД	Тест	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь применять физико-математические методы моделирования и расчета при разработке камер ракетных двигателей	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть навыками применения стандартных программных средств на базе физико-математических моделей применительно к задачам проектирования камер ЖРД	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ПСК-3.1	знать теорию и расчетные методики по проектированию ДСЕ и камер жидкостных	Тест	Выполнение работ в срок, предусмотренный	Невыполнение работ в срок, предусмотренный

	ракетных двигателей		в рабочих программах	в рабочих программах
	уметь рассчитывать и конструировать ДСЕ и камеры в целом	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть понятийным аппаратом разработки ДСЕ и камер ЖРД	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ПСК-3.2	знать основные виды жидких ракетных топлив, их влияние на рабочие процессы в магистралях и агрегатах ЖРД	Тест	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь проводить расчеты статических и динамических характеристик камеры	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть инженерными методами расчета камеры ЖРД	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ПСК-3.3	знать основные физические положения, законы механики и термодинамики, описывающие рабочий процесс в жидкостных ракетных двигателях	Тест	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь применять физико-математические методы моделирования и расчета при анализе рабочего процесса в жидкостных ракетных двигателях	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть навыками проведения тепловых и газо-динамических расчетов рабочего процесса в жидкостных ракетных двигателях	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ПСК-3.4	знать теорию и расчетные методики по проектированию ЖРД; принципы регулирования ЖРД	Тест	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь применять компьютерные технологии для разработки ракетных двигателей и их отдельных узлов	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть методами математического моделирования ЖРД, их узлов и агрегатов с использованием информационных технологий	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-1	знать основные элементы камеры ЖРД; основные гипотезы, допущения, касающиеся свойств материала, геометрии, конструкции и особенностей нагружения корпуса камеры ЖРД	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	уметь применять физико-математические методы моделирования и расчета при разработке камер ракетных двигателей	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
	владеть навыками применения стандартных программных средств на базе физико-математических моделей применительно к задачам проектирования камер ЖРД	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
ПСК-3.1	знать теорию и расчетные методики по проектированию ДСЕ и камер жидкостных ракетных двигателей	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	уметь рассчитывать и конструировать ДСЕ и камеры в целом	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
	владеть понятийным аппаратом разработки ДСЕ и камер ЖРД	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

ПСК-3.2	знать основные виды жидких ракетных топлив, их влияние на рабочие процессы в магистралях и агрегатах ЖРД	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	уметь проводить расчеты статических и динамических характеристик камеры	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
	владеть инженерными методами расчета камеры ЖРД	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
ПСК-3.3	знать основные физические положения, законы механики и термодинамики, описывающие рабочий процесс в жидкостных ракетных двигателях	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	уметь применять физико-математические методы моделирования и расчета при анализе рабочего процесса в жидкостных ракетных двигателях	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
	владеть навыками проведения тепловых и газо-динамических 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
ПСК-3.4	знать теорию и расчетные методики по проектированию ЖРД; принципы регулирования ЖРД	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	уметь применять компьютерные технологии для разработки ракетных двигателей и их отдельных узлов	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	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

			задачах		
владеть методами математического моделирования ЖРД, их узлов и агрегатов с использованием информационных технологий	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 (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. Каким образом обычно достигается плавный запуск ЖРД?

- а) использованием регулирующих устройств в магистралях подачи топлива в камеру;
- б) путем плавного увеличения оборотов ТНА;
- в) изменением давления наддува баков;
- г) с помощью клапанов управления;
- д) с помощью регулятора оборотов ТНА.

2. Зачем применяется опережение подачи одного компонента относительно другого?

- а) для уменьшения заброса давления в камере;
- б) для лучшего воспламенения компонентов;
- в) для улучшения смесеобразования компонентов;
- г) все равно невозможно подать оба компонента одновременно;
- д) этого требует система автоматики.

3. Зачем применяется ступенчатый запуск?

- а) для того, чтобы не было заброса давления в камере;
- б) чтобы уменьшить инерционные силы в агрегатах двигателя;
- в) двигатель больших размеров невозможно сразу запустить;
- г) чтобы проверить произошло ли зажигание во всех камерах или двигателях при совместной работе;
- д) чтобы компонент успел заполнить все полости в магистралях.

4. Почему в восстановительном газогенераторе целесообразно делать опережение горючего?

- а) потому что горючего подается больше;
- б) потому что при опережении окислителя в какой-то момент $\alpha_{ок}=1$;
- в) потому что так легче обеспечить зажигание компонентов;
- г) потому что выполнить опережение горючего проще;
- д) потому что при таком опережении обеспечивается устойчивое

горение.

5. Почему невозможно выполнить идеальный запуск?

- а) в этом случае большие инерционные нагрузки;
- б) нет возможности мгновенно открыть клапаны;
- в) все процессы, включая горение, инерционны;
- г) нет возможности обеспечить по всему объему камеры;
- д) нет возможности мгновенно подать компоненты в камеру.

6. Зачем необходим предварительный наддув топливных баков при запуске ЖРД?

- а) для обеспечения устойчивости формы баков;
- б) для проверки работоспособности системы наддува;
- в) для обеспечения работы системы регулирования опорожнения баков;
- г) для обеспечения бескавитационной работы насосов ТНА;
- д) для проверки работы дренажных клапанов.

7. Зачем необходима операция "захолаживание магистралей"?

- а) чтобы обеспечить прочность деталей магистрали;
- б) чтобы получить необходимое агрегатное состояние компонентов при запуске;
- в) чтобы получить устойчивое горение в камере;
- г) чтобы получить устойчивое горение в газогенераторе;
- д) чтобы охлаждение магистрали было постепенным.

8. В чем основное преимущество зависимых (от двигателя) систем наддува баков?

- а) они не требуют баллона с газом для наддува;
- б) требуется меньше деталей арматуры;
- в) такие системы наддува более дешевы;
- г) в таких системах не нужен редуктор давления газа;
- д) в таких системах используется энергия топлива, что позволяет уменьшить массу системы.

9. В чем основное преимущество схемы с отдельными ТНА?

- а) упрощается управление двигателем;
- б) обеспечивается возможность получения различной частоты вращения насосам «О» и «Г»;
- в) уменьшается масса конструкции;
- г) не требуется сложное уплотнение между насосами «О» и «Г»;
- д) уменьшаются размеры турбины (меньше мощность).

10. Что может случиться, если не будет продувки магистрали запаздывающего компонента?

- а) не будет гарантировано обеспечено опережение заданного

компонента;

- б) не будет зажигания в заданный момент;
- в) возможен большой заброс давления в камере при зажигании;
- г) возможно не произойдет воспламенение компонентов;
- д) опережающий компонент может через форсунки попасть в полости запаздывающего и воспламениться там.

7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

1. Вычислить приращение идеальной скорости ракеты, если при модернизации массу ее конструкции уменьшили на 300 кг. Массовый эквивалент 8,55 (кг·с)/м, удельный импульс в пустоте 3500 м/с.

- а) 0,5%.
- б) 1,0%.
- в) 2,5%.
- г) 3,5%.

2. Какое давление в камере сгорания характерно для ЖРД с подачей компонентов а) вытеснительной; б) турбонасосной без дожигания; в) турбонасосной с дожиганием одного газа; г) турбонасосной с дожиганием двух газов?

- а) $(10...30)10^5$ Па.
- б) $(50...100)10^5$ Па.
- в) $(150...200)10^5$ Па.
- г) $(250...350)10^5$ Па.

3. Вычислить приращение идеальной скорости ракеты, если при модернизации увеличили удельный импульс на 60 м/с, но при этом масса конструкции возросла на 100 кг. Массовый эквивалент 10 (кг·с)/м; прежний удельный импульс в пустоте 3300 м/с.

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

4. При модернизации двигателя увеличили удельный импульс, но одновременно возросла и его масса. Как оценить конечный эффект?

- а) Сравнить новый удельный импульс с прежним.
- б) Сравнить новую массу с прежней.
- в) Сравнить одновременно новые значения импульса и массы двигателя с их прежними значениями.
- г) Определить эффективное изменение удельного импульса, введя массовый эквивалент.

5. На ракете не вырабатывается полностью топливо из баков. Как нагляднее оценить этот недостаток системы питания?

- а) Найти уменьшение времени работы двигателя.
- б) Найти уменьшение суммарного импульса.
- в) Найти соответствующее число единиц удельного импульса через массовый эквивалент.
- г) Найти новое значение относительной конечной массы ракеты.

6. 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.

7. 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%.

8. Какова мощность ракетного двигателя:

- кислород – углеводородного при $P_p = 10 \cdot 10^4$ Н, $K_p = 2$?

- а) $180 \cdot 10^3$ кВт.
- б) $150 \cdot 10^3$ кВт.
- в) $120 \cdot 10^3$ кВт.
- г) $90 \cdot 10^3$ кВт.

- кислородно – водородного при $P_p = 1$ МН, $K_p = 2$?

- а) $2,5 \cdot 10^6$ кВт.
- б) $2,2 \cdot 10^6$ кВт.
- в) $1,8 \cdot 10^6$ кВт.
- г) $1,5 \cdot 10^6$ кВт.

9. 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.

10. Какое соотношение скоростей при работе сопла на режиме $p_a > p_n$?

- а) $w_3 < w_a$.

- б) $w_3 = w_a$.
- в) $w_3 > w_a$.
- г) $w_3 = w_{\max}$.

7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1. Определить расход топлива ($O_2 + H_2$) поступающий в камеру при $p_k = 98 \cdot 10^5$ Па, если $\varepsilon_k = 0,88$, $F_{кр} = 100 \text{ см}^2$, потери в камере сгорания 2%.

- а) 80 кг/с.
- б) 60 кг/с.
- в) 40 кг/с.
- г) 20 кг/с.

2. Определить коэффициент $\varphi_{y\delta \cdot \Pi} = I_{\Pi} / I_{\Pi \cdot T}$ при теоретическом значении удельного импульса $I_{\Pi \cdot T} = 3400$ м/с, если при $p_n = 10^5$ Па тяга камеры

$P_{n=0} = 30000$ Н; расход $\dot{m} = 10$ кг/с; удельная площадь среза сопла $F_{a \cdot y\delta} = 0,0023 \frac{\text{м}^2}{\text{кг/с}}$.

- а) 0,98.
- б) 0,95.
- в) 0,92.
- г) 0,89

3. Определить потери удельного импульса, если при $p_n = 10^5$ Па тяга составляет $P_{n=0} = 30000$ Н; расход $\dot{m} = 100$ кг/с. Принять $I_{\Pi \cdot T} = 3450$ м/с, $F_{a \cdot y\delta} =$

$24,5 \frac{\text{см}^2}{\text{кг/с}}$.

- а) 4 %.
- б) 6 %.
- в) 8 %.
- г) 10 %.

4. Определить коэффициент $\varphi_{y\delta \cdot \Pi} = I_{\Pi} / I_{\Pi \cdot T}$ при $p_n = 10^5$ Па, если тяга составляет $P_{n=0} = 90000$ Н; расход $\dot{m} = 40$ кг/с. Известны $I_{\Pi \cdot T} = 3200$ м/с, $F_{a \cdot y\delta} =$

$0,007 \frac{\text{м}^2}{\text{кг/с}}$.

- а) 0,98.
- б) 0,94.
- в) 0,90.
- г) 0,86.

5. Какую тягу в пустоте создает камера при $p_{к2} = 100 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ имеющая геометрические размеры: $F_{\text{эд}} = 0,06 \text{ м}^2$; $\bar{F}_k \approx 6$; $\bar{F}_a \approx 40$?

- а) $\sim 0,6 \text{ МН}$.
- б) $\sim 0,8 \text{ МН}$.
- в) $\sim 1,1 \text{ МН}$.
- г) $\sim 1,5 \text{ МН}$.

6. Тяга камеры $P_{\text{п}} = 84 \cdot 10^4 \text{ Н}$, коэффициент тяги $K_{\text{п}} = 1,75$. Какую тягу создаст камера, если отнять сверхзвуковую часть сопла?

- а) $75 \cdot 10^4 \text{ Н}$.
- б) $60 \cdot 10^4 \text{ Н}$.
- в) $45 \cdot 10^4 \text{ Н}$.
- г) $30 \cdot 10^4 \text{ Н}$.

7. Тяга камеры $P_{\text{п}} = 1 \text{ МН}$, коэффициент тяги $K_{\text{п}} = 2,05$. Какой вклад даёт сверхзвуковая часть сопла?

- а) $\sim 0,3 \text{ МН}$.
- б) $\sim 0,4 \text{ МН}$.
- в) $\sim 0,5 \text{ МН}$.
- г) $\sim 0,6 \text{ МН}$.

8. В каком выражении для вычисления удельного импульса $I_{\text{Н}}$ имеется ошибка?

- а) $w_a + F_{a,yd} (p_a - p_H)$.
- б) $C_* K_{\text{п}} - C_* \bar{F}_a \cdot p_H / p_K \varepsilon_K$.
- в) $I_P \varphi_H$.
- г) $C_* K_{\text{п}} \varphi_H$.

9. Чему примерно равно теоретическое значение характеристической скорости C_* топлива азотный тетраксид и несимметричный диметилгидразин?

- а) 1500 м/с .
- б) 1750 м/с .
- в) 2000 м/с .
- г) 2250 м/с .

10. В камеру для достижения давления p_k подаётся расход азотной кислоты и керосина, равный \dot{m} . Какой надо назначить расход, если перейти на топливо кислород и углеводород?

- а) $0,7 \dot{m}$.

б) 0,85 м.

в) 1 м.

г) 1,15 м.

7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

1. Выбор и обоснование основных параметров, схемы двигателя и схемы охлаждения камеры сгорания.

2. Общие вопросы проектирования ЖРД. Этапы проектирования. Расчёты, порядок проведения расчётов. Составление принципиальной (структурной) схемы двигателя. Выбор способа охлаждения камеры сгорания.

3. Техническое задание.

4. Определение расхода компонентов и геометрических параметров камеры сгорания.

5. Расчёт расхода компонентов на камеру сгорания. Определение геометрических параметров камеры. Профилирование входной (дозвуковой) части сопла.

6. Профилирование выходной части сопла.

7. Смесеобразование и проектирование форсунок.

8. Общие положения и проектирование системы смесеобразования. Расчёт струйных форсунок. Расчёт центробежных форсунок.

9. Особенности расчёта двухкомпонентных форсунок с внешним смешением

10. Внутреннее охлаждение плёночными завесами.

11. Физические основы процесса и цели расчёта. Конструктивные рекомендации.

12. Основные расчётные зависимости.

13. Наружное охлаждение.

14. Протекание процессов, цели расчета. Геометрические характеристики межрубашечных каналов.

15. Конструктивные рекомендации.

16. Расчет тепловых потоков в камерах сгорания. Методика предварительного расчета охлаждения камеры сгорания.

17. Пересчетная методика определения конвективных тепловых потоков. Определение лучистых тепловых потоков. Предварительный расчет критического сечения.

18. Предварительный расчет охлаждения стальной части сопла

19. Прочностные расчеты, выполняемые для блока камеры.

20. Расчёт напряжений в оболочках камеры сгорания на рабочем режиме. Определение напряжений в оболочках камеры сгорания на режиме гидроопрессовки. Расчёт напряжений в оболочках камеры при работе материала в упруго-пластической области. Запас прочности оболочек камеры по несущей способности.

21. Расчёт оболочек камеры на динамическую прочность.

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 с оценкой проводится по тестам, каждый из которых содержит не более 40 вопросов, включая не более одной стандартной или одной прикладной задачи. Каждый пункт в тесте оценивается 1 баллом. Максимальное количество набранных баллов – 40.

1. Оценка «Неудовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал менее 20 баллов.

2. Оценка «Удовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал от 21 до 27 баллов.

3. Оценка «Хорошо» ставится в случае, если студент набрал от 28 до 33 баллов.

4. Оценка «Отлично» ставится, если студент набрал от 34 до 40 баллов.

7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1	Введение. Группы агрегатов ЖРД	ПК-1, ПСК-3.1, ПСК-3.2, ПСК-3.3, ПСК-3.4	Тест, защита лабораторных работ, требования к курсовому проекту
2	Камера ЖРД	ПК-1, ПСК-3.1, ПСК-3.2, ПСК-3.3, ПСК-3.4	Тест, защита лабораторных работ, требования к курсовому проекту
3	Головки камер сгорания. Виды форсунок	ПК-1, ПСК-3.1, ПСК-3.2, ПСК-3.3, ПСК-3.4	Тест, защита лабораторных работ, требования к курсовому проекту
4	Газогенераторы, их виды и назначение	ПК-1, ПСК-3.1, ПСК-3.2, ПСК-3.3, ПСК-3.4	Тест, защита лабораторных работ, требования к курсовому проекту
5	Общая схема и последовательность расчета камер сгорания и газогенераторов на прочность	ПК-1, ПСК-3.1, ПСК-3.2, ПСК-3.3, ПСК-3.4	Тест, защита лабораторных работ, требования к курсовому проекту
6	Расчет несущей способности оболочек камер сгорания. Прочностные расчеты смесительной головки	ПК-1, ПСК-3.1, ПСК-3.2, ПСК-3.3, ПСК-3.4	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 60 мин. Затем осуществляется

проверка теста 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. Ю.А. Булыгин, А.В. Кретинин, А.А. Гуртовой, М.И. Кирпичев Теплообмен в камерах сгорания энергетических установок. Учебное пособие / Ю.А. Булыгин, А.В. Кретинин, А.А. Гуртовой, М.И. Кирпичев – Воронеж: ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2014. 150 с.

2. М.В. Добровольский. Жидкостные ракетные двигатели. Основы проектирования : Учебник / под ред. Д.А. Ягодникова. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : МГТУ им.Баумана, 2006. - 488 с.

3. Г.И. Скоморохов, А.А. Гуртовой. Методические указания и контрольные задания к курсовому проекту по дисциплине «Конструирование камер жидкостных ракетных двигателей» специальности 160700.65, 24.05.02 «Проектирование авиационных и ракетных двигателей» очной формы обучения / ФГБОУ ВПО "Воронежский государственный технический университет"; сост. Г.И. Скоморохов, А.А. Гуртовой. Воронеж, 2015. 31 с. (411-2015).

4. Г.И. Скоморохов, А.А. Гуртовой Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Конструирование камер жидкостных ракетных двигателей» специальности 160700.65, 24.05.02 «Проектирование авиационных и ракетных двигателей» очной формы обучения / ФГБОУ ВПО "Воронежский государственный технический университет"; сост. Г.И. Скоморохов, А.А. Гуртовой. Воронеж, 2015. 53 с. (413-2015).

5. Г.И. Скоморохов, А.А. Гуртовой Методические указания к выполнению практических и самостоятельных работ по дисциплине «Конструирование камер жидкостных ракетных двигателей» специальности 160700.65, 24.05.02 «Проектирование авиационных и ракетных двигателей» очной формы обучения / ФГБОУ ВПО "Воронежский государственный технический университет"; сост. Г.И. Скоморохов, А.А. Гуртовой. Воронеж, 2015. 19 с. (410-2015)

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. <https://wiki.cchgeu.ru> - информационные справочные системы
12. elibrary.ru
13. <http://vipbook.info> - электронная библиотека
14. 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 сборочных единиц камер ЖРД, приборы для технических измерений, атлас конструкций деталей и сборочных единиц камер ЖРД, программные продукты базового предприятия.

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

По дисциплине «Конструирование камер 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 газодинамического и термодинамического расчета камер ракетных

двигателей. 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 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 с оценкой 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	Актуализирован раздел 8.2 в части состава используемого лицензионного программного обеспечения, современных профессиональных баз данных и справочных информационных систем	30.08.2018	
2	Актуализирован раздел 8.2 в части состава используемого лицензионного программного обеспечения, современных профессиональных баз данных и справочных информационных систем	31.08.2019	
3	Актуализирован раздел 8.2 в части состава используемого лицензионного программного обеспечения, современных профессиональных баз данных и справочных информационных систем	31.08.2020	
4	Актуализирован раздел 8.2 в части состава используемого лицензионного программного обеспечения, современных профессиональных баз данных и справочных информационных систем; раздел 7.2.6 в части методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации	31.08.2021	
5	Актуализирован раздел 8.2 в части состава используемого лицензионного программного обеспечения, современных профессиональных баз данных и справочных информационных систем	31.08.2022	
6	Актуализирован раздел 8.2 в части состава используемого лицензионного программного обеспечения, современных профессиональных баз данных и справочных информационных систем	31.08.2023	