

УТВЕРЖДАЮ  
Декан факультета

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

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ ПРОЕКТИРОВАНИЕ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ЖИДКОСТНЫХ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

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

КУРС	СЕМЕСТР	ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ (ЗАЧЕТНЫХ ЕДИНИЦ)	ЧАСЫ (по наличию видов занятий)									ВИД ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОНТРОЛЯ
			ОБЩАЯ ТРУДОЁМКОСТЬ	АУДИТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ				САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА				
				ВСЕГО	ЛЕКЦИИ	ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ	ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ	ВСЕГО	КУРСОВОЙ ПРОЕКТ	КУРСОВАЯ РАБОТА	ДРУГИЕ ВИДЫ САМОСТ. РАБОТЫ	
4	8	3	108	34	17	0	17	74	0	0	74	ЭКЗ.

*ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ*

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

**24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей**

год набора группы: 2024

Программу составил:

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

Киришина Алёна Андреевна, старший преподаватель

Программа рассмотрена  
на заседании кафедры-разработчика  
рабочей программы **А8 ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

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

Программа рассмотрена  
на заседании выпускающей кафедры

**А8 ДВИГАТЕЛИ И ЭНЕРГОУСТАНОВКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

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

# **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ЖИДКОСТНЫХ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

### **Разделы рабочей программы**

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

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

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

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ПСК-2 — способность разрабатывать эскизный (технический) проект (аванпроект) по созданию (модернизации) жидкостных ракетных двигателей и их составных элементов

Формированию компетенций служит достижение следующих результатов образования:

### **ПСК-2**

*знания:*

технические характеристики и конструктивные особенности жидкостного ракетного двигателя  
специальной научно-технической литературы по избранной тематике;

*умения:*

составлять пневмогидравлические схемы двигателей различного назначения  
обосновывать технические решения в области разработки жидкостных ракетных двигателей;  
применять теории и расчетные методики по проектированию жидкостных ракетных двигателей;

*навыки:*

проведения комплексного технического анализа для обоснованного принятия решения  
проведения расчетов и принятия конструктивных решений при проектировании жидкостных ракетных двигателей и жидкостных ракетных установок, их узлов и агрегатов.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина **ПРОЕКТИРОВАНИЕ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ЖИДКОСТНЫХ РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ** является дисциплиной **обязательной части блока 1** программы подготовки по направлению *24.05.02 Проектирование авиационных и ракетных двигателей*.

Содержание дисциплины является логическим продолжением дисциплин: **ОСНОВЫ УСТРОЙСТВА И ТЕОРИИ ДВИГАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК, РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТУРБОНАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ, РАСЧЁТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ КАМЕР РАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**.

Содержание дисциплины является основой для освоения дисциплин: **ПОДГОТОВКА К ПРОЦЕДУРЕ ЗАЩИТЫ И ЗАЩИТА ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ**.

Предварительные компетенции, сформированные у обучающегося до начала изучения дисциплины:

- ПСК-1 — Способен разрабатывать проектную и рабочую конструкторскую документацию на ракетно-космическую технику и их составные элементы
- ПСК-2 — Способен разрабатывать эскизный (технический) проект (аванпроект) по созданию (модернизации) жидкостных ракетных двигателей и их составных элементов
- ПСК-6 — Способен проводить поиск, систематизировать и анализировать информацию по конструктивным и схемным решениям существующей ракетно-космической техники и их элементов

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 з.е., 108 ч.

#### 3.1. Содержание (дидактика) дисциплины

КУРС	СЕМЕСТР	Наименование разделов и дидактических единиц	ВСЕГО	Аудиторные занятия в контактной форме			Самостоятельная работа студентов	Формируемая компетенция, %
				ВСЕГО	Лекции	Практические занятия		ПСК-2
4	8	<b>Раздел 1. Обоснование типа и выбор рабочих параметров двигательной установки.</b> Области применения и рекомендации по выбору системы подачи топлива. Выбор рабочих параметров двигательной установки. Рекомендации по составлению и выбору элементов пневмо-гидравлических схем двигательных установок. Формирование технического задания на проектирование агрегатов системы питания. Порядок расчёта схем ракетных двигателей. Массовые характеристики двигательной установки.	18	4	2	2	14	20
4	8	<b>Раздел 2. Системы подачи.</b> Цели и задачи проектирования систем подачи. Выбор конструктивной схемы системы подачи. Вытеснительные системы подачи. Нагнетательные системы подачи.	18	4	2	2	14	20
4	8	<b>Раздел 3. Проектирование камер.</b> Общая схема проектирования камеры ракетного двигателя. Выбор числа камер в двигательной установке. Приближенный расчёт ожидаемого расходного комплекса. Расчёт проходных сечений. Определение размеров камеры сгорания. Профилирование сопла. Компоновка и расчёт смесительных головок. Расчёт пристеночного слоя. Определение величин ожидаемого расходного комплекса, коэффициента потерь в сопле и ожидаемого тягового комплекса, ожидаемого значения удельного импульса. Массовые характеристики камеры двигателя. Расчёт камеры двигателя на прочность.	38	14	7	7	24	30
4	8	<b>Раздел 4. Расчёт наружного проточного охлаждения.</b> Условия и особенности теплообмена в РД. Основы расчёта стационарного теплообмена в РД. Методика расчёта стационарного теплообмена в РД.	34	12	6	6	22	30
<b>Всего за 8 семестр</b>			108	34	17	17	74	100
<b>Всего по дисциплине</b>			108	34	17	17	74	100

#### 3.2. Аудиторный практикум

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Тема практического занятия	Объем, ауд. часов
1	Раздел 1. Обоснование типа и выбор рабочих параметров двигательной установки.	Выбор рабочих параметров двигательной установки	1
2		Формирование технического задания на проектирование агрегатов системы питания	1
3	Раздел 2. Системы подачи.	Вытеснительные системы подачи.	1
4		Насосные системы подачи	1
5	Раздел 3. Проектирование камер.	Определение размеров камеры сгорания	1
6		Компоновка и расчёт смесительных головок	2
7		Профилирование сопла	2
8		Расчёт гидравлических сопротивлений	1
9		Расчёт прочности камеры ЖРД	1
10	Раздел 4. Расчёт наружного проточного охлаждения.	Расчёт наружного охлаждения жидкостного ракетного двигателя	6
<b>Всего за 8 семестр</b>			17

#### 3.3. Самостоятельная работа студента (СРС)

№ п/п	Номер и наименование раздела дисциплины	Содержание учебного задания	Объем, часов
1	Раздел 1. Обоснование типа и выбор рабочих параметров двигательной установки.	Обоснование типа и выбор рабочих параметров двигательной установки	14
2	Раздел 2. Системы подачи.	Системы подачи	14
3	Раздел 3. Проектирование камер.	Проектирование камер	24
4	Раздел 4. Расчёт наружного проточного	Расчёт наружного проточного	22

охлаждения.	охлаждения	
<b>Всего за 8 семестр</b>		<b>74</b>

#### 4. ФОРМЫ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

СЕМЕСТР	НЕДЕЛИ СЕМЕСТРА																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
<b>8</b>				Собес		ДР		Собес		ДР		Собес			Собес	ДР	

Условные обозначения:

- ДР – диагностическая работа;
- Собес – собеседование.

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

- диагностическая работа;
- собеседование.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- экзамен.

## 5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 5.1. Основная литература по дисциплине:

1. В. А. Пинчук. . Энергетический расчёт ЖРД с нагнетательными системами питания. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2018, 157 экз.
2. В. А. Пинчук, В. А. Сиротко. Основы проектирования двигателей летательных аппаратов. Ч. I Обоснование типа и выбор рабочих параметров двигательной установки. БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 1990, эл. рес.
3. В. А. Пинчук, В. А. Сиротко. Основы проектирования двигателей летательных аппаратов. Ч. I Обоснование типа и выбор рабочих параметров двигательной установки. БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 1990, 38 экз.
4. В. А. Пинчук, В. А. Сиротко. Обоснование типа и выбор рабочих параметров. БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 1990, 39 экз.
5. Г. Г. Гахун, В. И. Баулин, В. А. Володин. . Конструкция и проектирование жидкостных ракетных двигателей. М.: Машиностроение, 1989, 24 экз.
6. Е. М. Виноградов, Е. С. Потехин. Основы проектирования двигателей летательных аппаратов. Ч. II Система подачи. БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 1990, 47 экз.
7. Е. С. Потехин, Ю. Н. Филимонов. Основы проектирования двигателей летательных аппаратов. Ч. III Проектирование камер. БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 1990, 43 экз.
8. М. В. Добровольский. . Жидкостные ракетные двигатели. Основы проектирования. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016, эл. рес.
9. Ю. В. Анискевич, А. А. Левихин. . Основы устройства и теории ЖРД. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2016, 26 экз.
10. Ю. Н. Филимонов, В. Т. Шевчук. Основы проектирования двигателей летательных аппаратов. Ч. IV Расчёт наружного проточного охлаждения. БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 1990, 33 экз.
11. Ю. Н. Филимонов, Ю. В. Анискевич. Проектирование внутрикамерных процессов и охлаждение двигателей. СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2011, 30 экз.

### 5.2. Дополнительная литература по дисциплине:

не требуется.

### 5.3. Периодические издания:

не требуются.

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

1. <http://library.voenmeh.ru/jirbis2> — Фундаментальная библиотека БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова.

### Современные профессиональные базы данных:

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

### Информационные справочные системы:

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

### 5.5. Программное обеспечение:

не требуется.



#### 5.6. Информационные технологии:

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

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

### **6.1. Лекционные занятия:**

1. Проектор.

### **6.2. Практические занятия:**

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

### **6.3. Прочее:**

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

### Аннотация рабочей программы

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

Дисциплина нацелена на формирование *компетенций*:

ПСК-2 способность разрабатывать эскизный (технический) проект (аванпроект) по созданию (модернизации) жидкостных ракетных двигателей и их составных элементов.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с закономерностями создания аппаратов максимального тепловыделения при оптимальных геометрических и массовых характеристиках, а также обеспечения теплозащиты и охлаждения конструкции.

Программой дисциплины предусмотрены следующие **виды контроля**:

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

- диагностическая работа;
- собеседование.

**Промежуточная аттестация** проводится в формах:

- экзамен.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет **3 з.е., 108 ч.** Программой дисциплины предусмотрены лекционные занятия (**17 ч.**), практические занятия (**17 ч.**), самостоятельная работа студента (**74 ч.**).

## ТЕХНОЛОГИИ И ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

### Рекомендации по освоению дисциплины для студента

Трудоемкость освоения дисциплины составляет 108 ч., из них 34 ч. аудиторных занятий, и 74 ч., отведенных на самостоятельную работу студента.

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

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

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

Наименование работы	Рекомендуемая литература	Трудоемкость, час.
<b>Раздел 1. Обоснование типа и выбор рабочих параметров двигательной установки.</b>		
Обоснование типа и выбор рабочих параметров двигательной установки	В. А. Пинчук, В. А. Сиротко. Основы проектирования двигателей летательных аппаратов. Ч. I Обоснование типа и выбор рабочих параметров двигательной установки: БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 1990 (1.1-1.7) В. А. Пинчук. . Энергетический расчёт ЖРД с нагнетательными системами питания: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2018 (1, 2, 3) В. А. Пинчук, В. А. Сиротко. Основы проектирования двигателей летательных аппаратов. Ч. I Обоснование типа и выбор рабочих параметров двигательной установки: БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 1990 (1.1-1.7) В. А. Пинчук, В. А. Сиротко. Обоснование типа и выбор рабочих параметров: БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 1990 (1.1-1.7)	14
Итого по разделу 1		14
<b>Раздел 2. Системы подачи.</b>		
Системы подачи	Е. М. Виноградов, Е. С. Потехин. Основы проектирования двигателей летательных аппаратов. Ч. II Система подачи: БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 1990 (2.1-2.4)	14
Итого по разделу 2		14
<b>Раздел 3. Проектирование камер.</b>		
Проектирование камер	Г. Г. Гахун, В. И. Баулин, В. А. Володин. . Конструкция и проектирование жидкостных ракетных двигателей: М.: Машиностроение, 1989 (6.1 - 6.3) М. В. Добровольский. . Жидкостные ракетные двигатели. Основы проектирования: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016 (2, 4, 5) Ю. В. Анискевич, А. А. Левихин. . Основы устройства и теории ЖРД: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2016 (5) Е. С. Потехин, Ю. Н. Филимонов. Основы проектирования двигателей летательных аппаратов. Ч. III Проектирование камер: БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 1990 (3.1 - 3.13)	24
Итого по разделу 3		24
<b>Раздел 4. Расчёт наружного проточного охлаждения.</b>		
Расчёт наружного проточного охлаждения	М. В. Добровольский. . Жидкостные ракетные двигатели. Основы проектирования: М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016 (4) Ю. Н. Филимонов, В. Т. Шевчук. Основы проектирования двигателей летательных аппаратов. Ч. IV Расчёт наружного проточного охлаждения: БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова,	22

	1990 (4.1-4.3) Ю. Н. Филимонов, Ю. В. Анискевич. Проектирование внутрикамерных процессов и охлаждение двигателей: СПб.БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, 2011 (1-8)	
Итого по разделу 4		22

## ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

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

- диагностическая работа
- собеседование;
- экзамен.

### Критерии оценивания

#### Диагностическая работа

Диагностическая работа проводится в форме теста в ЭИОС Moodle:

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

#### Собеседование

Собеседование проводится после прохождения каждого раздела.

При оценке знаний по разделу 1. Оценивается способность обучающегося к обоснованию и выбору рабочих параметров двигательной установки и проведению её энергетического расчёта.

При оценке знаний по разделу 2. Оценивается способность обучающегося к обоснованию и выбору системы подачи, основного порядка расчёта систем, конструктивных и компоновочных решений.

При оценке знаний по разделу 3. Оцениваются знания обучающегося по теории и применению расчетных методик по проектированию камеры жидкостных ракетных двигателей

При оценке знаний по разделу 4. Оцениваются знания обучающегося по теории и проектированию охлаждения жидкостного ракетного двигателя.

По результатам собеседования обучающемуся выставаются баллы:

15 баллов - обучающийся верно ответил на 3 из 3 обязательных вопросов преподавателя и не менее 50% верных ответов на дополнительные вопросы

8 баллов - обучающийся верно ответил на 2 из 3 обязательных вопросов преподавателя и не менее 50% верных ответов на дополнительные вопросы

5 баллов - обучающийся верно ответил на 2 из 3 обязательных вопросов преподавателя и дал менее 50% верных ответов на дополнительные вопросы

0 баллов - обучающийся не стал проходить собеседования или при защите дал менее 2 правильных ответов на обязательные вопросы преподавателя

Примерный перечень тем на собеседование:

#### Раздел 1

- Алгоритм энергетического расчета с нагнетательной СП с дожиганием генераторного газа. ПГС.
- Алгоритм энергетического расчета с нагнетательной СП без дожигания генераторного газа. ПГС.
- Выбор (оптимального) давления на срезе нерегулируемого сопла
- Определение соотношения компонентов топлива в камере двигателя
- Определение давления в камере сгорания и выбор схемы двигателя

#### Раздел 2

- Цели и задачи проектирования систем подачи
- Выбор конструктивной схемы системы подачи
- Общие соображения по выбору систем
- Порядок расчета основных систем подачи: вытеснительная система подачи с ГАД
- Порядок расчета основных систем подачи: вытеснительная система подачи с ЖАД
- Порядок расчета основных систем подачи: вытеснительная система подачи с ПАД
- Порядок расчета основных систем подачи: испарительная система наддува
- Алгоритмы расчета основных вариантов вытеснительных схем подачи: вытеснительная система подачи с ГАД

- Алгоритмы расчета основных вариантов вытеснительных схем подачи: вытеснительная система подачи с ЖАД
- Алгоритмы расчета основных вариантов вытеснительных схем подачи: вытеснительная система подачи с ЖАД
- Нагнетательные системы подачи
- Компоновочные схемы : насосы ТНА
- Компоновочные схемы : турбины ТНА
- Бустерные насосные агрегаты (БНА): классификация БНА
- Бустерные насосные агрегаты (НА): струйные (эжекторные) преднасосы
- Массовые характеристики турбонасосных агрегатов
- Конструирование агрегатов и элементов ТНА
- Конструктивные особенности насосов
- Конструктивные особенности турбин
- Уплотнения ТНА
- Опоры ТНА
- Валы ТНА
- Осевые силы на роторе ТНА и пути их уменьшения
- Требования, предъявляемые к конструкционным материалам

### Раздел 3

- Общая схема проектирования
- Выбор числа камер в ДУ
- Приближенный расчет  $\beta_{ож}$
- Определение  $\phi_{гол}$
- Определение  $\phi_{зав}$
- Определение  $\phi_{перем}$
- Определение  $\phi_{х.н.}$
- Расчет проходных сечений
- Определение размеров камеры сгорания
- Профилирование сопла: профилирование дозвуковой части
- Профилирование сопла: профилирование сверхзвуковой части
- Компоновка и расчет смесительных головок: выбор схемы расположения форсунок
- Выбор шага между форсунками в ядре и в пристеночном слое, определение количества форсунок.
- Выбор типа форсунок
- Расчет геометрических размеров форсунок: общий порядок расчёта
- Расчет геометрических размеров форсунок струйная форсунка (жидкость несжимаемая)
- Расчет геометрических размеров форсунок струйная форсунка (жидкость сжимаемая)
- Расчет геометрических размеров форсунок: однокомпонентная центробежная форсунка
- Расчет геометрических размеров форсунок: двухкомпонентная центробежная форсунка с внешним смешением
- Расчет геометрических размеров форсунок: двухкомпонентная центробежная форсунка с внутренним смешением

### Раздел 4

- Порядок расчёта конвективных тепловых потоков от продуктов сгорания к стенке ЖРД
- Порядок определения лучистых тепловых потоков от продуктов сгорания к стенке ЖРД
- Порядок расчёта теплоотдачи от стенки камеры двигателя к охлаждающей жидкости
- Порядок расчёта наружного охлаждения ЖРД
- Порядок расчёта пристеночного слоя
- Порядок гидравлического расчёта камеры двигателя

### Экзамен

Экзамен выставляется по количеству баллов, заработанными обучающимся в течении семестра. Суммарный балл выставляется по результатам написания диагностических работ и пройденных собеседований. За выполнение всех требований и своевременного успешного прохождения всех контрольных мероприятий обучающийся получает дополнительные 10 баллов.

Шкала перевода результатов обучающихся в оценки по дисциплине:

менее 51 неудовлетворительно / не зачтено

51 – 74 удовлетворительно / зачтено-удовлетворительно

75 – 84 хорошо / зачтено-хорошо

85 и более отлично / зачтено-отлично





Паспорт фонда оценочных средств

КУРС	СЕМЕСТР	Наименование разделов и дидактических единиц	ВСЕГО	Аудиторные занятия в контактной форме			Самостоятельная работа студентов	Формируемая компетенция, %	НАИМЕНОВАНИЕ ОЦЕНОЧНОГО СРЕДСТВА
				ВСЕГО	Лекции	Практические занятия		ПСК-2	
4	8	Раздел 1. Обоснование типа и выбор рабочих параметров двигательной установки.	18	4	2	2	14	20	Собеседование
4	8	Раздел 2. Системы подачи.	18	4	2	2	14	20	Собеседование
4	8	Раздел 3. Проектирование камер.	38	14	7	7	24	30	Собеседование
4	8	Раздел 4. Расчёт наружного проточного охлаждения.	34	12	6	6	22	30	Собеседование
Всего за 8 семестр			108	34	17	17	74	100	
Всего по дисциплине			108	34	17	17	74	100	

## Критерии оценивания

### ПСК-2

- Вопросы открытого типа:*
- № 1 При выборе материала для проектирования турбины предпочтительными материалами для изготовления диска турбины являются \_\_\_\_\_
- Запишите развернутый обоснованный ответ
- № 2 При выборе материала для проектирования насосов предпочтительными материалами для изготовления корпуса насосов являются \_\_\_\_\_
- Запишите развернутый обоснованный ответ
- № 3 При разработке смесительной головки камеры жидкостного ракетного работающей по схеме газ-жидкость, ядровые форсунки какого типа будут применены для достижения максимального значения удельного импульса?
- № 4 При проектировании охлаждения камеры ракетного двигателя, какие проверочные условия должны выполняться, чтобы охлаждение было эффективным?
- Запишите развернутый ответ
- № 5 К основным видам потерь, которые учитываются при проектировании камеры сгорания жидкостного ракетного двигателя, относятся \_\_\_\_\_
- неравномерность впрыска  
завесное охлаждение  
перемешивание в камере сгорания  
химический недожиг  
потери на рассеивание  
потери на трение
- Выберите правильные ответы и обоснуйте свой выбор
- № 6 При расчете оребренного охлаждающего тракта, на что влияет коэффициент оребрения? Чему равен коэффициент оребрения (в каких диапазонах может находиться)
- Дайте полный развернутый ответ
- № 7 На этапе проектирования камеры жидкостного ракетного двигателя, необходимо определить площадь критического сечения.  
Дано:  
Массовый расход через камеру сгорания = 300 г/с  
Давление в камере сгорания = 1 МПа  
Ожидаемый расходный комплекс = 1892 м/с
- Чему равно критическое сечение?. Выберите правильный ответ и запишите формулу для расчета критического сечения
- 5,6e-4 м<sup>2</sup>  
1,58e-4 м<sup>2</sup>  
0,567 м<sup>2</sup>
- № 8 Какие недостатки закрытой системы подачи необходимо учитывать при проектировании двигательной установки на основе жидкостного ракетного двигателя?
- № 9 Определите площадь выходного сечения сопла, если известна площадь критического сечения и значение геометрической степени расширения. Запишите решение и дайте правильный ответ.
- площадь критического сечения 1,8e-4|  
геометрическая степень расширения 42
- № 10 Давление в камере сгорания современных ракетных двигателей с закрытой схемой подачи достигает 30 МПа. Чему примерно равно давление в газогенераторе такого

двигателя, если перепад на турбине составляет 2,0? Выберите правильный ответ и аргументируйте его.

А. 60 МПа

Б. 15 МПа

В. 32 МПа

*Вопросы закрытого типа:*

№ 1 С целью формирования исходных данных для проектирования камеры жидкостного ракетного двигателя, проведите соответствие назначения двигателя и значения давления на срезе сопла

А	I ступень	1	0,06 МПа
Б	II ступень	2	0,001 МПа
В	Двигатель для космических летательных аппаратов	3	0,00008 МПа

№ 2 С целью формирования исходных данных для проектирования жидкостного ракетного двигателя, проведите соответствие между условием работы двигателя и рекомендованной системой подачи компонентов топлива

А	Работа в плотных слоях атмосферы	1	Насосная система подачи с дожиганием генераторного газа
Б	Работа в вакууме	2	Насосная система подачи без дожигания генераторного газа

№ 3 С целью формирования исходных данных для проектирования жидкостного ракетного двигателя, проведите соответствие между назначением двигателя и системой подачи компонентов топлива

А	Ориентация и стабилизация космического аппарата	1	Вытеснительная система подачи
Б	Тормозной двигатель	2	насосная система подачи без дожигания генераторного газа
В	I и II ступень баллистической ракеты	3	насосная система подачи с дожиганием генераторного газа

№ 4 Для эскизного проекта камеры двигательной установки с насосной системой подачи с дожиганием генераторного газа в каком диапазоне будет находиться давление в камере?

- до 4 МПа
- от 4 до 12 МПа
- от 10 до 25 МПа

№ 5 При разработке проекта двигательной установки с многороторной схемой турбонасосного агрегата для схемы характерны:

- Реализация разной угловой скорости насосов
- Наличие редуктора
- Технологическая сложность
- Надёжность

Выберите правильные ответы.

№ 6 При выборе материала для проектирования турбин в составе ТНА ЖРД, какой материал предпочтительнее использовать для лопаток?

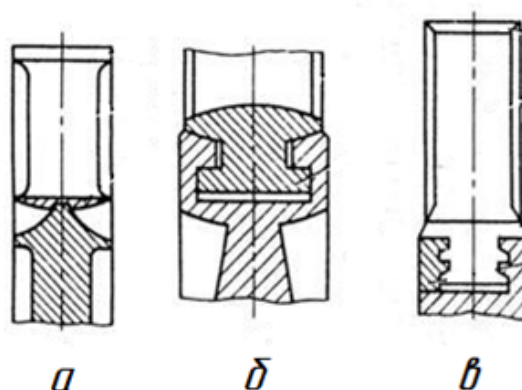
- Жаропрочные стали и сплавы
- Монокристаллы

- Алюминиевые сплавы

- Конструкционные стали

№ 7

Какой из представленных на рисунке способов крепления лопаток наиболее оптимален при проектировании турбин для двигателей больших тяг?



№ 8

При проведении гидравлического расчета, какие потери в охлаждающем тракте рассчитываются?

- Потери на трение
- Потери напора от местных сопротивлений
- Потери связанные с изменением динамического напора охлаждающей жидкости
- Потери на рассеяние

№ 9

Сопоставьте рекомендованное значение шага между форсунками в зависимости от схемы двигательной установки, необходимое при проектировании смесительной головки камеры жидкостного ракетного двигателя

А	Схема: жидкость-жидкость; форсунки однокомпонентные	1 10...15 мм
Б	Схема: жидкость-жидкость; форсунки двухкомпонентные	2 15...20 мм
В	Схема: газ-жидкость	3 20...30 мм

№ 10

Опишите последовательность разработки жидкостной двигательной установки

А Обоснование типа и основных рабочих параметров двигательной установки с целью создания пневмогидросхемы изделия

Б Расчёт основных элементов системы питания жидкостного ракетного двигателя

В Расчёт, проектирование, конструирование основного агрегата, определяющего тягу